

# Tagungsband

## zur 23. Nachwuchswissenschaftler\*innenkonferenz

Hochschule Harz | 31. Mai und 1. Juni 2023

Frieder Stolzenburg, Christian Reinboth, Thomas Lohr, Kathleen Vogel (Hrsg.)



# Harzer Hochschultexte | Impressum

ISSN (Print): 1619-7232  
ISSN (Online): 2627-5708



## Zitierbar als

*Stolzenburg, Frieder; Reinboth, Christian; Lohr, Thomas & Vogel, Kathleen (Hrsg.): NWK 2023 – Tagungsband der 23. Nachwuchswissenschaftler\*innenkonferenz, Harzer Hochschultexte Nr. 14, Hochschule Harz, Wernigerode, 2023.*

Die Harzer Hochschultexte sind lizenziert unter der freien Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 [CC BY 4.0]. Für weitere Informationen besuchen Sie bitte <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Die in diesem Werk enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons-Lizenz, falls sich aus der Legende nichts anderes ergibt. Sofern das Material nicht unter der genannten Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts.

## Inhaltlich verantwortlich

Inhaltlich verantwortlich sind die in den einzelnen Beiträgen genannten Autor\*innen.

## Institution

Die Hochschule Harz ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts.  
Sie wird durch den Rektor Prof. Dr. Folker Roland gesetzlich vertreten.

Hochschule Harz  
Friedrichstraße 57-59  
38855 Wernigerode

E-Mail: [info@hs-harz.de](mailto:info@hs-harz.de)  
Webseite: [www.hs-harz.de](http://www.hs-harz.de)  
Umsatzsteuer-Identifikationsnummer: DE231052095

## Herausgeber / Kontakt

Prorektor für Forschung und Chancengleichheit  
Prof. Dr. Frieder Stolzenburg

Tel.: +49 3943 659 333  
E-Mail: [fstolzenburg@hs-harz.de](mailto:fstolzenburg@hs-harz.de)

## Aufsichtsbehörde

Die für die Hochschule Harz zuständige Aufsichtsbehörde ist das Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MWU), Leipziger Straße 58, 39112 Magdeburg.

## Haftungsausschluss und Herausgeberhinweise

Die Hochschule Harz ist lediglich für die Veröffentlichung der einzelnen Werke zuständig, sie übernimmt keinerlei Haftung.

Vielmehr gilt Folgendes:

- für den Inhalt der Publikation ist/sind der/die Autor\*innen verantwortlich.
- mit der Erfassung in der Schriftenreihe „Harzer Hochschultexte“ verbleiben die Urheberrechte bei dem/der/den Autor\*innen
- die Einhaltung von Urheber- und Verwertungsrechten Dritter liegt in der Verantwortung des/der Autor\*innen

Vor Veröffentlichung bestätigte/n der/die Autor\*innen

- dass mit der Bereitstellung der Publikation und jedes Bestandteils (z.B. Abbildungen) nicht gegen gesetzliche Vorschriften verstoßen wird und Rechte Dritter nicht verletzt werden,
- dass im Falle der Verwendung personenbezogener Daten der Datenschutz (durch Einholen einer Einwilligung des Dritten zur Veröffentlichung und Verbreitung) beachtet wurde,
- dass im Falle einer bereits erfolgten Veröffentlichung (z.B. bei einem Verlag) eine Zweitveröffentlichung dem Verlagsvertrag nicht entgegensteht sowie
- dass die Hochschule Harz von etwaigen Ansprüchen Dritter (z.B. Mitautor\*innen, Miturheber\*innen, Verlage) freigestellt ist.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>1 Angewandte Naturwissenschaften</b>	<b>10</b>
1.1 Entwicklung eines miniaturisierten Spektrometers für den optischen Wellenlängenbereich (S. Smarzyk; K. Strathmann; O. Lass; M. Haupt)	11
1.2 A conductivity-based, batch-optimized system for analyzing the total of carbon parameter in water (M. Heinrich; C. Stofffuss; H. Jacobs; M. Di Vona; R. Pizzoferrato; A. Foitzik)	15
<b>2 Biowissenschaften</b>	<b>21</b>
2.1 Genetische Untersuchung von Apis mellifera hinsichtlich deren Toleranzeigenschaften bezüglich Varroamilben (C. Moeller; L. Prudnikow; R. Wünschiers)	22
2.2 Entwicklung eines in silico SNP Arrays zur Genotypisierung von Hunden (A. Ulbricht; N. Schön; R. Wünschiers)	26
2.3 Effect directed assay guided fractionation of marine microalgae based ethanolic extracts by centrifugal partition chromatography (K. Makay; C. Grewe)	30
<b>3 Informations- und Kommunikationstechnologien</b>	<b>34</b>
3.1 Realitätsnahe Nachbildung von Umgebungen für interaktive Echtzeit-Simulationen (M. Weber; H. Standfest; N. Räder; L. Iwai; B. Erl; C. Emmerlich; J. Büge; M. Weidlich-Rau; M. Heinzig; A. Kühn; C. Roschke; M. Vodel; M. Espig; M. Banert; M. Ritter)	35
3.2 Anforderungen an Hochschullehre im Kontext von BIM-Gebäude-Modell-Validierung (S. Damek)	44
3.3 Vergleichende Analyse von Unternehmenswerten in Online Stellenanzeigen mittels NLP / LIWC (M. Herold; M. Roedenbeck)	52
3.4 Digital Guest Folder for Hotels' Open Innovation: Practices, Opportunities, and Challenges (W. Adam; M. Freyer; M. Klotz; S. Marx)	63
3.5 Live-Darstellung aller Luftfahrtssysteme in näherer Umgebung auf einer digitalen Übersichtskarte (I. Weinmann)	72
3.6 Development of an intelligent UAV-based monitoring and mapping system for recording the weed distribution in wheat fields (weed-AI-seeK) (J. Liu; P. Alirezazadeh; T. Kaufmann; M. Schirrmann; L. Schrenk; F. Stolzenburg)	78
3.7 Vorhersage der Cyber-Resilienz einer Organisation durch Emulation der Geschäftsprozesse und des Laufzeitverhaltens von IT/OT-Infrastrukturen (M. Kühne; O. Nitschke)	86
3.8 Solving the Optimization Problem of Bidirectional EV-Charging on a Quantum Computer (D. Müssig; M. Federer; S. Lenk; J. Lässig)	94
3.9 Automatisierte Erkennung von Buganfragen im Kundensupport des Bankwesens (A. Simon; M. Prause; M. Kästl; E. Posselt; M. Vodel; M. Heinzig; M. Baumgart; C. Kastner; C. Roschke; M. Ritter)	102
3.10 Eine explorative Studie zur Gesundheitsbewertung und -tracking mit multimodaler Sensorik (M. Bescher; A. Friedrich; X. Welscher; S. Clausnitzer; R. Hubert; L. Leske; P. Berger; C. Rendtel; B. Hoffmann; M. Heinzig; A. Schmidt; K. Andrä; C. Roschke; M. Ritter)	106
3.11 Entwicklung und Evaluation eines gamifizierten Aufgabenmanagementsystem-Designs zur nachhaltigen Steigerung der Mitarbeiterproduktivität und -leistung (R. Pleshkanovska)	110
3.12 Industrielle Anwendungen im 5G Living Lab (A. Gehrmann; U. Heuert; K. Saalman; D. Seela)	114

3.13 Virtuelle Rekonstruktion verlorener Orte mit Methoden der Computer Vision (S. Urbanek; G. Görlitz; M. Möller) . . . . .	118
3.14 Das Data-Leakage-Problem für die prädiktive Instandhaltung (M. Pauli; M. Golz) . . . . .	122
3.15 Einsatz eines VR-Szenarios im Bereich Elektronik-Lehre (C. Schon; O. Ueberschär; J. Tümler) . . . . .	127
3.16 Anforderungen und Konzepte bei Identitätsbeständigkeit und Identitätsmapping (S. Karius; M. Gollnick; R. Kopitz; M. Lips; H. Strack) . . . . .	132
3.17 The CELSIUZ Interaction Room: the Vision of a Decision Theatre from an IT Perspective (A. Schulz; M. Dostál; J. Lässig) . . . . .	137
3.18 Verarbeitung strafrechtlich relevanter Daten in öffentlichen Cloud-Umgebungen – Ist das möglich? (M. Morgenstern) . . . . .	142
3.19 Multi-Klassen-Erkennung mit tiefen Lernarchitekturen des Typs VGG-19 (J. Oppel; M. Pauli; M. Golz) . . . . .	146
<b>4 Ingenieurwissenschaften</b>	<b>150</b>
4.1 Merkmalsextraktion mit TSFresh zur lernfähigen prädiktiven Wartung einer Reinstwasser-Aufbereitungsanlage (T. Trostmann; M. Pauli; M. Golz) . . . . .	151
4.2 Konzepte für Mehrwertdienste in der Schifffahrt unter Nutzung des Kommunikationsstandard 5G (J. Schmidt; C. Bunse) . . . . .	157
4.3 Ein optisch-sensorisches Verfahren zur Bewertung der Fallgewichtsverdichtung im Modellversuch (V. Fock; B. Löwe; F. Oertel; R. Thiele) . . . . .	164
4.4 EEG-Vorhersage zur Prognose von Mikroschlaf (L. Schneeweiß; M. Pauli; M. Golz) . . . . .	176
4.5 Development of a methodology for water monitoring in on-site analytics (S. Penzel; T. Mayer; M. Rudolph) . . . . .	184
4.6 Beiträge zur Auslegung von konturnahen Temperierkanälen in Werkzeugen bei thermisch-zyklischen Prozessen (M. Rohne; J. Meinert; T. Fieback) . . . . .	192
4.7 Brandverhalten von Brettspertholz aus modifiziertem Buchenholz (R. Westphal; B. Kampmeier) . . . . .	200
4.8 Influence of the Grammage of Cardboard on its Damage Behavior in Impact Tests (U. Kaeppler; P. Johst; D. Seibert; R. Böhm; L. Engisch) . . . . .	208
4.9 Brandverhalten von Hohlraumkonstruktionen im modernen Holzbau (J. Lange; B. Kampmeier) . . . . .	216
4.10 Vorhersage der Solarstrahlung am Boden mittels Satellitenbeobachtungen und maschinellen Lernverfahren (C. Seeger; F. Schrupf; J. Witthuhn; H. Deneke; M. Fuschs) . . . . .	224
4.11 Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf die elektrische Leitfähigkeit thermoplastischer Kunststoffe (N. Katzer; H. Bankwitz; J. Hübler) . . . . .	231
4.12 Einflüsse auf Ergebnisparameter bei bodenmechanischen Laborversuchen (J. Beil; H. Busse; A. Knut; J. Röntgen; F. Sandig) . . . . .	239
4.13 Galvanische Goldabscheidung aus cyanidfreien Goldelektrolyten (T. Schürer; L. Lehmann) . . . . .	245
4.14 Konzeption und Entwicklung eines Systems zur automatischen Erfassung und Auswertung des Gebäudebaufortschritts ohne aktive Begehung der Baustelle (L. Schneeweiß; M. Schweigel; C. Hofmann; J. Franke) . . . . .	249
4.15 Erfahrungen mit der Entwicklung und Nutzung eines hybriden Remote-Labors im Bereich Robotik für Bildung und Lehre (T. Wieck; C. Bunse) . . . . .	254
4.16 Additive Herstellung leitfähiger Strukturen auf Basis niedrigschmelzender Metalle mittels FDM-Verfahren (J. Voll; S. Roth) . . . . .	259
4.17 Entwicklung eines Phasenschiebers zur Ansteuerung einer Schwingungsanregung im Ringgitterprüfstand Göttingen (RPG) (M. Tilgner; H. Böhlken) . . . . .	264
4.18 Konzeptentwicklung für die Hybridisierung der Grundlagenlabore der Elektrotechnik am Beispiel eines Laborversuches und unter Berücksichtigung der Sichtweise von Studierenden (S. Lamanov; I. Belaiba; S. Azer; M. Haupt) . . . . .	268
4.19 Veranschaulichung flugmechanischer Zusammenhänge im Windkanal anhand eines additiv gefertigten Prüfkörpers (J. Dlouhý; D. Rieck; L. Muth) . . . . .	273
4.20 Miniaturisierung einer Starrflügel Drohne für die Luftaufklärung bei Vegetationsbränden (L. Muth; D. Rieck) . . . . .	283

4.21	Simulationsberechnungen eines Spektrometers mit Rowlandkreis und Simulation einer Eintrittsöffnung mit großer NA (K. Strathmann; O. Lass; S. Smarzyk; M. Haupt) . . . . .	288
4.22	Additive Manufacturing of Electrodes: Innovative Applications and Opportunities (M. Hauschultz; M. Friedo; T. Döhler; A. Böhme; M. Richetta; A. Foitzik) . . . . .	292
4.23	Sustainable production of injection molds through additive manufacturing and improved application of energy management (M. Friedo; M. Hauschultz; T. Döhler; A. Böhme; M. Richetta; A. Foitzik) . . . . .	298
4.24	Concept and simulation of micromixers and aliquoting for PCR systems (F. Welzel; M. Hauschultz; E. Krumnow; A. Foitzik; M. Richetta) . . . . .	303
4.25	EMV-Untersuchung einer 5G Hardware-Schnittstelle (A. Gehrmann; U. Heuert; K. Saalmann) . . . . .	307
<b>5</b>	<b>Kultur- und Medienwissenschaften</b>	<b>311</b>
5.1	E-Learning als Studienerfolgs- und Motivationsfaktor im Fernstudium (J. Jochim) . . . . .	312
<b>6</b>	<b>Sozial- und Gesundheitswissenschaften</b>	<b>316</b>
6.1	Supporting the Exploration and Analysis of Public Participation Process Data with Rankings and Clusterings (L. Schütz; K. Baade; A. Nürnberger) . . . . .	317
6.2	Psychometrische Prüfung des Smartphone-Addiction-Inventory (SPAI) (R. Ernst; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	325
6.3	Aufbrechen stereotyper Darstellungen – Eine kommunikations- und medienwissenschaftliche Inhaltsanalyse psychischer Erkrankungen in digitalen Spielen (R. Kasdorf) . . . . .	332
6.4	Crowdsourcing in der Sportbranche – Eine qualitative Studie zu den Einflussfaktoren auf die Nutzungsabsicht (S. Uhlig; A. Schneider; P. Czerney) . . . . .	342
6.5	Muster von problematischem Kaufverhalten unter Studierenden und deren psychologische Unterschiede (L. Oppong; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	351
6.6	Effekte von Präventionsprogrammen auf das Wohlbefinden von Geschwistern von Kindern und Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen und Behinderungen (C. Sievert; L. Kulisch; C. Engelhardt-Lohrke; K. Kowalewski; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	359
6.7	Psychometrische Prüfung des Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ) (M. Kiesel; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	365
6.8	Konzeptionen von Fremdheit: Eine figurationstheoretische Betrachtung des Verhältnisses von „etablierten Migrant*innen“ zu neu Zugewanderten (T. Mamajanyan) . . . . .	374
6.9	Young refugees' adaptation process in Germany: The role of social identification and mutual understanding in inter-ethnic friendships with native peers (D. Gläßer; N. Harth; P. Jugert) . . . . .	382
6.10	Lehren und Lernen qualitativer Forschung im Wandel: Transformationsprozesse, Anwendungszusammenhänge und Desiderate (C. Stamann; E. Lehwald; P. Ruppel) . . . . .	390
6.11	Qualitätsmessung von transdisziplinären Forschungsprojekten: Zwischen gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Wirkungen (G. Michelini; K. Lange) . . . . .	398
6.12	Unterschiede in der psychischen Belastung von onkologischen Patient*innen (J. Jänisch; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	408
6.13	Serious Games für Senior:innen – Einfluss auf die koordinativen Fähigkeiten (L. Esbaa; B. Didczuneit-Sandhob; E. Beck; K. Orłowski) . . . . .	413
6.14	Serious Games für Senior:innen – Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten (M. Kustanovich; A. Posmyk; B. Didczuneit-Sandhop; E- Beck; K. Orłowski) . . . . .	418
6.15	Interpretative Analyse rechtsextremistischer Meme am Beispiel einer rechten Jugendorganisation (V. Knopp) . . . . .	423
<b>7</b>	<b>Umwelt und Technik</b>	<b>427</b>
7.1	FINEconcepts – Wissenstransfer und Energiesystemoptimierung mithilfe des digitalen Zwillings (K. Markgraf; B. Dietrich; K. Müller; R. Flassig; P. Flassig) . . . . .	428
7.2	Aspekte einer Schadenskostendatenbank für die sozio-ökonomischen Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen (L. Folkens) . . . . .	436
7.3	Reproduktive Einstellungen, Intentionen und Sorgen in Zeiten des Klimawandels (L. Henschel; G. Franke; M. Jagla-Franke) . . . . .	442

7.4	Hitzeschutz in deutschen Krankenhäusern und Pflegeheimen (U. Krol; A. Nakoinz; M. Jagla-Franke) . . . . .	449
7.5	A value-based framework from Building Stock Model to Retrofit Model (I. Flores) . . . . .	455
7.6	Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder von gemeinschaftlicher Bedeutung (FFH-Lebensraumtypen) (H. Wild) . . . . .	463
7.7	Untersuchung über den Einsatz von TCR-Pflanzenkohle in der Landwirtschaft – Auswirkung auf die Qualität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse sowie die Möglichkeit einer langfristigen Bindung von Kohlenstoffdioxid in Böden (J. Dallmann) . . . . .	468
7.8	Die Herausforderungen der Wärmewende im öffentlichen Gebäudesektor (M. Mälzer; J. Sauerhering) . . . . .	473
<b>8</b>	<b>Wirtschafts- und Verwaltungswissenschaften</b>	<b>476</b>
8.1	Alle Wege führen nach Peking: Deutsch-chinesische Kommunalpartnerschaften im Lichte der Neuen Seidenstraßen Initiative (M. Krisch) . . . . .	477
8.2	Öffentliche Ergebnissteuerung auf der kommunalen Ebene – Herausforderungen und Umsetzung (C. Sander) . . . . .	485
8.3	Apothekenumgebung und Kaufentscheidung – Erkenntnisse zur Umgebungswirkung (M. Giesecke) . . . . .	489
8.4	Qualitative touristische Entwicklung – anhand ausgewählter Destinationen mit UNESCO-Weltkulturerbe-Label (M. Hille) . . . . .	494

# VORWORT

Die Nachwuchswissenschaftler\*innenkonferenz (NWK) wurde im Jahr 2000 an der Hochschule Merseburg – damals noch als Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen – ins Leben gerufen, um den interdisziplinären Austausch zwischen Masterstudierenden, jungen Forschenden und Promovierenden aller Fachdisziplinen an den heutigen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) zu fördern. Dass die NWK in diesem Jahr bereits zum 23. Mal in 24 Jahren – mit nur einem Ausfall während der Corona-Pandemie – stattfindet, unterstreicht das anhaltende Interesse sowie auch den Bedarf an einem solchen Format.

Dass die NWK in diesem Jahr nach 2002, 2006 und 2011 schon zum vierten Mal an der Hochschule Harz gastiert, freut uns natürlich besonders, ebenso wie die enorme Resonanz auf den diesjährigen Aufruf zur Einreichung von Beiträgen. Insgesamt erreichten uns 151 Abstracts, von denen nach Prüfung durch 58 Gutachter\*innen aus 12 Hochschulen in 8 Bundesländern insgesamt 104 Vorträge und Posterpräsentationen für die Konferenz ausgewählt wurden. Die 91 Beiträge, die nun ultimativ auf der Tagung vorgestellt werden, stammen von 212 Autor\*innen aus 36 Hochschulen und Universitäten sowie außerdem – was uns mit Blick auf die Anwendungsorientierung der Beiträge besonders gefreut hat – aus 21 kooperierenden Unternehmen, Forschungseinrichtungen und anderen Institutionen.

Die Bandbreite der Beiträge ist dabei enorm: von der Wasseraufbereitung und der Prognose von Mikroschlaf über die Integration geflüchteter Jugendlicher und die regionalwirtschaftliche Bedeutung von Hochschulen bis zum therapeutischen Einsatz von Videospiele in der Gerontologie und der Sicherheit virtueller Cloud-Architekturen. Dabei wird eine Vielzahl von Themen aus den Natur-, Bio-, Gesundheits-, Ingenieur-, Kultur-, Medien-, Wirtschafts-, Verwaltungs- und Sozialwissenschaften sowie aus der Informatik, der Kommunikationstechnologie und der Umweltforschung aufgegriffen.

Ein Großteil dieser spannenden Beiträge findet sich auch in diesem Tagungsband – insgesamt 78 Einblicke in aktuelle Forschungsergebnisse auf exakt 500 Seiten. Besonders freut uns, dass auch etliche Promovend\*innen aus den erst vor knapp zwei Jahren gegründeten fünf Promotionszentren der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Sachsen-Anhalt ihre Dissertationsvorhaben im Rahmen der NWK präsentieren. Das große Interesse an den neuen Möglichkeiten der Promotion sowohl bei Masterstudierenden als auch aus der freien Wirtschaft unterstreicht, welche große Chance in der Öffnung des Promotionsrechts für alle Hochschulen liegt – eine Chance, welche die vier HAW in Sachsen-Anhalt bestmöglich nutzen möchten.

Auch davon zeugt dieser Tagungsband.

In diesem Sinne wünschen wir allen Lesenden viel Freude und neue Einsichten und bedanken uns noch einmal herzlichst bei allen Gutachter\*innen, Promotionsbetreuer\*innen und natürlich auch allen Vortragenden selbst, die diese Tagung erst möglich gemacht haben. Ein besonderer Dank gilt auch den Mitarbeiter\*innen der Stabsstelle Forschung, des Dezernats Kommunikation und Marketing sowie des Dezernats Liegenschaften und allen anderen Beteiligten innerhalb der Hochschule für die tatkräftige Unterstützung dieser Veranstaltung. Nur durch sie wurde auch das vielfältige Rahmenpro-

gramm mit Workshops zu Themen wie Schreiben in der Promotion, Wissenschaftler\*innen zwischen Karriere, Familie und Selbstfürsorge, #IchBinHanna u.a. möglich. Besonderer Dank gebührt auch dem sachsen-anhaltischen Ministerium für Wissenschaft Energie, Klimaschutz und Umwelt für seine großzügige Unterstützung.

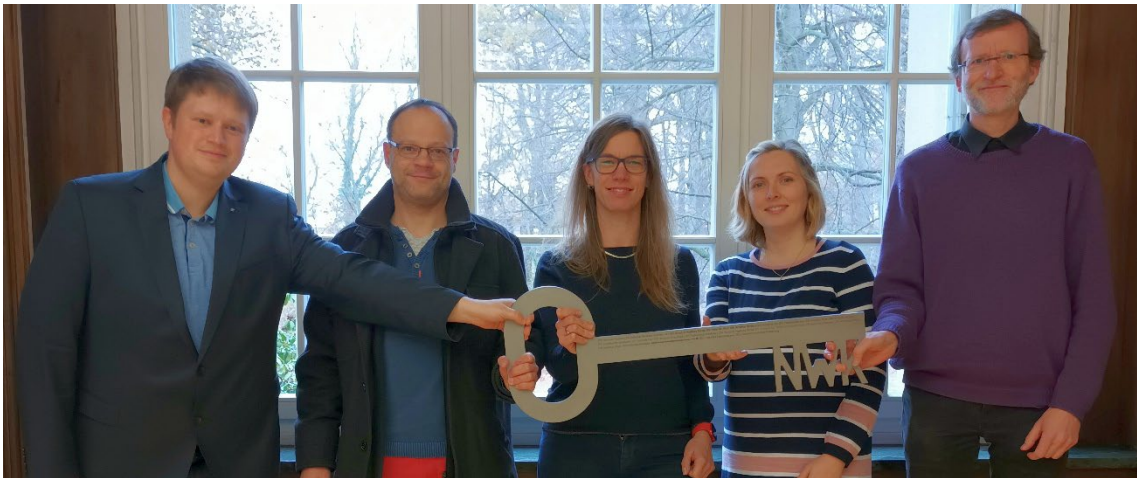
Die nächste NWK wird im Jahr 2024 an der Hochschule Mittweida stattfinden.

Wernigerode, Mai 2023



Prof. Dr. Frieder Stolzenburg  
(Prorektor für Forschung und Chancengleichheit)

Christian Reinboth  
Thomas Lohr  
Kathleen Vogel



*(v.r.n.l.: Prof. Dr. Frieder Stolzenburg, Sophie Reinhold, Kathleen Vogel, Thomas Lohr, Christian Reinboth)*



## **Tagungsleitung**

Frieder Stolzenburg

Christian Reinboth

Kathleen Vogel

Thomas Lohr

## **Organisationsteam**

Stefan Apitz

Claudia Hellwig

Dana Iker

Anika Johannson

Karoline Klimek

Robin Luge

Melanie Neumüller

Franziska Niggemann

Lisa Pippirs

Katalin Raddatz

Sophie Reinhold

Madeleine Sandmann

Anushka Schlosser

Linda Skiebe

Theresa Vitera

Cornelia Volkert

## **Programmkomitee**

Simon Adler, Hochschule Harz

Birgit Apfelbaum, Hochschule Harz

Stefan Apitz, Hochschule Harz

Korinna Bade, Hochschule Anhalt

Gundula Barsch, Hochschule Merseburg

Fabian Behrendt, Hochschule Magdeburg-Stendal

Theo Berger, Hochschule Harz

Alena Bleicher, Hochschule Harz

Lars Braubach, Hochschule Bremen

Michael Bruschi, Hochschule Anhalt

Johannes Bühl, Hochschule Harz

Jörg Döpke, Hochschule Merseburg

Marcel Drescher, Ernst Abbe-Hochschule Jena

Christian Enderl, Ernst Abbe-Hochschule Jena

Georg Felser, Hochschule Harz

Gabriele Helga Franke, Hochschule Magdeburg-Stendal

Thorsten Göbel, Hessische Hochschule für öffentliches Management und Sicherheit

Matthias Haupt, Jade-Hochschule

Michael Hohl, Hochschule Anhalt

Wilfried Honekamp, Hochschule Stralsund

Michaela Hoppe, Hochschule Bremen  
Melanie Jagla-Franke, Hochschule Neubrandenburg  
Sven Karol, Hochschule Merseburg  
Stefanie Krause, Hochschule Harz  
Peter Kußmann, Hochschule Harz  
Jing Liu, Hochschule Harz  
Thomas Lohr, Hochschule Harz  
Robin Luge, Hochschule Harz  
Knut Meißner, Hochschule Zittau/Görlitz  
Mike Mösko, Hochschule Magdeburg-Stendal  
Melanie Neumüller, Hochschule Harz  
Franziska Niggemann, Hochschule Harz  
Dieter Orzessek, Hochschule Anhalt  
Doreén Pick, Hochschule Merseburg  
Hardy Pundt, Hochschule Harz  
Thomas Rachfall, Hochschule Merseburg  
Katalin Raddatz, Hochschule Harz  
Christian Reinboth, Hochschule Harz  
Sophie Reinhold, Hochschule Harz  
Alexander Richter, Ernst Abbe-Hochschule Jena  
Dirk Sackmann, Hochschule Merseburg  
René Schenkendorf, Hochschule Harz  
Hans-Jürgen Scheruhn, Hochschule Harz  
Anushka Schlosser, Hochschule Harz  
Juliane Schnabel, Ernst Abbe-Hochschule Jena  
Kerstin Schneider, Hochschule Harz  
Linda Skiebe, Hochschule Harz  
Ulrike Starker, Hochschule Harz  
Frieder Stolzenburg, Hochschule Harz  
Hermann Strack, Hochschule Harz  
Ralf Thiele, Hochschule für Technik und Wirtschaft Leipzig  
Ute Urban, Hochschule Harz  
Theresa Vitera, Hochschule Harz  
Kathleen Vogel, Hochschule Harz  
Jens Weiß, Hochschule Harz  
Kai Wendt, Hochschule Harz  
Ansgar Wübker, Hochschule Harz  
Bernhard Zimmermann, Hochschule Harz

**Die Leitung der Hochschule Harz dankt dem  
Ministerium für Wissenschaft, Umwelt und  
Klimaschutz des Landes Sachsen-Anhalt für  
die finanzielle Unterstützung der NWK 2023.**



# Spender der Best Paper und Best Poster Awards

Förderkreis Hochschule Harz e.V.  
HarzOptics GmbH  
Institut für Automatisierung und Informatik GmbH  
Institut für nachhaltigen Tourismus GmbH  
Netzwerk Hochschule Harz e.V.  
PubliCConsult e.V.



**Teil 1**

# **Angewandte Naturwissenschaften**

# Entwicklung eines miniaturisierten Spektrometers für den optischen Wellenlängenbereich

Sebastian Smarzyk, Katharina Strathmann, Oliver Lass, Matthias Haupt

Jade Hochschule, Friedrich-Paffrath-Str. 101 in 26389 Wilhelmshaven

## 1. Abstract

Diese Arbeit beschreibt die Entwicklung eines miniaturisierten Spektrometers, das in vielen Bereichen der analytischen Chemie zum Einsatz kommen kann. Sämtliche Funktionen der polymerbasierten Optik in Form eines Rowlandkreises werden mithilfe eines konkaven Beugungsgitters an der Oberfläche des Kreises bzw. der Kuppel erfüllt. Bisher übliche aufwendige Linsensysteme entfallen so komplett. Die Verwendung von modernster Spritzgusstechnik und der hierfür entwickelten innovativen Werkzeuge ermöglicht es, die Herstellung der Optik in nur einem Herstellungsschritt zu realisieren. Die dreidimensionale Kuppelstruktur der Optik bildet hierbei eine Besonderheit. Das Dispersionsgitter an der Oberfläche der Kuppel wird eine Dichte von 1000 Linien/mm aufweisen, was zu einem Auflösungsvermögen kleiner als 1 nm führen soll. Um dieses Vorhaben zu realisieren, werden wellenoptische Simulationen durchgeführt. Basierend auf durchgeführten Simulationen werden mit Hilfe von Hochpräzisionszerspannung Demonstratoren hergestellt. Diese Demonstratoren werden dann im Labor auf ihre optischen Eigenschaften untersucht und charakterisiert. In dieser Veröffentlichung sollen erste Grundformen des Spektrometers und die dazu benötigten Simulationen gezeigt werden.

## 1. Einleitung

Durch die Analyse des optischen Spektrums von Materie können Rückschlüsse auf dessen chemische und molekulare Zusammensetzung gezogen werden. Miniaturisierte Spektrometer können hier z.B. in der Untersuchung von Medikamenten, Blut oder Lebensmitteln eine schnelle, mobile und kostengünstige Alternative zu klassischen stationären Spektrometern in Laboren darstellen.

An der Jade Hochschule Wilhelmshaven wird im Rahmen des Projektes „MiniSpectral“ ein solches miniaturisiertes Spektrometer entwickelt. Ziel ist es, durch die Verwendung von modernster Spritzgusstechnik und der hierfür entwickelten, innovativen Werkzeuge die Herstellung einer polymerbasierten Optik in nur einem Herstellungsschritt zu realisieren. Diese Arbeit soll in den folgenden Kapiteln die grundlegende Funktion und den aktuellen Stand der Entwicklung des Spektrometers erläutern.

## 2. Funktionsweise

Das Spektrometer basiert auf der grundlegenden Idee eines sogenannten Rowlandkreises [Row83]. Eine Besonderheit ist hierbei die dreidimensionale Kuppelform der Optik. Diese ermöglicht es, das gesamte Licht zu führen und so ein wesentlich besseres Signal-Rausch-Verhältnis (S/N) zu erzielen [Höll 2013]. Mithilfe der Kuppel sowie eines konkaven Beugungsgitters auf der gegenüberliegenden Seite der Kuppel werden sämtliche

Funktionen eines Spektrometers erfüllt. Bisher notwendige Einzelkomponenten, wie Linsensysteme, entfallen komplett.

Abbildung 1 zeigt ein zweidimensionales Bild der Funktionsweise. Licht wird durch eine Eingangsfaser in die aus Polymer bestehende Kuppel mit dem Radius  $r$  eingeführt. Am Ende der Kuppel ist ein verspiegeltes Dispersionsgitter mit einem Radius von  $2r$  aufgebracht. Aluminium zeigt sich hier als vielversprechendes Material für die Verspiegelung des Gitters, da es die Reflektivität im sichtbaren Spektralbereich erhöht [HW61]. Am Gitter wird das Licht in seine einzelnen Wellenlängen zerlegt und in die Polymerkuppel zurückreflektiert. Durch das Radienverhältnis von Gitter zu Kuppel von zwei zu eins fokussieren sich die in einzelne Wellenlängen zerlegten Strahlen auf der Oberfläche der Kuppel. An der Oberfläche der Kuppel ist eine Detektorzeile angebracht, mit der das in Wellenlängen zerlegte Licht am Ende detektiert und anschließend weiter analysiert werden kann.

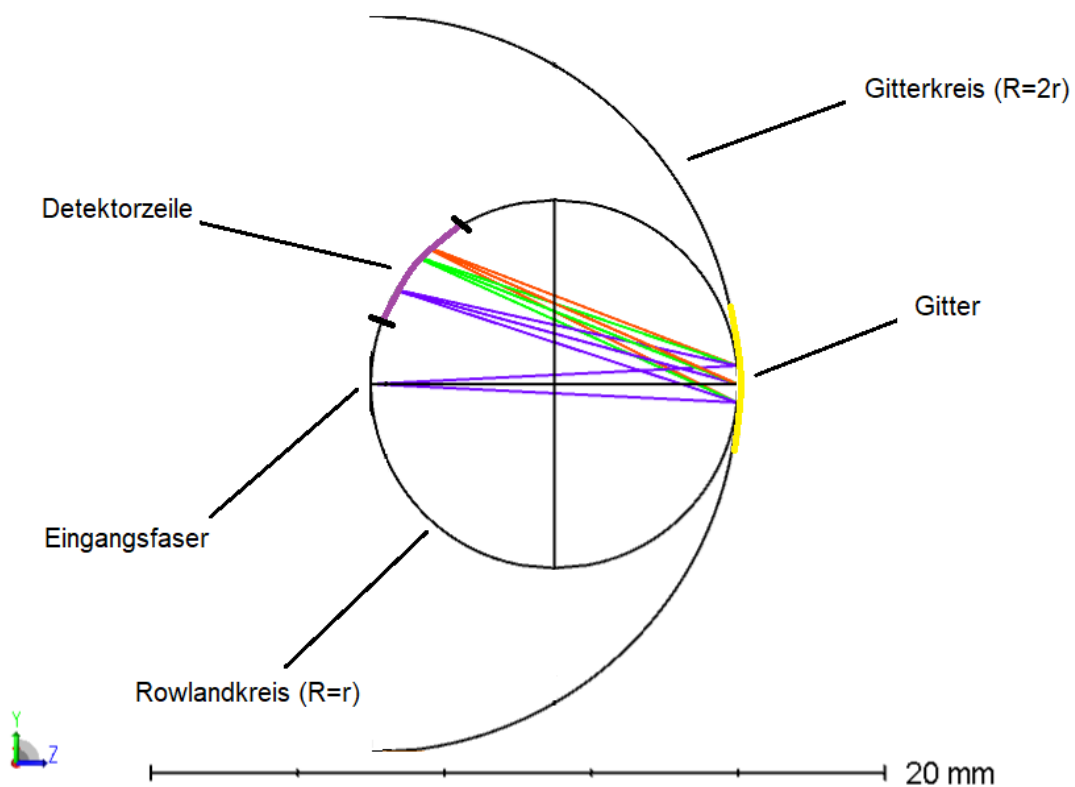


Abbildung 1: Konzept des Spektrometers. Die polymerbasierte Kuppel wird den Radius eines Rowlandkreises  $r$  haben. Das aufgeprägte und verspiegelte Gitter besitzt einen Krümmungsradius von  $2r$ . Das durch eine Eingangsfaser eingekoppelte Licht trifft auf das Gitter, von dem es in seine einzelnen Wellenlängen zerlegt und reflektiert wird. Aufgrund des Radienverhältnisses der beiden Kreise von zwei zu eins fokussieren sich die nach Wellenlängen getrennten Strahlen auf der Oberfläche der Kuppel und werden dann von einer Detektorzeile detektiert.

### 3. Umsetzung

Der in Abbildung 1 gezeigte Strahlengang wurde mit der Simulationssoftware *Ansys Zemax OpticStudio* für verschiedene Wellenlängen- und Radienkombinationen simuliert. Exemplarisch sind in Abbildung 1 drei Wellenlängen (400 nm, 550 nm, 600 nm) sowie ein Rowlandkreisradius von 10 mm dargestellt. Das Gitter hat eine Liniendichte von 1000 Linien/mm. Die Eintrittsöffnung in das Spektrometer hat in diesem Fall den Durchmesser von 1 mm, was dem Durchmesser einer Standard-SI-Polymerfaser (POF) entspricht. Abbildung 2 zeigt mit einem Rasterkraftmikroskop (AFM) aufgenommene und visualisierte Daten eines ebenfalls gekrümmten, in Polymer (PMMA) geschliffenen Gitters eines Vorgängerprojektes [HOPE14]. Hier ist eine Gitterkonstante von 2,5  $\mu\text{m}$  abzulesen. Die Gitter der herzustellenden Demonstratoren werden von der Firma Innolite<sup>1</sup> hergestellt, die in Vortests in der Lage war Gitterstrukturen mit einer Dichte von 1600 Linien/mm zu erzeugen. Die von uns angestrebten 1000 Linien/mm stellen also ein realistisches Ziel dar.

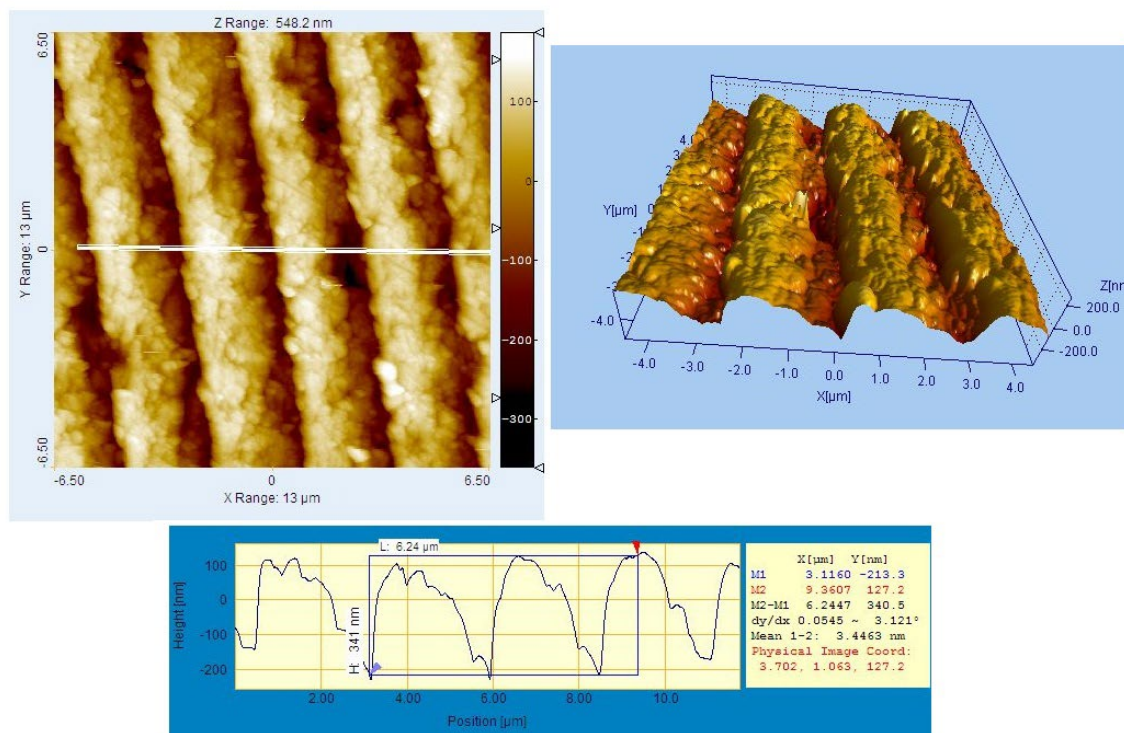


Abbildung 2: Mit einem Rasterkraftmikroskop (AFM) aufgenommene Daten eines, gekrümmten, in PMMA geschliffenen Gitters eines Vorgänger Projektes. Eine Gitterkonstante von ca. 2,5  $\mu\text{m}$ , eine Gittertiefe von ca. 341 nm sowie ein Blazewinkel des Gitters von ca. 12° konnten bestimmt werden.

Das spektrale Auflösungsvermögen des Spektrometers hängt hauptsächlich von der Liniendichte des Gitters ab. Es kann mit Hilfe des Rayleigh-Kriteriums

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN$$

bestimmt werden [Zinth 2011]. Mit  $\lambda$  der Wellenlänge,  $n$  der Beugungsordnung,  $N$  der Anzahl der beleuchteten Linien und  $\Delta\lambda$  der Spektralauflösung.

<sup>1</sup> Innolite Aachen, Liebigstraße 20, 52070 Aachen; <https://innolite.de/>

Bei einer Wellenlänge von 550 nm, erster Beugungsordnung ( $n = 1$ ) und 1000 bestrahlten Linien würde das zu einem Auflösungsvermögen von 0,55 nm führen. Sollte es technisch möglich sein die Liniendichte sogar auf 1600 Linien/mm zu erhöhen, könnte dies sogar zu einem Auflösungsvermögen von 0,34 nm führen. Das angestrebte Ziel, ein Auflösungsvermögen von unter 1 nm zu erreichen kann also als realistisch angesehen werden.

Neben der Simulationsarbeit werden außerdem Materialtests wie z.B. Absorptions- und Transmissionsmessungen sowie Temperaturtests durchgeführt, um zu evaluieren, welcher Kunststoff sich am besten für die Herstellung der Kuppel und des Gitters des Spektrometers eignet.

#### **4. Ausblick**

Nach Abschluss der vielversprechenden Simulationen und Laborvortests wird ein erster Demonstrator hergestellt. Die Kuppel soll mithilfe modernster Spritzgusstechnik in einem Arbeitsschritt hergestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Herstellung des Gitters wird in einer folgenden Veröffentlichung dargelegt. An den ersten Demonstratoren werden weitere Laboruntersuchungen durchgeführt und deren Ergebnisse mit den Simulationen verglichen. Diese Erkenntnisse werden helfen, die Parameter und Produktionsabläufe zu optimieren, um die folgenden Generationen von Spektrometern zu verbessern. Somit sollte es in Kürze möglich sein, ein erstes voll funktionsfähiges, polymerbasiertes, miniaturisiertes Spektrometer herzustellen.

#### **Quellen**

[HOPE14] U. H. P. Fischer-Hirchert, M. Haupt, M. Jončić, S. Höll, and A. Zufelde, final report of a BMBF project VIP HOPE - Research and Development of Key Components for High-Speed Communication via Polymer Optical Fibers (Forschung und Entwicklung von Schlüsselkomponenten für Hochgeschwindigkeits-Netze über optische Polymerfasern), 2014.

[HW61] G. Hass and J. E. Waylonis. Optical constants and reflectance and transmittance of evaporated Aluminium in the Visible and Ultraviolet. *Journal of the Optical Society of America*, 51(7):719, 1961.

[Row83] Henry a. Rowland. XXIX. „On concave gratings for optical purposes“. *Philosophical Magazine Series 5*, 16(99):197\_210, sep 1883.

[Zinth 2011] Zinth, Wolfgang and Zinth, Ursula. "4.5 Anwendungen von Beugung und Interferenz". *Optik: Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2011, pp. 197-223. <https://doi.org/10.1524/9783486705737.197>

[Höll 2013] S. Höll, M. Haupt, and U. H. P. Fischer, "Design and development of an injection-molded demultiplexer for optical communication systems in the visible range," *Appl. Opt.* 52, 4103-4110 (2013) <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?URI=ao-52-18-4103>



# A conductivity-based, batch-optimized system for analyzing the total of carbon parameter in water.

Moritz Heinrich<sup>1,a</sup>, Carsten Stollfuss<sup>2</sup>, Hannes Jacobs<sup>1</sup>, Maria Luisa Di Vona<sup>3</sup>, Roberto Pizzoferrato<sup>3</sup>, Andreas H. Foitzik<sup>1</sup>

1 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

2 PMA Purification Membranes Analytics GmbH, Wolfgang-Küntschers-Str. 14, 16761 Henningsdorf, Germany

3 Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Via Orazio Raimondo, 18 - 00173 Roma, Italy

a moheinrich@th-wildau.de

## Abstract

In cooperation with the company Purification Membranes Analytics GmbH (PMA), a prototype has been developed that analyzes the total organic carbon (TOC) content of water samples based on a complex conductivity measurement. In the process, a batch-optimized system was developed that delivers qualitative results even in highly polluted waters. This method requires small sample volumes and was assembled using an ultrapure water system, a sample mixing system, various electronic control units and a miniTOC system that uses a UV light source to decompose organic carbons and outputs differential values using two conductivity sensors. During the project, a fully automated prototype was developed and is ready for use. In the future, this method could support common methods and lead to more accurate statements on water quality in a cost-effective manner.

## 1. Introduction

All life is based on water. It is important in biological metabolic processes and also carries vital substances into the body. It is therefore of great relevance to examine the ingredients of water. A measurable sum parameter is the "Total Organic Carbon" (TOC) value, which has become increasingly important in recent years. It describes the total organic load of an examined water sample. [1]

Measuring instruments for the determination of the TOC content are based on different principles. In addition to the spectroscopic detection method in the infrared range (NDIR), there is also the detection method using conductivity, which was used in this project. Conductivity measurement is less expensive, but not as accurate as NDIR detection. [1, 2]

A mercury vapor lamp is used to generate high-energy UV-C light. This radiation breaks down carbonaceous organic particles, which are then emitted as CO<sub>2</sub>.

The principle used in the project improves the precision of the conductivity-based method in two ways. First, automated dilution is used to bring even highly contaminated samples into the measurable concentration range. In this case, the dilution was carried out using ultrapure water. Secondly, a recursive batch method has been tested, which is expected to increase the measuring accuracy. This prototype has been developed that can automatically take a water sample at predefined time intervals and analyze it

for TOC content. In the process, highly polluted water samples are automatically diluted using ultrapure water. The values determined can be queried by the user via the internet. This System is called “boTOC”.

## **2. Theoretical basics**

The theoretical basics refer to the explanation of the TOC analysis, the conductivity measuring procedure, the ultrapure water production and the UV denaturation.

### **2.1 Total Organic Carbon**

Total Organic Carbon value, or TOC, is one of several sum parameters collected in aqueous samples and is used to estimate water quality. [2]

In this project, the conductivity-based method was used, which involves a complete oxidation of the total organic carbon. In this process, measurements are made before oxidation with the first conductivity sensor and after oxidation with a second conductivity sensor.

The TOC is calculated as follows [2]:  $TOC = TC - TIC$

TIC = Total Inorganic Carbon, measured at the first sensor.

TC = Total Carbon - total carbon, sum of TOC and TIC. Is recorded at the second sensor.

TOC = Total Organic Carbon - total organic carbon, e.g. from biofilms and cells.

The temperature affects the conductivity and can lead to an increased susceptibility to errors in the measurements if it changes. This error can be reduced to a certain extent by software. This is done by continuously recording the temperature.

### **2.2 Electrical conductivity**

The electrical conductivity of water is a measure of the total dissolved ions or conductive particles. To determine conductivity, the current flowing between two electrodes in the water is measured. Pure water is basically not electrically conductive, or only to an extremely small extent. Only dissolved ions such as magnesium, calcium, nitrogen, sulfur salts or chlorine make water more electrically conductive. Other substances, such as inorganic or organic particles, also affect the conductivity of water. [3, 4]

Electrical conductivity is expressed in micro siemens per centimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Seawater has a value of 56 mS/cm due to the high salt content. Drinking water in Germany about 300 to 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , whereas ultra-purified water has a value of about 0.05 $\mu\text{S}/\text{cm}$ . [3, 4]

Furthermore, conductivity is temperature dependent. As the temperature increases, the conductivity also increases. This can be explained by the increased ionic motion. [5] This circumstance must be considered in measurements and can be corrected by calculation if necessary.

### **2.3 UV Oxidation**

The irradiation via UV light will break down molecules through the transfer of energy to the bonds between atoms. The higher the energy input, the stronger bonds can be broken. The lower the wavelength of electromagnetic radiation, the higher the energy that this radiation possesses. Therefore, wavelengths in the UV range are important for the

breakup of organic carbon compounds; all wavelengths above 360 nm (visible light) are negligible for effective breakup. [6]

When organic carbon compounds are irradiated, they are broken down and converted into inorganic components such as CO<sub>2</sub>. In this project, a low-pressure mercury vapor lamp is used as the UV light-generating medium. These typically have emission peaks in the ranges: 184.95 nm, 248.3 nm, 253.65 nm, 280.4 nm, 296.73 nm, 312.56 nm, 334.15 nm and 365.01 nm. Wavelengths below 242 nm cause oxygen splitting, resulting in the formation of ozone. This ozone also has a reactive effect on various substances and promotes the decomposition of organic carbon. [6, 7]

## **2.4 Pure Water**

In contrast to normal water, which contains e.g. minerals such as calcium and magnesium, ultrapure water is free of foreign substances. [8] Ultrapure water can be produced, for example, by reverse osmosis, ultrafiltration, photooxidation, or by means of ion exchangers. In some cases, such methods are also combined. Ultrapure water has an electrical conductivity of 0.055 µS/cm with a resistance of 18.2 MΩ/cm.

In this project, a device is used that uses the principle of reverse osmosis process. This is a "counteracting" against the osmotic pressure by a membrane, which retains all particles except water molecules. [9]

## **3. Materials & Methods**

### Components:

- Commercial polypropylene tubing with diameters of 3.1 mm / 1.3 mm, and 6.4 mm / 4 mm and 8 mm / 5.5mm.
- Transparent Plexiglas (PMMA) discs in the thickness of 1 cm.
- Opaque UV protection Plexiglas (PMMA) panes in the thickness of 0.3 mm.
- Item profiles (aluminum) for the frame
- Various sliding blocks (M6 & M8) and screws (M6 & M8), and washers in the appropriate size
- 4 swivel casters
- Various electrical cables, including a distribution socket, control box

In addition to the components, ready-made systems for individual applications were used. These are as follows:

### Hardware & Systems:

- miniTOC analyzer from membraPure, measuring range 0.5 - 1000 ppb
- Astacus<sup>2</sup> ultrapure water system from membraPure, production rate 2 l/h ultrapure water,
- Air compressor from Schneider Druckluft, SN 0051431533
- Symax double stroke syringe pump from Spetec.

#### Software:

- miniTOC Onboard Operating System - Windows 10, membraPure miniTOC Measuring Software Version 1.212b W 10 M
- SolidWorks Dassault Systems, Version 2022

### **3.1 Basic Procedures**

The entire system was first functionally set up and tested on a grid plate wall and put into operation before it was installed in the final housing. All systems were independently tested before each step. The validation was done by measuring a calibration series with glucose and samples of river water. The basic structure was designed in SolidWorks beforehand.

### **4. Results & Discussion**

Within the project duration, the overall system (see Figure 1 left) was completely built and validated.

The main unit of the system is the control board, which is located behind the letter E in Figure 1. This controls every step of the process, from sample collection to automatic dilution to the examination unit (A) and ultimately to the discarding of the sample. The control board also stores the data obtained which can be retrieved via various systems (direct connection, Internet). When the system is used, the sample is automatically taken from the river and first coarsely cleaned via a prefilter (Figure 1 letter N). Afterwards the sample is prediluted with a factor of 1:10. The prediluted sample is then analyzed by the miniTOC system. The TOC content is determined by a conductivity-based difference method. The system contains a low-pressure vapor lamp as standard, which is used as the UV-generating medium. The data measurement units are ppm and  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A range of 0 - 1000 ppm TOC is the limit of the miniTOC test system. If the value is exceeded, a higher dilution of the same sample is automatically applied in the next measuring step until the sample concentration is within the range that can be evaluated. The software calculates the dilution level with the measured values to obtain the actual sample load. Measurement data is stored locally on the hard disk and can be sent to a server if required. They can also be retrieved directly. An example measurement is shown in Figure 1 on the right. Here a dilution series measured by the boTOC system is shown. A dilution level below 1:100 and lower could no longer be detected by the system and was output as "Signal Overflow". Dilutions above 1:108 could no longer be measured unambiguously, since carbon containing substances were introduced by the system itself via connections and hoses, as well as the pump. Here, it will be necessary to replace the connections and hoses with more inert and dense materials for more precise investigations. However, for the intended goal of the project, this range was completely sufficient. At full power and maximum water flow, the prototype consumes approximately 370 watts and up to 120 liters of water per hour. The main voltage here is 230 V.

#### **4.1 Recursive batch system**

The recursive batch system was outlined and tested in this project. The basic idea was to treat a water sample several times by a UV light source. This should result in even

more accurate measurement results. Basic findings of this procedure could be obtained. A stronger oxidation within a certain period of time up to 7 Minutes was recorded. However, this was negated by the intrinsic input of TOC through the system itself, through hoses and presumably the pump, which continuously brought an input of carbonaceous substances into the sample. This "background noise" could not be suppressed during the project. Further investigation of this principle is planned after the project period.

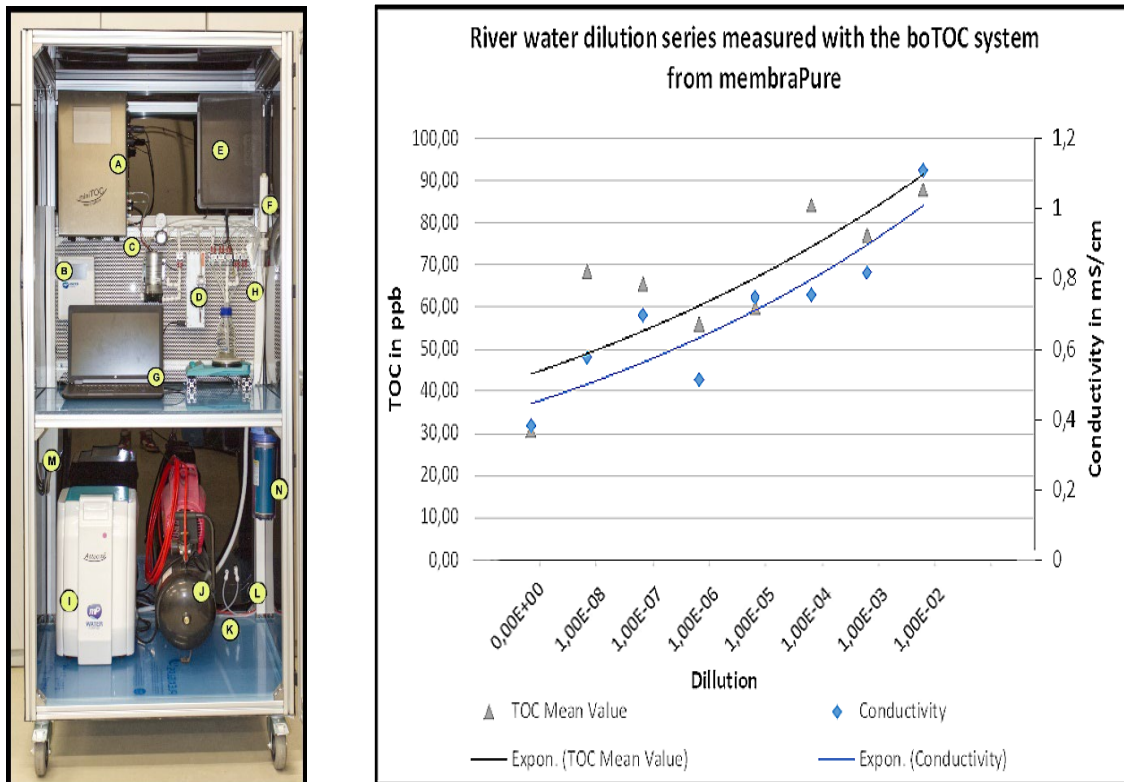


Figure 1: Left - The complete system, A miniTOC system; B Control & monitoring ultrapure water module; C Water pump; D Pro-bend dosing unit, mixing chamber with magnetic stirrer; E Automation electronics in control box F Ultrapure water connection; G (optional) computer for reading out, setting and controlling the prototype; H Cable ducts (electronics on the right) (water guide on the left) for connection in the lower part. Bottom right: Components of the prototype systematized in the lower part of the prototype. I Ultrapure water system; J Compressed air system; K Connections to the outer wall of the housing; L Cable ducts (electronics on the right) (water guide on the left) for the connection to the upper part of the system; M Central power supply and control box; N Prefilter for water inlets; Right - Dilution series of river water measured with the boTOC system at dilution levels  $1:10^3$  -  $1:10^9$  and ultrapure water.

## 5. Outlook

Once the entire system was set up, other improvements were planned. For example, to replace the tubing, fittings and various connectors. It is also planned to use a pump other than a peristaltic pump to reduce the system's inherent TOC load. The whole system will also be made more compact and economical.

The method used here is chemical-free and automated. This developed system is a further step towards the monitoring of water systems such as rivers. Even highly polluted water samples can be automatically analyzed for their carbon content.

The principle around the recursive batch system is also being pursued and will be further investigated in the future with an inert setup.

The measurement principle can be applied to other projects in the future and thus supplement the basic water quality testing with higher precision.

## 6. References

[1] Bernie B. Bernard, Heather Bernard, James M. Brooks: Determination of TC, TOC, and TIC in Sediments [Internet Received 26.03.2023 12:00]

[2] Roger Schmid, SWAN Analytische Instrumente AG, Hinwil, Schweiz: Verfahren in der TOC-Messung, Pharm. Ind. 75, Nr. 11, 1840 – 1848 (2013)

[3] <https://www.test-wasser.de/elektrische-leitfaehigkeit-wasser> [Internet Received 26.03.2023 14:00]

[4] Kurt Marquardt u. a: Rein- und Reinstwasseraufbereitung. Expert-Verlag, 1994

[5] <https://info.hannainst.de/parameter/leitfaehigkeit-erklaert> [Internet Received 27.03.2023 14:00]

[6] Prof. Dr. T. Jüstel, Florian Baur, Desinfektion mit UV-Strahlung – Status Quo und zukünftige Entwicklungen, Institut für Optische Technologien FH Münster, Auszug aus der Zoom Konferenz am 02.09.2020

[7] <https://www.oekorecherche.de/de/1-das-natuerliche-ozongleichgewicht> [Internet Received 27.03.2023 15:00]

[8] <https://www.chemie.de/lexikon/Reinstwasser.html> [Internet Received 27.03.2023 16:00]

[9] Melin, Thomas und Rautenbach, Robert: Membranverfahren, S. 264 f., Springer, 2007, ISBN 3-540-00071-2

**Teil 2**

**Biowissenschaften**

# Genetische Untersuchung von *Apis mellifera* hinsichtlich deren Toleranzeigenschaften bezüglich Varroamilben

Cindy Moeller, Lisa Prudnikow, Röbbe Wünschiers

Hochschule Mittweida, Biotechnologie und Chemie

cmoelle1@hs-mittweida.de

## Abstract

Varroamilben gelten weltweit als die größte Bedrohung für die Imkerei, da keine andere Bienenkrankheit einen so großen Schaden und so hohe wirtschaftliche Kosten verursacht<sup>3</sup>. *Varroa destructor* ist verantwortlich für verheerende Verluste von mehr als tausenden Honigbienenpopulationen auf der ganzen Welt<sup>1</sup>. Ein alternativer Ansatz zur aktuell notwendigen, aber problembehafteten Akarizidbehandlung gegen die Milbe ist die gezielte Züchtung von Honigbienen entsprechend natürlicher, vererbbarer Resistenz- oder Toleranzmerkmale gegen einen Varroa Befall<sup>5</sup>. Hierfür soll mit der Hilfe von bereits vorhandenem genetischen Wissen<sup>5</sup> hinsichtlich der Toleranz-Eigenschaften von Honigbienen ein genetischer Test entwickelt werden, um anhand der DNA des Nympenhütchens von Bienenköniginnen deren Einsetzbarkeit für die Varroaresistenzzucht zu evaluieren.

## 1. Motivation

Weltweit hängen bis zu 35 % der Nahrung des Menschen von verschiedenen Honigbienenarten als Bestäuber ab<sup>1</sup>. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde erstmalig ein Befall mit der Varroamilbe *Varroa destructor* in Völkern der westlichen Honigbiene *Apis mellifera* detektiert<sup>2</sup>. Dies geschah nachdem in Folge eines Kontaktes unterschiedlicher Honigbienenarten, die Varroamilbe von ihrem ursprünglichen Wirt, der asiatischen Honigbiene *Apis cerana*, auf *Apis mellifera* übergesprungen ist<sup>3</sup>. Mittlerweile haben sich Varroamilben durch den Transport von Bienenvölkern und Königinnen außerhalb ihrer natürlichen Lebensräume in allen Bereichen der Erde ausgebreitet<sup>1</sup>. Eine *Varroose*, die den Milbenbefall eines Bienenvolkes bezeichnet, hat verschiedene negative pathologische Auswirkungen auf eine Honigbienen-Population. Das wohl größte Problem ist die Übertragung von Viren, wie beispielsweise dem Flügeldeformationsvirus durch Varroamilben<sup>4</sup>. Ohne eine Behandlung mit Akariziden führt der Milbenbefall innerhalb von ein bis vier Jahren zum Zusammenbruch des gesamten Bienenvolkes. Die Verwendung von Akariziden zur Behandlung von Bienenvölkern gegen einen Varroa-Befall stellt jedoch keine permanente Lösung dar, da sie unter anderem zur Verunreinigung von Bienenprodukten, wie beispielsweise Honig führen können. Weiterhin besteht die Gefahr, dass die Milben Resistenzen gegen die häufig verwendeten Chemikalien entwickeln, sodass für eine effektive Varroabehandlung immer höhere Konzentrationen notwendig werden, welche im schlimmsten Fall auch die Bienen schädigen<sup>2</sup>. Demnach wird dringend nach einer Alternative gesucht.



Ein möglicher Ansatz ist die gezielte Züchtung von Honigbienen entsprechend natürlicher, vererbbarer Resistenz- oder Toleranzmerkmale gegen einen Varroa Befall<sup>5</sup>. Im Fokus stehen die sogenannten SMR-Eigenschaften (Supressed Mite Reproduction) von Varroa-resistenten Bienenvölkern, die es den Bienen ermöglichen selbstständig die Anzahl an Milben im Volk unter einer gewissen Schadschwelle zu halten, sodass sich für das Bienenvolk keine negativen Auswirkungen durch den Varroa Befall ergeben. Zum SMR-Verhalten gehören die Varroa-sensitive Hygiene (VSH) und das Recapping. In beiden Fällen sind Arbeiterbienen in der Lage mit Varroamilben befallene Brutzellen ausfindig zu machen. VSH zeichnet sich dadurch aus, dass Arbeiterbienen befallene Zellen öffnen und die beschädigte Larve inklusive der Milbe ausräumen, während beim Recapping lediglich die Brutzelle mit der betroffenen Larve geöffnet wird. Dadurch wird die Reproduktion der Milbe unterbrochen. Nach Entfliehen der Milbe wird die entsprechende Brutzelle durch Arbeiterinnen neu verdeckelt und die Larve ist in der Lage sich bis hin zur adulten Biene zu entwickeln<sup>6</sup>. Es gibt bereits einige Honigbienen-Populationen auf der Welt, die aufgrund ihrer SMR-Eigenschaften in wesentlich geringerem Ausmaß von Varroamilben befallen sind, wie beispielsweise Völker in Schweden oder Frankreich. Diese Völker und deren genetische, evolutionäre und epidemiologische Mechanismen stellen die Grundlage für Untersuchungen hinsichtlich einer Varroa-Toleranz dar<sup>1</sup>.

## **2. Partner**

Das Projekt findet in Kooperation mit dem Landesverband Sachsen für Varroaresistenzzucht e.V. (LSV) statt. Ziel des Vereins ist es, durch natürliche Selektion varroaresistente Bienen zu züchten. Durch die künstliche Besamung ausgewählter Bienenköniginnen sollen Resistenz- bzw. Toleranzeigenschaften gegen einen Varroa-Befall gefestigt werden. Gegenwärtig findet die Beurteilung der SMR-Eigenschaften von Bienenvölkern mit Hilfe aufwändiger Auszählaktionen der Milben statt<sup>7</sup>. Hierbei werden Brutzellen unter dem Mikroskop mit einer Pinzette geöffnet, die Puppe herausgezogen und geprüft, ob sich eine Milbe in der Zelle befindet. Beurteilt wird vor Allem das VSH- und Recapping-Verhalten der Bienen, welche das Ausräumen befallener Brutzellen bzw. das Wiederverdeckeln milbenfreier Brutzellen bezeichnet. Zukünftig sollen die Zuchterfolge genetisch evaluiert werden. Hierbei könnte ein Verfahren im Sinne eines genetischen Schnelltests, der bereits vor der künstlichen Besamung einer Königin stattfindet, für Züchter abschätzbar machen, ob sich eine Bienenkönigin für die Varroa-Toleranzzucht und zur Festigung der Resistenzeigenschaften eignet.

## **3. Ziel und Methodik**

Ziel des Projektes ist es mit Hilfe bereits vorhandenen genetischen Wissens zu SMR-Eigenschaften bei Honigbienen einen solchen genetischen Test zu entwickeln, mit dem die Einsetzbarkeit von Bienenköniginnen für die Varroaresistenzzucht evaluiert werden kann. Dieser soll für Imker und Züchter zugänglich sein und aufwändige Auszählaktionen zur Beurteilung der Varroa-Resistenz- und Toleranzeigenschaften zukünftig ablösen. Mittels der Isolation von DNA aus dem Nymphenhäutchen einer frisch geschlüpften Königin der Gattung *Apis mellifera* und einer darauffolgenden Nanoporesequenzierung soll die jeweilige Bienenkönigin auf ihr SMR-Verhalten untersucht werden. Dafür wurden von den Imkern des LSV Weiselzellen von Königinnen für eine genetische Untersuchung bereitgestellt, aus denen die Nymphenhäutchen isoliert werden können. Nymphenhäutchen stellen eine chitinartige Haut (Kokon) dar, welche die Bienenkönigin nach dem

Schlüpfen in der wachshaltigen Weiselzelle zurücklässt. Dieses Probenmaterial eignet sich besonders für die Untersuchung, da die Königin weder verletzt noch getötet werden muss und somit weiterhin für die Zucht eingesetzt werden kann. Die extrahierte DNA soll anschließend sequenziert werden. In Folge dessen können die DNA-Sequenzen mittels eines Abgleichs mit Sequenz-Datenbanken analysiert werden. Im weiteren Verlauf stehen genetische Marker und Einzelnukleotidaustausche, sogenannte SNPs, die mit einem Resistenzverhalten gegen *Varroa destructor* assoziiert sind<sup>5</sup>, im Fokus. Mit bioinformatischen Methoden werden die Daten untersucht und es wird eine digitale Pipeline entwickelt, welche zukünftig Aussagen über das Vorhandensein von SMR-Eigenschaften der untersuchten Königinnen liefern soll. Zuchtdateien über das vom LSV bereitgestellte Probenmaterial stehen hierfür ebenfalls zur Verfügung<sup>8</sup>.

#### 4. Bisherige Ergebnisse und Diskussion

Die genetische Analyse von Honigbienen-Nymphenhäutchen ist in der uns zugänglichen Literatur bisher nicht beschrieben. Demzufolge wurden zunächst Optimierungsversuche hinsichtlich der DNA-Isolation durchgeführt. Es konnte bereits erfolgreich DNA aus den zur Verfügung gestellten Nymphenhäutchen der Königinnen des Varroaresistenz-Zuchtprogramms des LSV mittels einer Isopropanolfällung isoliert werden. Für die Analyse der erzeugten Sequenzdaten aus den Nymphenhäutchen der Bienenköniginnen wurde zunächst eine Datenbank aller bekannten DNA-Sequenzen der Gattung *Apis* erstellt. Hierfür wurden von NCBI GenBank alle *Apis*-assoziierten Sequenzen im FASTA Format heruntergeladen und zu einer eigenen Datenbank zusammengefasst. Diese soll in Zukunft auf bisher bekannte Varroa-Resistenz-assoziierte Genbereiche gefiltert werden. Nach den ersten Sequenzierungsdurchgängen konnten DNA-Sequenzen der Gattung *Apis* sowie verschiedener Mikroorganismen detektiert werden. Gefundene *Apis*-Sequenzen wurden im weiteren Verlauf auf bereits entdeckte Varroaresistenz-assoziierte Gene und Genbereiche<sup>5</sup> untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass bereits einige dieser Markergene unter den Sequenzen nachweisbar sind. Durch einen zusätzlichen Enzymverdau mit einer Chitinase, welche den Abbau der  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4-Bindungen von Chitin katalysiert, konnte die Zelllyse der chitinhaltigen Nymphenhäutchen verbessert und die Ausbeute an isolierter DNA gesteigert werden. Hierbei ist es sehr wahrscheinlich, dass sich die Steigerung der DNA-Menge, die in die Sequenzierung eingebracht werden kann, auch positiv auf die Anzahl der resultierenden Sequenzen auswirken wird. Dies würde eine noch umfassendere genetische Analyse auf Varroa-Resistenzmerkmale ermöglichen.

#### Endnoten

<sup>1</sup> Zakar, E.; Javor, A.; Kusza, Sz. (2014): Genetic bases of tolerance to *Varroa destructor* in honey bees (*Apis mellifera* L.). In: *Insectes Sociaux* (61), S. 207–215.

<sup>2</sup> Kaskinova, M. D.; Gaifullina, L. R.; Saltykova, E. S.; Poskryakov, A. V.; Nikolenko, A. G. (2020): Genetic markers for the resistance of honey bee to *Varroa destructor*. In: *Vavilov Zeitschrift für Genetik und Zucht* (24), Artikel 8, S. 853–860.

<sup>3</sup> Boecking, O.; Genersch, E. (2008): Varroosis – the Ongoing Crisis in Bee Keeping. In: *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* (3), S. 221–228.

<sup>4</sup> Rosenkranz, P.; Aumeier, P.; Ziegelmann, B. (2010): Biology and control of *Varroa destructor*. In: *Journal of Invertebrate Pathology* (103), S. 96–119.

<sup>5</sup> Mondet, F.; Beaufrepaire, A.; McAfee, A.; Locke, B.; Alaux, C.; Blanchard, S. et al. (2020): Honey bee survival mechanisms against the parasite *Varroa destructor*: a systematic review of phenotypic and genomic research efforts. In: *International Journal for Parasitology* (50), S. 433–447.

<sup>6</sup> Boecking, O., Spivak, M. (1999) Behavioral defenses of honey bees against *Varroa jacobsoni* Oud., *Apidologie* 30, 141–158.

<sup>7</sup> Prudnikow, L. (2022): Auf der Suche nach der Varroaresistenten Honigbiene. Hochschule Mittweida. Online verfügbar unter <https://www.cb.hs-mittweida.de/>, zuletzt geprüft am 26.01.2023.

<sup>8</sup> [www.pedigree.gdeb.eu](http://www.pedigree.gdeb.eu)

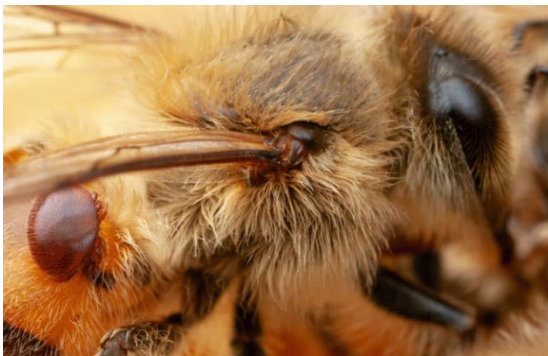


Abbildung 1: Eine Milbe der Gattung *Varroa destructor*, welche auf dem Abdomen von *Apis mellifera* sitzt [[www.abc.net.au](http://www.abc.net.au)].



Abbildung 2: Von den Imkern bereitgestellte Weiselzelle einer Königin aus der das Nymphenhäutchen isoliert werden kann.



Abbildung 3: MinION Sequencer von Oxford Nanopore Technologies, der für den genetischen Test auf Varroaresistenz-eigenschaften verwendet werden soll.

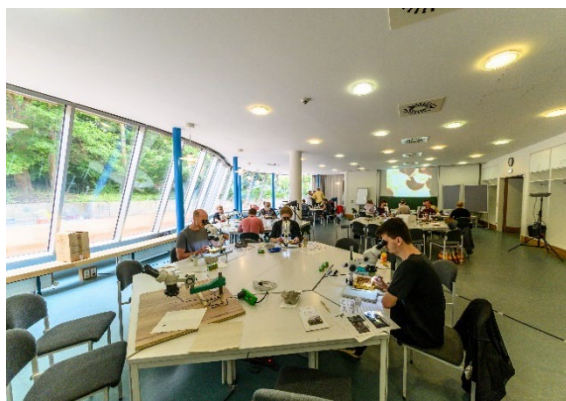


Abbildung 4: Auszählaktion des LSV an der Hochschule Mittweida zur Evaluierung der Varroaresistenz-Eigenschaften einiger Königinnen<sup>7</sup>.

# Entwicklung eines *in silico* SNP-Arrays zur Genotypisierung von Hunden

Anton Ulbricht, Nils Schön, Röbbbe Wünschiers

Hochschule Mittweida

## 1. Hintergrund

Schon seit Jahrtausenden wird der Hund (*Canis lupus familiaris*) vom Menschen gezüchtet, um uns als Jagdgefährte, Hüte- und Wachhund oder Familienmitglied zur Seite zu stehen (Perri et al., 2021). Durch diese gezielte Selektion bezüglich eines bestimmten Verhaltens oder besonderen morphologischen Eigenschaften entstanden über die Zeit viele verschiedene Hunderassen. Dabei ist ihre genaue Herkunft nicht immer geklärt. Ein Beispiel dafür ist der Altdeutsche Schafpudel, welcher vermutlich aus der ostdeutschen Tiefebene stammt und dort vor allem als Hütehund eingesetzt wurde. Die Population der Altdeutschen Schafpudel in Deutschland verkleinerte sich jedoch ab Ende der 1980er Jahre durch Umstrukturierungen im Schäfereiwesen erheblich. Heute wird er vermehrt als Familien- und Therapie- sowie Rettungshund gezüchtet. Um den Altdeutschen Schafpudel phylogenetisch einordnen und eventuelle Rückschlüsse auf seine Herkunft ziehen zu können, erfolgte die *in silico* Genotypisierung anhand von Sequenzierungsdaten eines Schafpudel-Rüden. Für die phylogenetische Analyse wurden 729 weitere Hunde herangezogen, so dass die Analyse insgesamt 130 verschiedenen Hunderassen umfasste (Dutrow et al., 2022; Parker et al., 2017).

## 2. Methoden

Basierend auf den Sondensequenzen des CanineHD BeadChip von Illumina (Illumina, 2023) wurde im Rahmen dieses Projektes ein *in silico* SNP-Array zur Genotypisierung von Hunden ausgehend von Illumina *short reads* entwickelt. Diese Reads wurden mittels der Solex Sequenzierertechnologie von Illumina erzeugt. Mithilfe des CanineHD BeadChip wurden bereits zahlreiche Hunde unterschiedlichster Rassen genotypisiert, daher ist der resultierende Genotyp direkt mit einer großen Anzahl an verfügbaren Daten vergleichbar.

Zu Beginn wurde aus den 50 bzw. 51 bp langen Sondensequenzen eine Datenbank als Grundlage für ein Alignment erzeugt. Dabei wurde jeweils die Position, an der sich der SNP befinden sollte, mit einem N markiert. Anschließend wurde ein Alignment der ca. 150 bp langen Short-Reads mit allen Sondensequenzen des SNP-Arrays durchgeführt. Alignments mit einer Mindestlänge von 50 bp und einer Identität von 100% wurden für die weitere Analyse verwendet. Des Weiteren wurden alle SNPs aus den Alignments isoliert und als Genotyp zusammengefasst. Anschließend wurden für jede Variante die vorliegenden Allele gezählt und der Genotyp dieser Variante bestimmt. Varianten, bei denen nur ein einziges Allel gefunden werden konnte, wurde als homozygot in diesem Allel angegeben. Wurden zwei unterschiedliche Allele gefunden, wurde die Variante als heterozygot bestimmt und wurden keine, drei oder vier verschiedene Allele für eine Variante gefunden, wurde der Genotyp auf „missing“ bzw. „0 0“ gesetzt, da das Ergebnis nicht eindeutig war. Zwei Optimierungsschritte wurden durchgeführt, um die Anzahl spezifischer Alignments zu erhöhen und somit die größtmögliche Menge an Informationen aus den Reads zu erhalten. Einerseits wurden dabei die *reverse complements* der

Sondensequenzen mit in die Datenbank einbezogen, wodurch die Anzahl der Alignments verdoppelt werden konnte. Des Weiteren wurde die Länge der Sondensequenz auf 20 bp reduziert, um weitere Alignments zu ermöglichen und trotzdem eine ausreichend hohe Spezifität zu gewährleisten. Der resultierende Genotyp des Altdeutschen Schafpudels wurde mit den 729 anderen Genotypen, die mit Hilfe des CanineHD Bead-Chips bestimmt wurden, zu einer gemeinsamen .ped-Datei zusammengefügt (Dutrow et al., 2022; Parker et al., 2017). Danach wurde eine Identity-By-State (IBS) Distanzmatrix mit PLINK 1.9 berechnet (Chang et al., 2015). Diese Distanzmatrix wurde wiederum dafür verwendet, um mit Hilfe von PHYLIP 3.697 (Felsenstein, 1989) ein Kladogramm zu konstruieren, dessen Signifikanz abschließend mittels Bootstrap-Analyse im Umfang von 100 Samples validiert wurde.

### 3. Ergebnisse

Mit der ursprünglichen Methode des in silico SNP-Arrays konnten Informationen über 157.422 Varianten von insgesamt 173.662 möglichen Varianten, die sich auf dem originalen BeadChip befinden, gesammelt werden. Die beiden Optimierungsschritte ermöglichten es, die Anzahl von Varianten, für die nach dem Alignment Informationen vorliegen, auf 173.271 zu steigern. In das resultierende Kladogramm konnten alle 730 Individuen eingeordnet werden, wobei Hunde derselben Rasse bis auf wenige Ausnahmen immer innerhalb einer Klade eingeordnet wurden. Der Bootstrap-Wert eines Knotenpunktes gibt an, in wie vielen Fällen die Anordnung rechts des Knotenpunktes aufgetreten ist. Ein Wert von 100 bedeutet, dass die jeweilige Konstellation in allen Bootstrap Samples exakt so vorgefunden werden konnte. Ab einem Wert von 70 kann von einem signifikanten Ergebnis ausgegangen werden (Hillis & Bull, 1993).

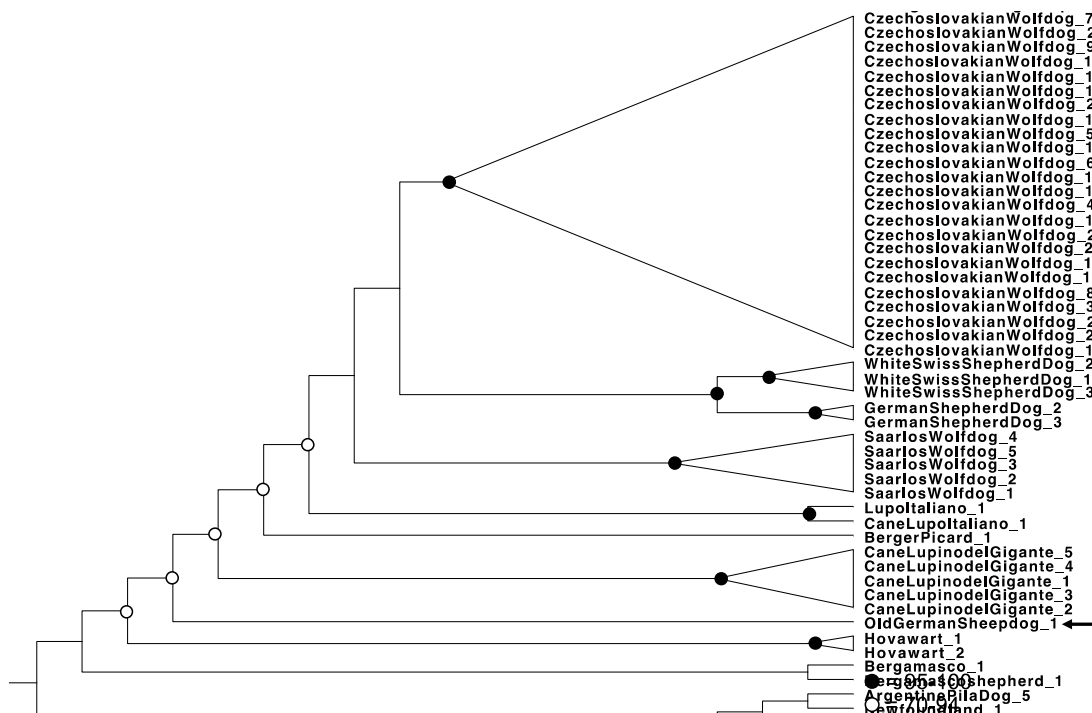


Abbildung 1: Ausschnitt des Kladogramms. Der Altdeutsche Schafpudel (engl.: Old German Sheepdog) ist mit einem Pfeil markiert. Weiß gefüllte Kreise markieren Knotenpunkte mit Bootstrap-Werten zwischen 70 und 94, schwarz gefüllte Kreise Knotenpunkte mit Werten größer gleich 95. Knotenpunkte ohne farbigen Kreis besitzen einen Bootstrap-Wert unter 70.

Im gesamten Kladogramm sind viele kleinere Gruppen mit einem hohen Bootstrap-Wert zu finden. In Abbildung 1 ist ein Ausschnitt des aus der Bootstrap-Analyse resultierenden Kladogramms dargestellt. Zu erkennen ist, dass alle Hunde derselben Rasse jeweils mit einem Bootstrap-Wert von über 95 sehr zuverlässig in eine gemeinsame, monophyletische Klade eingeordnet werden konnten. Der Altdeutsche Schafpudel ist in einer Klade für sich eingeordnet, mit dem nächsten Verwandten Cane Lupino Del Gigante, einem italienischen Hütehund. Die hier gezeigten nah verwandten Hunderassen des Altdeutschen Schafpudels stammen aus Italien (Lupo Italiano, Lupino del Gigante), der Schweiz (White Swiss Shepherd Dog), Frankreich (Berger Picard), den Niederlanden (Saarloos Wolfdog), Deutschland (German Shepherd Dog, Hovawart) und dem tschechoslowakischen Raum (Czechoslovakian Wolfdog).

#### **4. Diskussion**

Die hier gezeigten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Genotypisierung mittels *in silico* SNP-Array für den Schafpudel funktionierte und der Schafpudel scheinbar sinnvoll eingeordnet wurde. Da der Bootstrap-Wert über 70 liegt und somit signifikant ist (Hillis & Bull, 1993), lässt sich schlussfolgern, dass der Altdeutsche Schafpudel in dem hier betrachteten Datensatz am nächsten zu Lupino del Gigante verwandt ist. Der Lupino del Gigante stammt aus Italien, jedoch ist seine Herkunft nicht eindeutig geklärt. Der Altdeutsche Schafpudel weist ebenso eine hohe genetische Ähnlichkeit mit den anderen Rassen auf, die sich rechts des Knotenpunktes befinden. Sowohl Saarloos Wolfdog, Czechoslovakian Wolfdog als auch vermutlich Lupo Italiano sind Rassen, die durch die Zucht eines German Shepherd Dog mit einem Wolf entstanden sind (Fédération Cynologique Internationale, 2023; Petzold, 2023). Diese drei Rassen sind mit einem Bootstrap-Wert von über 70 in einer gemeinsamen Klade eingeordnet, was die allgemeine Qualität der verwendeten Daten und die korrekte Konstruktion des Kladogramms bestätigt. Dies kann auch anhand weiterer Beispiele im Kladogramm überprüft werden. Der German Shepherd Dog zeigt eine hohe Präsenz in der Klade, ebenfalls ist er auch ein Vorfahre des Hovawart. Somit ist davon auszugehen, dass er auch als möglicher Vorfahre des Altdeutschen Schafpudels in Frage kommen könnte. Dass die nächsten Verwandten im phylogenetischen Baum aus Italien und Deutschland stammen, deutet daraufhin, dass sich die Herkunft des Altdeutschen Schafpudels in eine dieser Regionen einordnen lässt. Abschließend beruht die hier dargestellte Analyse jedoch auf einem einzigen Individuum und einem begrenzten Datensatz, weshalb noch keine allgemeingültige Aussage über die Herkunft der Rasse getroffen werden kann.

#### **5. Ausblick**

Die hier gezeigten Ergebnisse könnten durch Einbeziehen weiterer bereits verfügbarer Genotypen anderer Hunderassen ergänzt werden, um ein detailreicheres Kladogramm zu erhalten. Des Weiteren wäre es aufschlussreich, weitere Schafpudel zu genotypisieren und deren Genotyp in die phylogenetische Analyse einzubeziehen. Um die Funktion des SNP-Arrays vollständig zu validieren, wäre es außerdem notwendig, einen Hund auf mit dem *in silico* SNP-Array zu genotypisieren, für den bereits andere Individuen derselben Rasse oder er selbst mit Hilfe des Canine HD BeadChip genotypisiert wurden. Würde dieser Hund dann gemeinsam mit den anderen in eine monophyletische Klade eingeordnet werden, oder würden sich die beiden erzeugten Genotypen desselben Hundes gleichen, würde das die Funktionsfähigkeit des *in silico* SNP-Arrays bestätigen. Weiterführend könnte der durch die hier angewandte Methode erzeugte Genotyp für

weitere Analysen neben der phylogenetischen Analyse verwendet werden. Zeitgleich wurden die zugrundeliegenden *Sequencing Reads* auf das CanFam 3.0 Referenzgenom gemappt und die SNPs gecallt. Die Ergebnisse dieses Verfahrens könnten ebenfalls mit denen des *in silico* SNP-Arrays verglichen werden, um die Qualität dieser Methode an aktuellen bioinformatischen Tools zu messen.

## Quellen

Chang, C. C., Chow, C. C., Tellier, L. C., Vattikuti, S., Purcell, S. M., & Lee, J. J. (2015). Second-generation PLINK: Rising to the challenge of larger and richer datasets. *Giga-Science*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13742-015-0047-8>

Dutrow, E. V., Serpell, J. A., & Ostrander, E. A. (2022). Domestic dog lineages reveal genetic drivers of behavioral diversification. *Cell*, 185(25), 4737-4755.e18. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.003>

Fédération Cynologique Internationale. (2023, Januar 26). *Fci.be*. <https://www.fci.be/en/>

Felsenstein, J. (1989). PHYLIP: Phylogeny Inference Package. Version 3.2. *Cladistics*, 5, 164–166. <https://doi.org/10.1086/416571>

Hillis, D. M., & Bull, J. J. (1993). An Empirical Test of Bootstrapping as a Method for Assessing Confidence in Phylogenetic Analysis. *Systematic Biology*, 42(2), 182. <https://doi.org/10.2307/2992540>

Illumina. (2023, Januar 26). *CanineHD BeadChip probe sequences*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/query/acc.cgi?acc=GPL20953>

Parker, H. G., Dreger, D. L., Rimbault, M., Davis, B. W., Mullen, A. B., Carpintero-Ramirez, G., & Ostrander, E. A. (2017). Genomic Analyses Reveal the Influence of Geographic Origin, Migration, and Hybridization on Modern Dog Breed Development. *Cell Reports*, 19(4), 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2017.03.079>

Perri, A. R., Feuerborn, T. R., Frantz, L. A. F., Larson, G., Malhi, R. S., Meltzer, D. J., & Witt, K. E. (2021). Dog domestication and the dual dispersal of people and dogs into the Americas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(6), e2010083118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010083118>

Petzold, F. (2023). *Lupo Italiano – Wolfshybrid & Wolfshund Hunderassen*. <https://der-wolfshund.de/wolfshund-hunderassen/lupo-italiano>

# Effect directed assay guided fractionation of marine microalgae based ethanolic extracts by centrifugal partition chromatography

Kolos Makay, Claudia Grewe

Centre of Life Sciences - Research Center and Graduate School of Anhalt University of Applied Sciences, Bernburger Str. 55, 06336 Köthen, Germany

## Abstract

Marine microalgae are a great source of high-value compounds such as polyunsaturated fatty acids, polyphenols, and carotenoids. These compounds possess bioactive properties (e.g., antioxidative) and have potential applications in life sciences. However, selective extraction of these molecules is difficult and requires multiple purification steps. Centrifugal partition chromatography (CPC) is a preparative, support-free, liquid-liquid chromatographic technique that can overcome this problem. Therefore, this study aimed to develop a simple bioactivity-guided isolation procedure using CPC. Crude ethanolic extracts of four microalgae species were screened for antioxidative activity using effect-directed analysis (EDA) coupled with high-performance thin-layer chromatography (HPTLC). Following the detection of biological activity, the chemical class of the most potent bioactive zones were identified. Subsequently, biphasic solvent systems with varying compositions were tested and optimized for the separation and recovery of the most potent molecules with antioxidative properties, using preparative-scale CPC.

## 1. Introduction

Microalgae are a diverse group of unicellular, phototrophic organisms. Owing to this one-cell-concentrated complex metabolism, microalgae are considered as suitable candidates for producing multiple products (e.g., carotenoids, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), and polyphenols) with diverse biological activities (e.g., antioxidant, anti-inflammatory, antitumor, antimicrobial) (Bhattacharya & Goswami, 2020; Slegers et al., 2020). Among these cellular products, lead compounds are of the highest priority, as they have shown sufficient potential (measured by potency, therapeutic efficacy, etc.) to progress into a full product development program in the field of life sciences (e.g., cosmeceuticals, nutraceuticals, pharmaceutical industries) (Costa et al., 2021; de Vera et al., 2018; O'connor et al., 2022). However, obtaining bioactive molecule-rich fractions with a high purity is a complex process. This is due to the fact that these bioactive compounds are typically extracted as a complex mixture of other molecules, therefore, multiple purification steps are usually necessary. Furthermore, in the currently dominating biorefinery approach, single products are primarily targeted instead of recovering a spectrum of biologically active substances, which neglects the potential of multiproduct value chains (Bhattacharya & Goswami, 2020; Li et al., 2021; Slegers et al., 2020).

CPC is a separation technique that uses two immiscible liquid phases to partition components. One phase is held stationary by centrifugal force, whereas the other phase is forced to flow through the stationary phase and dissolved components are separated based on their distribution coefficient ( $K_d$ ) between the two phases. Because CPC does



not require a solid support, unlike other chromatographic techniques, it eliminates the risk of irreversible sample adsorption. CPC also provides a high injection capacity with a recovery rate of over 95% and a purity rate of over 99%, making this technique an efficient DSP unit operation in the field of natural product isolation (Bojczuk et al., 2017; Lorántfy et al., 2020). HPTLC-EDA is a powerful technique used in the analysis of complex mixtures. This technique involves the separation of compounds on an HPTLC plate, followed by detection using biological or chemical assays. This technique combines the separation performance of HPTLC with the detection and identification capabilities of bioassays, thus allowing the identification of unknown and known compounds that may have a specific biological effect (Morlock, 2021). Therefore, CPC was coupled with HPTLC-EDA to develop a straightforward and effective method for generating multiple bioactive-rich fractions from crude microalgae-based ethanolic extracts.

## 2. Materials and methods

Crude lipid extracts from four microalgae species of commercial interest (*P. tricoratum*, *N. granulata*, *P. purpureum* and *T. tetraathele*) were screened for bioactive molecules using HPTLC-EDA. Antioxidative capacity (DPPH-assay) was chosen as an indicator of bioactivity. To detect antioxidative zones, the plates were immersed in a methanolic DPPH (0.2 w/v%). The most potent bioactive zones were further analyzed by spectrophotometry, HPTLC-GC-MS, and HPLC-DAD. Subsequently, biphasic solvent systems with varying compositions were screened in a scaled-down model to select the most suitable solvent system for the separation of the bioactive compounds of interest. The optimized biphasic system was then tested in a semitechnical-scale CPC for the generation of antioxidant-rich polar and medium-polar molecules from ethanolic extracts with high purity.

## 3. Results and Discussion

To explore the antioxidative biomolecules in the microalgae extract first HPTLC-EDA was applied. For the separation of the microalgal extracts, a medium polar mobile phase n-hexane/acetone/propan-2-ol (80/20/5 in v/v/v) was used. The bands with the most intense decolorization of the purple reagent showed the highest antioxidative capacity (*Figure 1*). The more apolar molecules with higher affinity to the mobile phase also exerted antioxidative properties; however, the zones showing the highest antioxidative capacity were observed closer to or at the application line of the HPTLC plate (*Figure 1, row 17*). This finding suggests that molecules with the highest antioxidative capacity were found in the more polar and medium-polar fractions of the microalgal extracts. Further analysis of the bioactive zones revealed the abundant presence of polyphenols, polyunsaturated fatty acids in galacto- and phospholipid-esterified forms and some microalgae species-specific predominant carotenoids (e.g., fucoxanthin from *P. tricoratum* (*Figure 1*) or violaxanthin from *N. granulata*). Bands that showed more moderate decolorisation were identified also as carotenoids (e.g.,  $\beta$ -carotene, diadinoxanthin), although these contribute only to a minor part to the microalgal lipidome of the selected species.

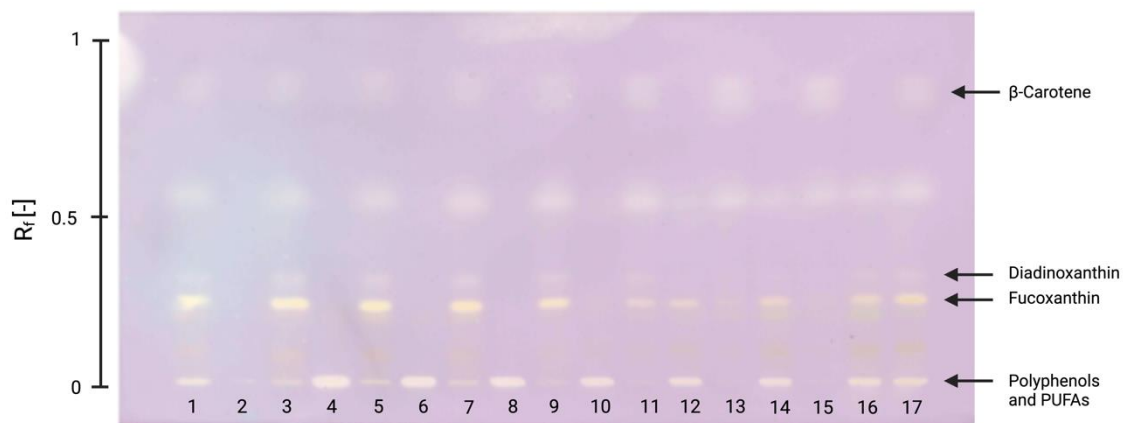


Figure 1: Mobile phase: *n*-hexane/acetone/propan-2-ol 80:20:5 (v/v/v/v/v). Solid phase: SG60-F254 glass plate (20x10 cm). Application line was at 8 mm. Frontline at 90 mm derivatized with 0.2% w/v ethanolic DPPH solution and dried at 22°C for 1 h in the absence of light. The rows numbered 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, and 15 are samples taken from the upper phase of the biphasic solvent system of *n*-hexane/ethyl acetate/ethanol/water with increasing ratio of ethanol and parallel decrease in the water ratio from 1 to 8 (v/v) and 9 to 2 (v/v), respectively. The ratio of *n*-hexane to ethyl acetate was kept constant with ratio of 5/5 (v/v). Rows numbered 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 16 are the respective lower phases of the biphasic systems. 17: Crude ethanolic lipid extract from *P. tricornutum*, which was also used to test the biphasic systems.

Based on the physicochemical properties and chemical identity of the bioactive compounds, *n*-hexane/ethyl acetate/ethanol/water was chosen as the biphasic solvent system, since it is generally applied – in varying volumetric ratios – to separate polar and medium polar compounds in counter current chromatography (Han et al., 2022). The volumetric ratio of the most polar solvent constituents of the system, ethanol and water, was changed stepwise between 1:9 and 9:1 (v/v). By decreasing the polarity of the aqueous phase, the affinity of the most antioxidative molecules towards the upper organic phase decreased and they were predominantly present in the aqueous phase, as confirmed by visual observation (Figure 1, 1-16) and the calculated  $K_d$  values of the chemically identified species (data not shown). Based on the evaluation of the  $K_d$  values of the bioactive molecules, the results indicated that the biphasic solvent system consisting of *n*-hexane/ethyl acetate/ethanol/water at a volumetric ratio of 5/5/6/4 was the most suitable for separation. This is because the  $K_d$  values of the compounds exerting the highest antioxidative capacity, independently from the microalgae species, ranged from 0.3 and 3.5, which is close to the recommended range of 0.5 to 3.0. in counter current chromatographic techniques (Bojczuk et al., 2017).

Based on small-scale screening experiments, the *n*-hexane/ethyl acetate/ethanol/water (5/5/6/4 v/v/v/v) biphasic system was applied to a preparative scale CPC (250 mL). Crude lipid extracts (500 mg) were redissolved in 10 mL of the aqueous ethanol phase and injected into the CPC, which had been previously loaded and equilibrated with the biphasic solvent system (the aqueous phase was used as the mobile phase). The extracts were separated at a flow rate of 2 mL min<sup>-1</sup>, and the processing time for separation was set to 120 min. The fractions from the separation were collected and analyzed individually. Based on the analytical results, the samples were pooled at a limit of 95% purity. The total polyphenol content of all microalgae species was recovered with a purity value above 99.5% and a recovery rate between 98.12% and 99.53%. On average, 78.67% of the PUFA-containing galacto- and phospholipids could be recovered to maintain the purity of the fraction above the set limit. Therefore, further optimization of

the process (solvent system, flow rate during separation, etc.) is required to increase the recovery of GL and PL. Fucoxanthin was found only in *P. tricornutum* and was separated by recovery rates and purities above 98%. Similarly, recovery rates higher than 99% were achieved for violaxanthin produced by *N. granulata* and *T. tetrahele*. During the CPC separation, no elution of major carotenoid fractions from the *P. purpureum* extract was obtained. This is most likely due to the presence of more apolar carotenoids such as zeaxanthin or  $\beta$ -carotene, which would elute later owing to their high  $K_d$  values. Based on the obtained results from *N. granulata*, *P. tricornutum* and *T. tetrahele* three, while from *P. purpureum* two chemically distinguished high-value fractions could be obtained, with the here presented method. These results clearly indicate the applicability and highlight the enormous potential of microalgae for the production of multiple products.

#### 4. Conclusion

In conclusion, this study demonstrates the potential of bioactivity-guided isolation via CPC for the effective separation and isolation of antioxidant-rich fractions from crude microalga-based ethanolic extracts. The optimized biphasic solvent system consisting of n-hexane/ethyl acetate/ethanol/water in a volumetric ratio of 5/5/6/4 was found to be the most suitable biphasic solvent system. The recovery rate and purity of the extracted compounds were high, making this technique a promising DSP unit operation. Furthermore, this study highlights the enormous potential of microalgae to produce multiple bioactive products, along with the applicability of CPC in the separation and recovery of these high-value compounds.

#### Bibliography

- Bhattacharya, M., & Goswami, S. (2020). Microalgae – A green multi-product biorefinery for future industrial prospects. In *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* (Vol. 25). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101580>
- Bojczuk, M., Żyżelewicz, D., & Hodurek, P. (2017). Centrifugal partition chromatography – A review of recent applications and some classic references. *Journal of Separation Science*, 40(7), 1597–1609. <https://doi.org/10.1002/jssc.201601221>
- Costa, J. A. V., Lucas, B. F., Alvarenga, A. G. P., Moreira, J. B., & de Morais, M. G. (2021). Microalgae Polysaccharides: An Overview of Production, Characterization, and Potential Applications. *Polysaccharides*, 2(4), 759–772. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2040046>
- de Vera, C. R., Crespín, G. D., Daranas, A. H., Looga, S. M., Lillsunde, K. E., Tammela, P., Perälä, M., Hongisto, V., Virtanen, J., Rischer, H., Muller, C. D., Norte, M., Fernández, J. J., & Souto, M. L. (2018). Marine Microalgae: Promising source for new bioactive compounds. *Marine Drugs*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/md16090317>
- Han, T., Cao, X., Pei, H., & Fan, C. (2022). Overview of Solvent System Selection Strategies for Countercurrent Chromatography. *Separation & Purification Reviews*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/15422119.2022.2096472>
- Li, T., Xu, J., Wang, W., Chen, Z., Li, C., Wu, H., Wu, H., & Xiang, W. (2021). A novel three-step extraction strategy for high-value products from red algae porphyridium purpureum. *Foods*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/foods10092164>
- Lorántfy, L., Örkenyi, R., Rutterschmid, D., Bakonyi, D., Faragó, J., Dargó, G., & Könczöl, Á. (2020). Continuous industrial-scale centrifugal partition chromatography with automatic solvent system handling: Concept and instrumentation. *Organic Process Research and Development*, 24(11), 2676–2688. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.0c00338>
- Morlock, G. E. (2021). High-performance thin-layer chromatography combined with effect-directed assays and high-resolution mass spectrometry as an emerging hyphenated technology: A tutorial review. *Analytica Chimica Acta*, 1180. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2021.338644>
- O’connor, J., Garcia-Vaquero, M., Meaney, S., & Tiwari, B. K. (2022). Bioactive Peptides from Algae: Traditional and Novel Generation Strategies, Structure-Function Relationships, and Bioinformatics as Predictive Tools for Bioactivity. In *Marine Drugs* (Vol. 20, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/md20050317>
- Slegers, P. M., Olivieri, G., Breitmayer, E., Sijtsma, L., Eppink, M. H. M., Wijffels, R. H., & Reith, J. H. (2020). Design of Value Chains for Microalgal Biorefinery at Industrial Scale : Process Integration and Techno-Economic Analysis. 8(September), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.550758>

**Teil 3**

**Informations- und  
Kommunikationstechnologien**

# Realitätsnahe Nachbildung von Umgebungen für interaktive Echtzeit-Simulationen

Martin Weber<sup>1</sup>, Hans Standfest<sup>1</sup>, Niklas Räder<sup>1</sup>, Lukas Iwai<sup>1</sup>, Benjamin Erl<sup>1</sup>, Cheyenne Emmerlich<sup>1</sup>, Jannik Büge<sup>1</sup>, Melissa Weidlich-Rau<sup>1</sup>, Manuel Heinzig<sup>1</sup>, Alexander Kühn<sup>1</sup>, Christian Roschke<sup>1</sup>, Matthias Vodel<sup>1</sup>, Mike Espig<sup>2</sup>, Michaela Banert<sup>2</sup>, Marc Ritter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- & Biowiss., Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

<sup>2</sup> Westsächsische Hochschule Zwickau, Data Science Research Group, Kornmarkt 1, 08056 Zwickau

## Abstract

Renderingmethoden für die Darstellung von virtuellen Umgebungen werden immer realistischer (Tatarchuk, 2009) und finden häufiger Anwendung außerhalb der Spieleindustrie (Wu und Fu, 2019).

Eine Studentengruppe der Hochschule Mittweida (HSMW) beschäftigte sich im Verlauf von 3 Semestern, im Rahmen des Lehrkonzeptes *Digital Skills and Products* (Ritter et al., 2019) unter der Leitung von Prof Ritter, mit der Erstellung einer Echtzeitsimulation des Roboters *Double 3* von *Double Robotics* (Double Robotics, 2022).

Als Teil des Projekts entstand eine virtuelle Nachbildung der Büroräume der Data Science Research Group (DSRG) der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ).

Außerdem beinhaltet die Simulation sowohl eine Programmierschnittstelle, als auch eine Webapplikation, über welche der virtuelle Roboter wahlweise angesteuert werden kann. Ein speziell dafür erstellter Prototyp wurde zum Ende des zweiten Projektsemesters evaluiert, um die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung und den visuellen Realismus der Umgebung von Personen bewerten zu lassen, die mit den Büroräumen der DSRG vertraut sind.

Die Evaluation zeigt, dass die Echtzeitsimulation für digitales Lernen im Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz (KI), sowie für das Training eines maschinellen Lernmodells geeignet ist. Künftig soll der Prototyp an der WHZ für Lehrzwecke adaptiert und ein Algorithmus für maschinelles Lernen angebunden werden, welcher gleichzeitig mit dem realen Double Roboter kompatibel ist.

## 1. Einführung

Die Leistung von Computern sowie von Echtzeit-Rendering-Technologien steigt stetig und Werkzeuge zur Erstellung von virtuellen Umgebungen werden immer effizienter und nutzerfreundlicher (Nordhaus, 2007). Virtuelle Echtzeitumgebungen spielen dabei auch außerhalb der Spieleindustrie eine wichtige Rolle, wie z. B. bei der Produkt- und Architekturvisualisierung oder digitalen Führungen von Gebäuden. Eine weitere Anwendung ist das Training von künstlichen Intelligenzen (KI) in einer virtuellen Umgebung, um diese später auf die echte Welt zu übertragen. Im Rahmen des Lehrprojekts "Wissenschaft und Wirtschaft" nach (Ritter et al., 2019) entstand ein Studentenprojekt an der HSMW, welches sich drei Semester (25ECTS) lang mit der Erstellung einer solchen Simulationsumgebung beschäftigt hat. Dieses Projekt war eine Zusammenarbeit zwischen der

HSMW und der WHZ unterstützt vom Forschungsprojekt Saxony5 (Saxony5, 2022). Innerhalb des Lehrmodules hat eine Gruppe von sieben Studenten die Büroräume der DSRG der WHZ und das Modell des *Double* Telepräsenzroboters (Double Robotics, 2022), mit hohem Detailgrad und Originaltreue nachgebildet. Dieser ist ein 2-rädriger, selbstfahrender Roboter, der über Kameras sowie weitere Sensoren verfügt und von der Ferne über eine Webanwendung gesteuert werden kann. Die Simulation stellt eine Schnittstelle bereit, über die ein virtuelles Abbild des Roboters komplett gesteuert und dessen Sensorik abgefragt werden kann. Das ermöglicht es bspw. ein maschinelles Lernmodell virtuell zu trainieren und dieses Modell später auf einen echten Roboter zu übertragen. Am Ende Projekts erfolgte die Durchführung einer Evaluation des Prototypen. Diese untersuchte ob sich die Echtzeitsimulation für digitales Lernen im Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz (KI), sowie für das Training eines maschinellen Lernmodells eignet. Im Folgenden wird zusätzlich der Entstehungsprozess der Simulationsumgebung beschrieben.

## 2. Grundlagen

Maschinelle Lernmodelle sind nur so gut, wie die Daten, welche sie für das Training benutzt haben (Rudraraju und Boyannapally, 2019). Für KIs, die in einer virtuellen Umgebung trainiert und anschließend auf die echte Welt übertragen werden, bedeutet dies, dass die Lernumgebung so realitätsnah wie möglich an der Umgebung sein muss, in der das Modell letztendlich angewendet wird. Folglich muss die Umgebung, in der ein Modell für einen Double Roboter im Einsatz in den Büroräumen der DSRG trainiert wird, so originalgetreu wie möglich zu diesen Räumen sein.

In anderen Bereichen finden virtuelle Nachbildungen von Gebäuden ebenfalls Anwendung. Modelle können zur Beschleunigung von Bauprojekten beitragen (Arayici und Hamilton, 2005) oder im Immobilien-Service-Sektor eingesetzt werden (Mahdjoubi, 2013). In den meisten Fällen kommen dafür 3D-Laserscanning-Techniken und automatisierte Prozesse für die Modellerstellung zum Einsatz (Mahdjoubi, 2013). Damit ist es möglich, millimetergenaue Modelle herzustellen. Jedoch erfordern derartige Techniken spezielle Voraussetzungen. Solch eine Vorgehensweise war für das gegebene Projekt nicht möglich, da die hohen Voraussetzungen nicht erfüllt werden konnten und weil die Technik des Laserscannings verschiedene Nachteile hat. Die Verwendung von 3D Scans liefert ein schnelles und akkurates Ergebnis, jedoch sind diese nicht für die Anwendung in Echtzeit optimiert und somit nicht für diesen Anwendungsfall geeignet. Ein weiteres Argument gegen 3D Scans ist die fehlende Modularität. Objekte können nicht individuell nachbearbeitet werden, sondern es entstehen große unhandliche Modelle, welche viel anspruchsvolle Optimierung benötigen. Aus diesen Gründen wurden die Räumlichkeiten und darin enthaltene Objekte manuell erstellt.

Da das Training eines maschinellen Lernmodells für einen Roboter in Echtzeit ablaufen muss, wurde die Anwendung mithilfe der 3D-Spielengine *Unity* (*Unity Technologies, 2022*) erstellt. Diese beinhaltet ein grundlegendes Framework, in dem Spiele und ähnliche Echtzeitanwendungen in 3D ablaufen können. Außerdem stellt der Unity-Editor einen großen Teil der benötigten Werkzeuge zur Verfügung, um die gewünschte Anwendungen zu erstellen. Die Engine bietet letztlich noch eine wertvolle Programmierschnittstelle, um die Programmierung in C# (.Net) zu ermöglichen.

### 3. Systemarchitektur

Die Systemarchitektur ist aus den früh im Projektverlauf ermittelten Anforderungen an die Anwendung hervorgegangen. Über ein Webinterface soll die Simulation beobachtet, sowie mit dieser interagiert werden können. Zudem soll die Simulation unabhängig davon sein, ob gerade ein Nutzer das Interface nutzt oder nicht. Im Einsatz muss der virtuelle Roboter extern über eine Programmierschnittstelle gesteuert werden können.

Die folgende Grafik zeigt schematisch den Aufbau des Gesamtsystems:

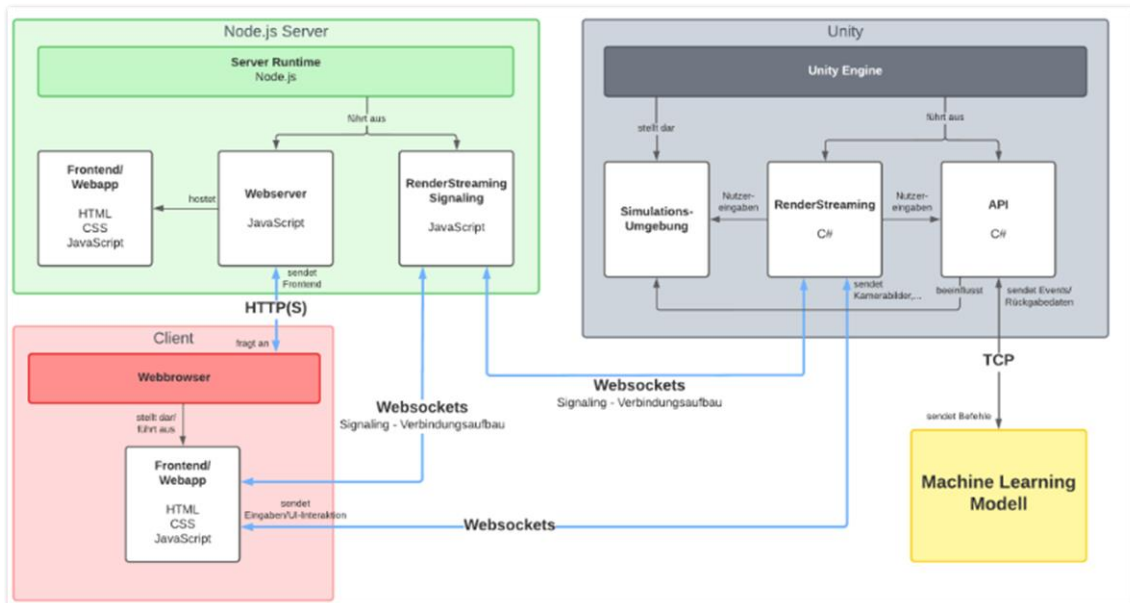


Abbildung 1: Ein Node.js Webservice (Grün) hostet das Webinterface und ist Verbindungsvermittler zwischen Unity-Simulation (Grau) und Client/Webbrowser (Rot). Eine peer-to-peer-Verbindung zwischen Client und Simulation ermöglicht einen Videostream an die Webapplikation. Die Programmierschnittstelle/API erlaubt einem Machine Learning Modell (Gelb) die Steuerung des Roboters

Die *Unity Game Engine* bietet verschiedene Pakete bzw. Rendertechnologien zur Darstellung von Grafik mit verschiedenen Realismusgraden und Leistungsanforderungen, die sog. "Render Pipelines". Für die Umsetzung der Simulation wurde sich für die "High Definition Render Pipeline" (HDRP) entschieden. Diese bietet das Potential für den höchstmöglichen grafischen Realismus in der Gameengine. Eine realitätsnahe Optik war im Projekt wichtig, da die Simulation im Zusammenhang mit einem maschinellen Lernmodell eingesetzt werden soll, sodass es möglich wäre, das Modell in der Simulation zu trainieren und dann auf den echten Roboter zu übertragen. Aus diesen Gründen wurde sich für diese Rendertechnik entschieden und die virtuelle Umgebung mithilfe dieser umgesetzt.

Unity bietet die Möglichkeit Projekte als Webanwendungen zu exportieren, welche dann WebGL für das 3D-Rendern nutzen. Hierbei wird jedoch die HDRP nicht unterstützt, welche für das Projekt benötigt wurde. Stattdessen wird die Simulation auf einem Server ausgeführt und das dabei dargestellte Bild an ein einfaches Frontend in Echtzeit übertragen. Zudem sollte die Simulation, z.B. für das Training eines maschinellen Lernmodells, unabhängig von der Nutzung der Weboberfläche auf einem Server ausführbar sein. Aus diesen Gründen war eine komplexere Architektur für das System erforderlich.

Das Webinterface bzw. Frontend der Simulation macht es möglich, die Simulation zu beobachten und mit dieser zu interagieren. Der Webserver ist nun nicht nur für die Bereitstellung der Informationen zuständig, sondern dient auch als Vermittler für den Verbindungsaufbau zwischen Website und Simulation. Statt die Simulation direkt im Browser des Clients auszuführen, verbindet sich dieser mit der Simulation auf dem Server. Die Simulation sendet über die Verbindung einen Bild-Stream, der im Browser angezeigt wird und so die Simulation für den Nutzer darstellt. In der entgegengesetzten Richtung sendet das Frontend Eingaben des Nutzers an die Simulation, welche dann für die Interaktion weiter verarbeitet werden. Für den Verbindungsaufbau sowie die spätere Datenübertragung werden Websockets als Kommunikationsmittel verwendet.

#### 4. Programmierschnittstelle (API)

Damit ein maschinelles Lernmodell in der Simulationsumgebung trainiert und anschließend reibungslos auf den realen *Double 3* übertragen werden kann, ist die Programmierschnittstelle eine möglichst genaue Nachbildung des d3-sdk (Double3-sdk, 2022). Das macht es Programmierern möglich, Anwendungen für den Roboter zu entwickeln, welche die Bewegungs- und Navigationsmöglichkeiten des *Double 3* nutzen. Der Roboter kann anschließend also komplett über diese Schnittstelle gesteuert werden.

Wie auch das d3-sdk, nutzt die replizierte Schnittstelle JSON (JavaScript Object Notation) als Nachrichtenformat für jegliche Kommunikation. Der Unterschied zur originalen API (Application Programming Interface) liegt darin, dass keine Unix Domain Sockets (auch IPC Sockets genannt) genutzt werden können. Diese bilden unter Unix-Systemen eine Schnittstelle für die lokale Kommunikation zwischen Programmen auf einem Computersystem. Stattdessen wird das Netzwerkprotokoll TCP (Transmission Control Protocol) zur Kommunikation verwendet, welches die Datenübertragung nicht nur lokal sondern auch zwischen mehreren Computern ermöglicht. Grund dafür ist, dass die Entwicklung auf Windows-Systemen stattfand und dort die Benutzung von rohem IPC nur schwer durchführbar ist. Durch TCP wird zudem ermöglicht, dass die Simulation nicht auf demselben Computer ablaufen muss, auf dem das Lernmodell ausgeführt wird. Da der IPC Socket beim Double vom Typ Stream ist unterscheidet sich die Handhabung im Vergleich zu TCP nur im Verbindungsaufbau, nicht aber bei der Übertragung von Daten. Somit ist die Anpassung der KI, bei der Übertragung auf den realen Roboter, mit nur geringem Aufwand verbunden. Die Unity-Anwendung startet einen TCP-Server, welcher nun auf Verbindungen von Clients wartet, die Befehle an die Simulation senden möchten.

Die verwendeten JSON-Befehle bestehen aus zwei Teilen. Der erste Teil ist das Kommando, welches ausgeführt werden soll (Beispiel: "base.pole.setTarget"). Der zweite Teil enthält eine Liste aller Parameter welche an die Methode übergeben werden (Beispiel: "percent": 0.3). In Unity werden empfangene Befehle dann interpretiert und die entsprechende Funktion des Roboters aufgerufen. Hierbei wird die interne Klassenstruktur anhand des Kommandonamens nach der angefragten Methode durchsucht und diese dann aufgerufen. Dadurch ist das System einfach um neue Funktionen erweiterbar, weil keine manuelle Zuordnung zwischen Anfrageformat und Aufruf benötigt wird, sondern die internen Methoden direkt auf dieses Format abgebildet werden.



## 5. Erstellungsprozess der Umgebung

Um die Räumlichkeiten der DSRG nachzubilden, fand eine Exkursion zu den Büroräumen der WHZ statt. Anhand der vor Ort genommenen Maße konnte ein Raumplan, so wie Vorlagen für die spätere Nachbildung der Einrichtungsgegenstände erstellt werden. Um eine möglichst genaue Nachbildung zu erhalten, erfolgte die Vermessung der Räumlichkeiten sowie Möbel mit Zollstöcken und Lasermessgeräten. Die Durchführung einer detaillierten Rekonstruktion erforderte die Vermessung aller Baugruppen, die größer als ein Dezimeter sind. Zusätzlich erfolgte die Aufnahme von Referenzbildern und Maßen der Möbelstücke. Auf Grundlage eines von der WHZ bereitgestellten Grundrisses entstand ein Modell in *Autodesk CAD* (Autodesk, 2022). Als Ergebnis der Exkursion ergab sich ein digitaler Raumplan, 354 Referenzbilder, sechs erfasste Räume inklusive Blick auf den Außenbereich, sowie 45 verschiedene vermessene Objekte im Raum.

### 5.1. Modellierung

Die Referenzen der Exkursion bildeten eine Grundlage für die Modellierung der Modelle. Zunächst ist die Struktur der Wände basierend auf dem Grundriss entstanden. Als nächstes erhielt diese Struktur Ausschnitte für Fenster und Türen und es erfolgte die Platzierung von Säulen. Die aufgenommenen Bilder dienten außerdem als Vorlage zur Modellierung der Möbel im 3D-Modellierungsprogramm *Blender* (Blender, 2022). Die Modelle beinhalten so wenig Geometrie wie möglich, ohne dabei relevante Abstriche im Detailgrad zu machen. Abgeschrägte Kanten sorgen für eine realistischere Lichtberechnung, was dem Modell zusätzlich mehr Detailgrad verleiht. Aus diesen Modellen entstand ein 2D Netz (UV-Map) für die Texturierung. Die Erstellung eines identischen, höher aufgelösten Modells für die Generierung von Oberflächendetails auf der Textur ermöglichte einen höheren Realismus ohne Leistungseinbußen.

Die Texturierung, also das Einfärben der Modelloberflächen, erfolgte mit *Substance Painter* (Substance, 2022). Um den hohen Realismusgrad zu wahren, erhielt jedes Objekt dort eine individuell erstellte Textur. Danach begann der Import und die Platzierung der fertig texturierten Modelle in Unity. Mit Hilfe des Raumplans und der Bilder konnten die Objekte mit hoher Genauigkeit platziert werden.



Abbildung 2: Virtuelle Nachbildung der Büroräume der DSRG

## 5.2. Lighting

Anschließend erfolgte die Beleuchtung der Szene. Lichtquellen, die sich an den Stellen befinden, wo es im Büro ebenfalls Lampen gibt, sorgen für eine realitätsnahe Helligkeitsstimmung. Zusätzlich simulieren Lichtflächen an Türen und Fenstern, die nach Außen führen, einfallendes Sonnenlicht. Die Beleuchtung aller unbeweglichen Objekte der Umgebung ist bereits vor der Ausführung des Programms berechnet und gespeichert (Light Baking (Unity Documentation: Baked Light, 2022)). Dies ermöglicht annähernd realistische Schattierungen, die in Echtzeit dargestellt werden können (siehe Abb. 2).

Reflexionen werden mittels Screen-Space-Reflections (SSR) dargestellt. Diese Technik verwendet bereits vorhandene Bilddaten im Grafikspeicher, um Reflektionen nachträglich zu berechnen.

## 6. Evaluation

Um die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung und den visuellen Realismus der Umgebung von Personen bewerten zu lassen, die mit der Umgebung vertraut sind, fand eine Evaluation über Zoom statt. Dabei war das Ziel auch die Untersuchung, ob sich die Echtzeitsimulation für digitales Lernen im Zusammenhang mit KI, sowie für das Training eines maschinellen Lernmodells eignet. Außerdem sollte die generelle Qualität des Prototypen, also die der Modelle und Texturen, sowie die Handhabung der Anwendung, eingeschätzt und mögliche Fehler gefunden werden.

Für diese Zwecke entstanden zwei Fragebögen für die Beurteilung der Anwendung durch die Probanden, wie auch ein speziell für diese Evaluation entwickelter Prototyp mit zusätzlichen Funktionen. Ein eigenständig programmiertes Autopilotensystem diente dabei als Platzhalter für ein maschinelles Lernmodell, wodurch eine eigenständige Navigation des Roboters durch die Simulationsumgebung ermöglicht wird. Dieses nutzt das von Unity bereitgestellte *NavMesh*-System, welches automatisch eine Karte der Szene generiert. Sie gibt Auskunft darüber, welche Areale betretbar sind und welche nicht. Mittels NavMesh-Agent wird so ein Pfad gefunden, über den sich der Roboter von einem Punkt zum nächsten bewegen kann. Der Autopilot lässt sich dabei über ein einfaches Menü konfigurieren. Hier kann der Nutzer neue Zielorte hinzufügen oder bereits bestehende umbenennen.

Um die Handlungen der Probanden während der Evaluation zu verfolgen und eine Überprüfung verschiedener Funktionen bereitzustellen, kam eine Liste mit Aufgaben direkt in der Anwendung zum Einsatz. Diese befand sich am linken Bildschirmrand. Dort waren bestimmte Punkte der Räumlichkeiten aufgelistet, zu welchen die Probanden navigieren sollten. Begibt sich ein Proband zum jeweiligen Punkt, wird die Aufgabe automatisch in der Liste als erledigt markiert und der Proband bekommt Feedback, dass er diese absolviert hat.

Zusätzlich entstand ein Logging-System für die Analyse zur Nutzung des Programms, welches die Position des Double im Programm und das Erledigen der Aufgaben im Verlauf des Testzeitraums aufzeichnete. Ebenso erfolgte die Aufnahme der Bildrate, wie auch der Hardware des Probanden, für die Behebung von möglichen Fehlern.

Die Probanden für die Evaluation wurden von der DSRG gestellt und sind alle mit der realweltlichen Räumlichkeit vertraut. Zuvor erhielt jeder den Prototyp als Windows-Anwendung, um mögliche Probleme bei einer Verteilung während der Evaluation und Fehler beim Starten zu verhindern. Das bedeutet aber auch, dass ein möglicher Ersteindruck verloren gehen könnte, da die Probanden den Prototypen bereits vor der Evaluation ausprobieren hätten können.

Es kam schließlich zur erfolgreichen Durchführung der Evaluation mit sechs Probanden. Diese führten selbständig alle Aufgaben durch und beantworteten die beiden gestellten Fragebögen mit dem Web-Tool *AttrakDiff* (AttrakDiff, 2023) und *Google Forms*.

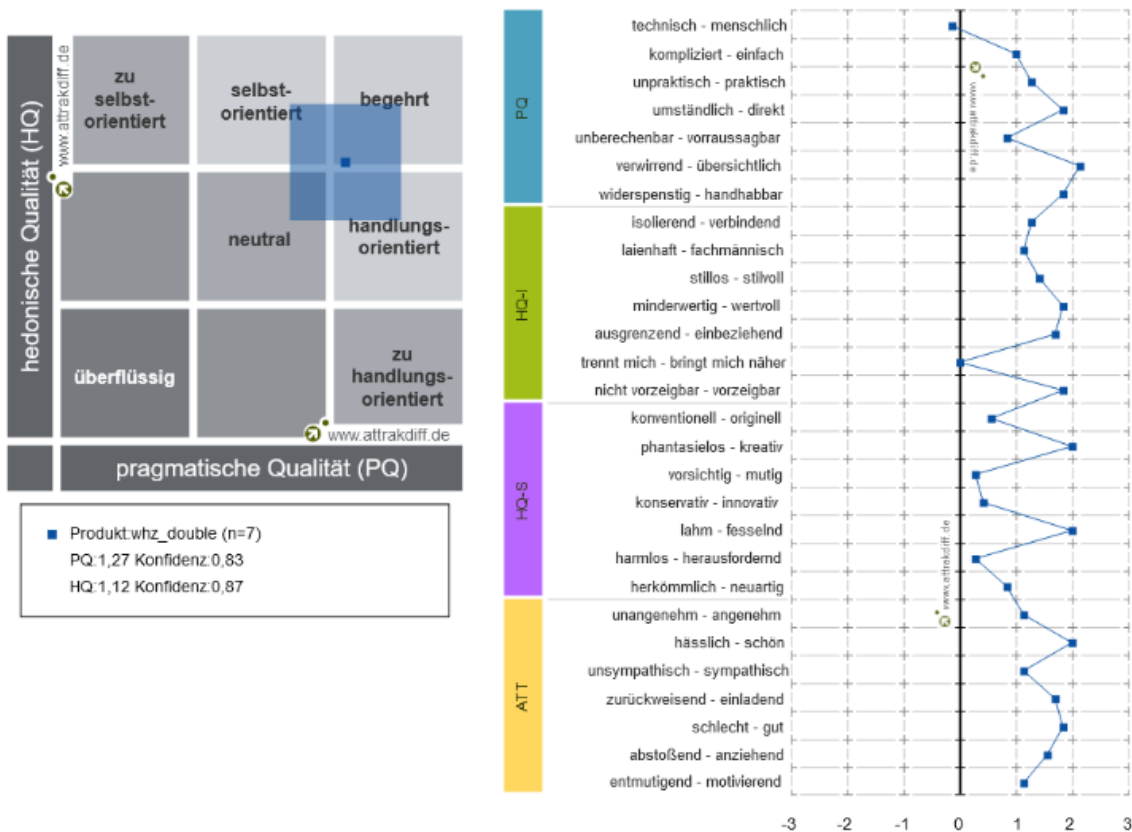
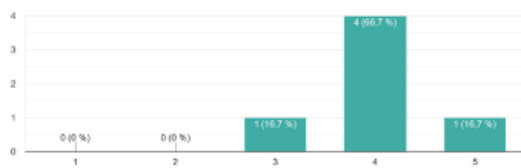


Abbildung 3: Ergebnisse der Evaluation mittels AttrakDiff. Der Prototyp wies eine hohe hedonische und pragmatische Qualität auf, die Probanden empfanden die Interaktion also als positiv.

Die Probanden schätzten außerdem die Umgebung als tauglich für die Anbindung eines maschinellen Lernmodells ein. Zusätzlich ist nach Aussage der Probanden der Prototyp nützlich für Lehrzwecke im Bereich maschinelles Lernens. Auch diese Untersuchung ist demnach positiv beschieden. Somit sollte es möglich sein, eine fertige Version des Prototypen für digitales Lernen im Zusammenhang mit KI zu empfehlen, sowie für das Training eines maschinellen Lernmodells zu nutzen.

Wie gut eignet sich das Umfeld für das Trainieren von künstlicher Intelligenz?  
6 Antworten



Was schätzen Sie, wie gut man unser Tool benutzen kann, um später eine KI anzubinden, welche den Roboter eigenständig steuert?  
6 Antworten

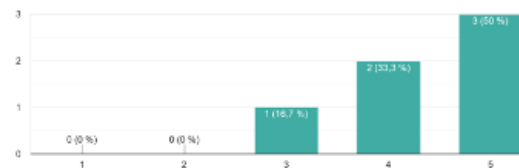


Abbildung 4: Ausschnitt der Ergebnisse der Evaluation aus Google Forms.

Links: Wie gut eignet sich das Umfeld für das Training von KI?

Rechts: Wie gut kann man eine KI an das Tool anbinden? Bewertung: 1-sehr schlecht 5-sehr gut

## 7 Fazit

Im Rahmen des Lehrkonzepts im Modul *Wissenschaft und Wirtschaft* von (Ritter et al. 2019) al.\cite{Finanzmars} entstand eine projektorientierte Zusammenarbeit zwischen der Hochschule Mittweida und der Data Science Research Group der Westsächsischen Hochschule Zwickau.

Dabei erfolgte die digitale Nachbildung der Räumlichkeiten der DSRG in der Unity Engine. Dazu entstand eine Programmierschnittstelle auf der Basis des d3-sdk, um eine Kommunikation zwischen dem *Double* Roboter und der Simulation/Webanwendung zu verwirklichen. Eine Evaluation des Prototypen zur Überprüfung, ob sich die Echtzeitsimulation für digitales Lernen im Zusammenhang mit KI, sowie für das Training eines maschinellen Lernmodells eignet wurde durchgeführt und bestätigte eben diese These.

Die Anwendung kann nun auf einem Server der DSRG eingesetzt und dort als Lehrmittel für Studenten zur Verfügung gestellt werden. Außerdem ist die Anbindung eines Machine Learning Modells über die API möglich. Diese kann in der Simulationsumgebung trainiert und später auf den echten Double Roboter übertragen werden.

## Quellen

- Arayici, Y. & Hamilton, A. (2005). Modeling 3d scanned data to visualize the built environment. In *Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05)*, pages 509–514.
- Mahdjoubi, L., Moobela, C., & Laing, R. (2013). Providing real-estate services through the integration of 3d laser scanning and building information modelling. *Computers in Industry*, 64(9):1272–1281.
- Ritter, M., Roschke, C. & Tolkmit, V. (2019). Finanzmars im Kosmos von Blended Learning. *Beiträge des CARF Luzern 2019*, pages 327–344.
- Rudraraju, N. V. & Boyannapally, V. (2019). *Data quality model for machine learning*. Faculty of Computing, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, Master of Science in Software Engineering
- Nordhaus, W. D. (2007). Two centuries of productivity growth in computing. *The Journal of Economic History*, 128–159.
- Tatarchuk, N. (2009). Advances in real-time rendering in 3d graphics and games.
- Wu, X. & Fu, Q. (2022). Science unreal domed screen film-making and application based on unreal engine technology. In *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers, IPEC '22*, page 206–210, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Attrakdiff. <https://attrakdiff.de/>. Abgerufen am 2023-01-28.
- Autodesk CAD. <https://www.autodesk.de/solutions/cad-software/>. Abgerufen am: 2022-12-15.
- Blender. <https://www.blender.org/>. Abgerufen am: 2022-12-15.
- d3-sdk. <https://github.com/doublerobotics/d3-sdk>. Abgerufen am: 2023-02-27.
- Double Robotics. <https://www.doublerobotics.com/>. Abgerufen am: 2022-12-15.

Saxony5 Projekt. <https://saxony5.de/>. Abgerufen am: 2023-02-27.

Substance painter. <https://www.adobe.com/products/substance3d-painter.html>. Abgerufen am: 2023-02-27.

Unity. <https://unity.com/de>. Abgerufen am: 2022-12-15.

Unity Documentation, Baked Light. <https://docs.unity3d.com/Manual/LightMode-Baked.html>. Abgerufen am: 2022-12-15.

# Anforderungen an Hochschullehre im Kontext von BIM-Gebäude-Modell-Validierung

Sebastian Damek

Fachhochschule Erfurt, Altonaer Str. 25, 99085 Erfurt

## 1. Einleitung

In einer sich wandelnden Baubranche nimmt Building Information Modeling (BIM) einen immer größeren Platz ein. Dies wird anhand der Zahlen der berufspolitischen Befragung der Bundesarchitektenkammer aus dem Jahre 2021 deutlich. Darin geben die Befragten an, dass 18% von ihnen in ihrem beruflichen Kontext die Arbeitsmethode BIM nutzen, das ist im Vergleich zu der berufspolitischen Befragung aus dem Jahr 2017 (12%) eine Steigerung von 6%. (BAK 2021 S.87) Grundlage dafür bildet der Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) aus dem Jahre 2015. In diesem wurden sowohl Ziele zur Einführung dieser Arbeitsmethode beschrieben als auch eine Definition verfasst, die die Arbeitsweise wie folgt beschreibt:

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“ (Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ S.4)

Diese Definition wird im „Masterplan Bundesbau“, der als Folgedokument des Stufenplanes zu betrachten ist, weitergeführt. Die Einführung der Arbeitsmethode BIM für Bundesbauten wird dort für das Ende des Jahres 2022 beschrieben.

Diese politisch und wirtschaftlich gesteckten Ziele verlangen nach einem Konzept der Fort- und Weiterbildung. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und die Non-Profit-Organisation buildingSMART Deutschland haben gemeinsam die Richtlinie VDI/bS-MT 2552 Blätter 8.1-8.3 entwickelt. Daraus ergibt sich in Kombination mit der ISO 19650 das „Professional Certification Program“ von buildingSMART International, das Zertifizierungsmöglichkeiten in Deutschland vorsieht.

Die inhaltlichen Zielsetzungen für den Abschluss des buildingSMART/VDI-Zertifikats „BIM-Qualifikationen-Basiskenntnisse“ für Planende bildet die wissensbasierte Lerngrundlage. Ergänzend dazu sollten folgende Fähigkeiten vermittelt werden: „Erstellung BIM-fähiger 3D-Modelle“, „Nutzung attribuerter 3D-Modelle“ und „Nutzung von Kollisionsprüfungen“, da diese nach der Studie der Architektenkammer die Hauptanwendungen von BIM in Büros und Behörden sind. (BAK 2021 S.82) Die Anwendung "Modellbasierte-Kollisionsprüfung" bildet eine vollkommen neue Herausforderung für Studierende, da dort digitale Gewerke repräsentiert (3D-Modelle), miteinander verglichen, überprüft, gegeneinander auf Kollisionen überprüft sowie auf ihre semantischen Informationen hin untersucht werden.

Daraus werden folgende Forschungsfragen für die Entwicklung und Verbesserung der BIM-Lehre abgeleitet.

FQ1. Wie viel Modellierungserfahrung braucht man für eine Kollisionsprüfung?

FQ2. Welche digitalen Kompetenzen sind entscheidend für eine erfolgreiche Kollisionsprüfung?

## **2. Methodik**

Dafür wurde zunächst eine pilotierende Feldstudie durchgeführt. Es wurden zwei elective Lehrveranstaltungen, bestehend aus jeweils einem einmal pro Woche durchgeführten Theorie- und Praxisteil, aufgeteilt in zwei Phasen – einer getrennten und einer gemeinsamen – in den Studiengängen Architektur und Bauingenieurwesen an zwei verschiedenen Hochschulen konzipiert. Sowohl die Praxis- als auch die Theorie-Lehrveranstaltungen wurden komplett online abgehalten.

Der Kurs BIM (n=6), den der Verfasser leitete und der vollständig online abgehalten wurde, setzte sich aus Masterstudierenden der Fachrichtung Architektur zusammen. In der ersten Phase wurde über eine Vorlesungsreihe das theoretische Wissen sowohl für die Klausur als auch für die freiwillige Zertifizierungsprüfung für „BIM-Qualifikations-Basiskenntnisse“ vermittelt. Erweitert dazu wurden die Grundlagen geschaffen, um ein modellbasiertes Erstellen (Erzeugen eines 3D-Modells) und Arbeiten (Anreichern von semantischen Informationen) in einer frei gewählten Nativ-Modellierungssoftware zu gewährleisten. Dafür wurden 2D-Pläne eines Bungalows zur Verfügung gestellt – mit entsprechenden Modell-Anforderungen und Umsetzungshinweisen als Aufgabenstellung. Diese Pläne basierten sowohl auf dem „BIM Informations-Lieferungs-Handbuch (ILH) Grundlagen“ (buildingSMART Benelux) von bimloket aus den Niederlanden als auch auf dem Klassifizierungssystem nach „IFC Bildkommentar nach DIN 276“ von (Richter, Liedtke, 2021). Dadurch sollte Modellierungserfahrung geschaffen werden. Für die Umsetzung stand den Studierenden eine komplexe moodle-Umgebung (Moodle.org, 2018) zur Verfügung, in der die benötigte Software (u. a. IFCWebServer (Concerted Solutions, 2021)) sowie eine Daten-Ablage integriert war. Wesentlich war hierbei, dass das erstellte Modell gemäß den Vorgaben im BIM-Standarddatenformat Industry Foundation Classes (IFC) exportierbar sein und den Datenaustausch unterstützen sollte.

An der Fakultät für Bauingenieurwesen wurde der Kurs Vitulng (n=5) für Bachelor- und Masterstudierende angeboten und nutzte als Medium ein Multiplayer-Online-Game (Pägel, Söbke, Bröker, 2021). Im Ablauf organisierten sich die Studierenden in Gruppen und nach Einarbeitung in die Spieleumgebung von EVE Online (CCP, 2012) war die Aufgabe, strategische Ziele und Herangehensweisen zu entwickeln. Dies umfasste auch die Parameter und Regeln für den Umgang mit der Spielwelt zu definieren. Dabei mussten die Studierenden in einen kommunikativen Austausch miteinander treten und sich in einer ungewohnten Aufgabe zurechtfinden. Damit ist die Möglichkeit geschaffen, überfachliche Kompetenzen auszubauen.

Zum Abschluss der beiden Kurse im Wintersemester 21/22 stand eine gemeinsame praktische BIM-Gebäude-Modellvalidierungs-Aufgabe an, die eine Kollisionsprüfung beinhaltete: Nach einer Einführung mussten die Studierenden mit einer zuvor unbekannteren BIM-Prüfsoftware ein gegebenes Gebäudemodell validieren und eine Kollisionsprüfung mit einem zur Verfügung gestellten Gebäudetechnik-Modell durchführen sowie die

gefundenen Problem Issues (Probleme) dokumentierten. Die durch das Format und die abschließende gemeinsame BIM-Praxisaufgabe geförderten Kompetenzen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Kurs BIM	Kurs Virtulung
<p>Fachliche Kompetenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Kenntnisse einer CAD-Software im Bereich der 3D- Modellierung</li> <li>• Grundlegendes 3-dimensionales Vorstellungsvermögen</li> <li>• Kenntnis von IFC als Datenaustauschformat</li> <li>• Modellierung eines 3D-Gebäudemodells aus Planungsdaten</li> <li>• Sicherstellung der IFC-Fähigkeiten</li> <li>• Erstellung eines IFC-fähigen 3D-Gebäudemodells nach Vorlage der Planungsdaten</li> </ul>	<p>Überfachliche Kompetenzen, wie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikation</li> <li>• Kollaboration</li> <li>• Critical Thinking</li> <li>• Creativeness</li> <li>• Information Literacy</li> </ul>
<p>BIM-Praxisaufgabe Gebäudemodellvalidierung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis für komplexe BIM-Software</li> <li>• Verständnis für das Dateimanagement (u. a. Dateien für Modelle, Klassifikationen und Prüfregele)</li> <li>• Verständnis von IFC-Datenstrukturen und von IFC-Prüfregele</li> <li>• Durchführen einer Modellüberprüfung mit Hilfe einer BIM-Software</li> <li>• Durchführen einer Kollisionsprüfung mit Hilfe einer BIM-Software</li> <li>• Übersichtliche, reflektierte Darstellung der Prüfergebnisse</li> </ul>	

Tabelle 1 Lernziele (Kompetenzen) der beiden Kurse (Damek u. a., 2022)

Nach einer Einführungspräsentation sowohl in die BIM-Praxisaufgabe als auch in die Software Solibri (Solibri Inc., 2021) sowie der Zur-Verfügung-Stellung der entwickelten Regelsätze, die auf den Anforderungen der Aufgabenstellung des BIM-Kurses basieren, sollten die Studierenden selbständig arbeiten.

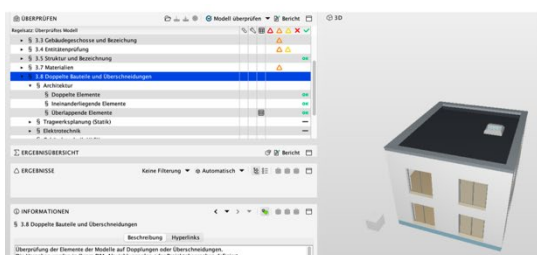


Abb. 1 Modellprüfung

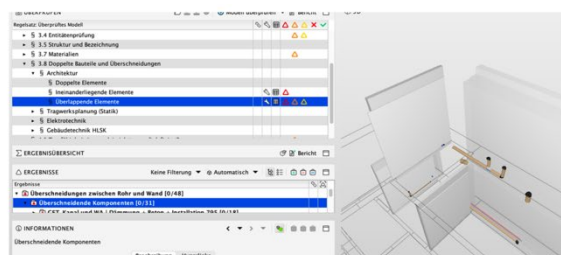


Abb.2 Kollisionsprüfung

Die Lehrenden standen während der Veranstaltungen für die Klärung von Fragen zur Verfügung. Die Bearbeitung der Praxisaufgabe unterlag keinen Einschränkungen. Die Ergebnisse waren jedoch einzeln abzugeben und jeweils zwei Lehrenden in einer 10-minütigen Präsentation, die bewertet wurde, vorzustellen.



### 3. Ergebnisse

Zur Datenerhebung wurden drei verschiedene Techniken genutzt. Zum einen wurde für die Abfrage des BIM-Fachwissens die Lernumgebung moodle (Moodle.org, 2018) genutzt, wobei fünf zufällige Single-Choice-Fragen aus einem Kontingent von 15 Fragen gestellt wurden. Zum anderen war ein Fragebogen zu Workplace-competences mit 19 Items auf einer 5-Punkte Likert-Skala zu beantworten. Beide Abfragen wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten innerhalb der Studie erhoben: zunächst zum Semesterstart (Messung 1), die zweite Messung erfolgte am Ende des Kursteils (Messung 2), die letzte Messung beim Abschluss der praktischen Übung (Messung 3). Dies sollte dazu dienen, einen möglichen temporären Verlauf erheben zu können. Des Weiteren wurde mit allen Studierenden per Videochat ein semistrukturiertes Interview mit einer Länge von ca. 10 bis 15 Minuten durchgeführt. Diese wurden aufgezeichnet, transkribiert und durch die beiden Lehrenden analysiert (Schmidt, 2004). In einer Reflexion der Prüfenden wurde ein gemeinsames Verständnis festgelegt.

#### 3.1 Fachwissen-Test

Die Ergebnisse der Tests zeigen deutlich, dass bei den Virtulng-Studierenden ein Computerverständnis bzw. eine Computeraffinität vorhanden ist, aber kaum weitergehendes BIM-Wissen entwickelt wurde. Beim Architekturkurs hingegen entwickelte sich das Fachwissen langsam und stieg bei der Zertifizierungsprüfung sprunghaft an.

Kohrte	BIM (n=6)		Virtulng (n=5)	
Messung	Richtig [%]	Zeit verwendet[s]	Richtig [%]t	Zeit verwendet[s]
Messung 1	35	N/A	36	159
Messung 2	40	N/A	48	136
Messung 3	55	N/A	48	120

*Tabelle 2 BIM Test (Damek u. a., 2022)*

Kohrte	BIM (n=6)	Virtulng (n=5)
Ergebniss	91 %	87 %

*Tabelle 3 Abschlusspräsentation/Zertifizierungsprüfung (Damek u. a., 2022)*

### 3.2 Fragebogen

Die Ergebnisse aus dem Fragebogen zu den Aufgaben "Attraktivität" und gleichzeitig zum "Wissenserwerb" verdeutlichen, dass die Aufgabe als fordernd wahrgenommen wurde. Gleichzeitig sagen sie etwas über fachliche Kompetenzen, die als sehr wichtig wahrgenommen wurden.

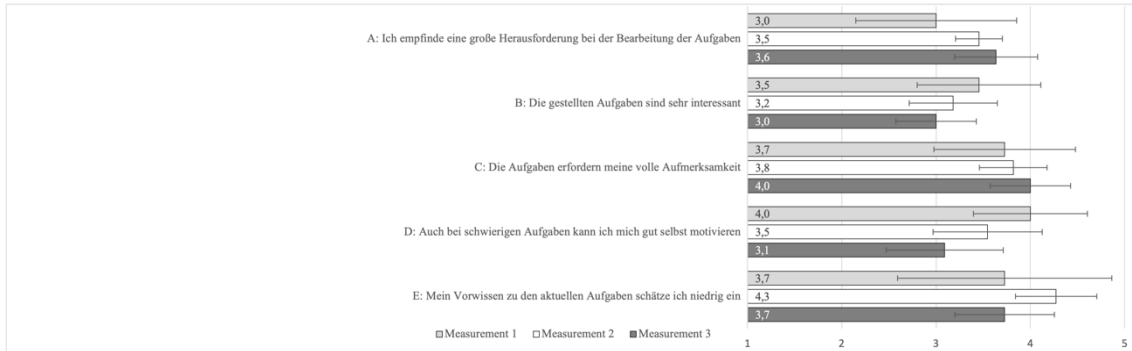


Abb. 3 Items der Aufgabenattraktivität (Kohorte)  $n=11$ , Mittelung aus 3 Messzeitpunkte (Damek u. a., 2022)

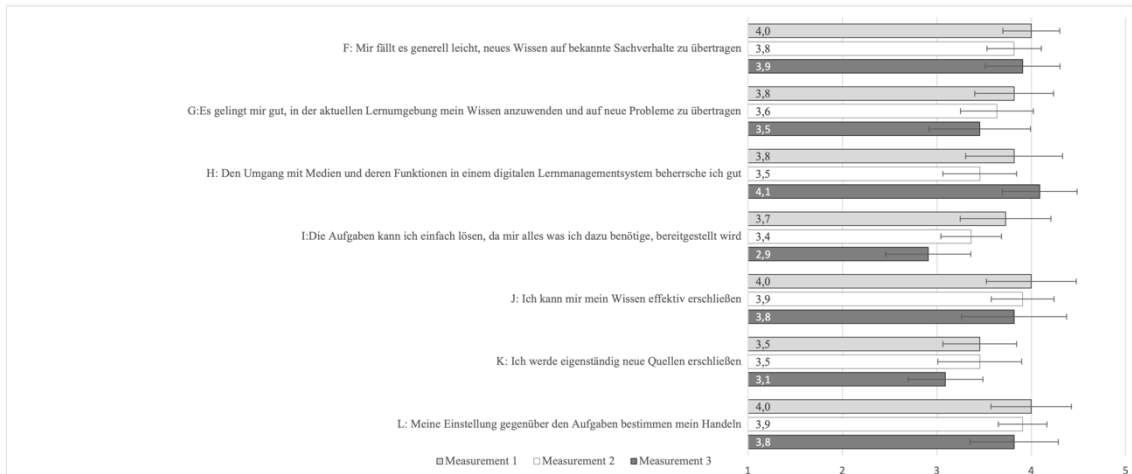


Abb. 4 Items der Aufgabenattraktivität (Kohorte)  $n=11$ , Mittelung aus 3 Messzeitpunkte (Damek u. a., 2022)

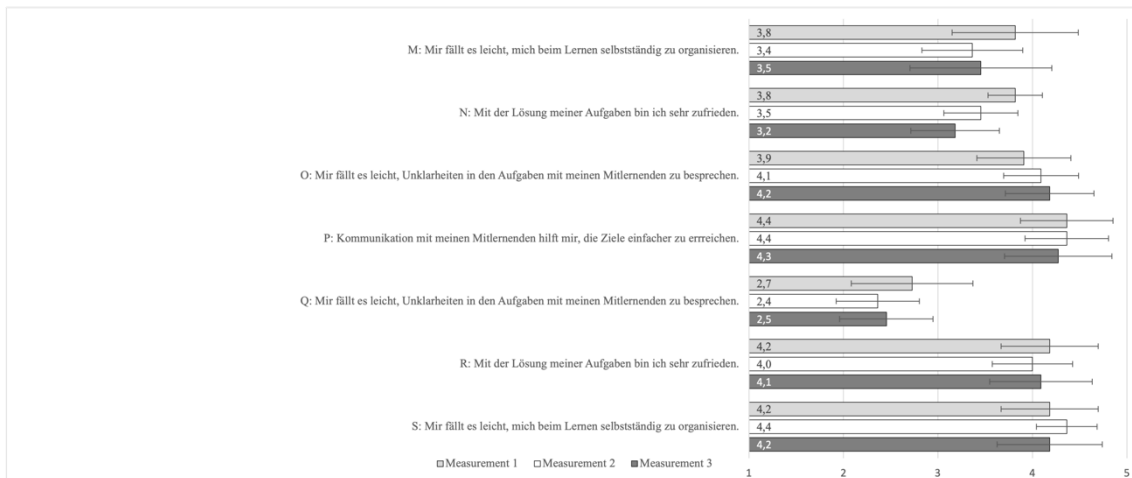


Abb. 5 Items der Wissensakquise (Kohorte)  $n=11$ , Mittelung aus 3 Messzeitpunkte (Damek u. a., 2022)

### 3.3 Interview

Die Interviews wurden in sechs Themenbereiche gegliedert. Aus zeitlichen Gründen wurde nicht in allen Interviews jedes Thema behandelt. Allerdings wurden mindestens vier Themenbereiche pro Interview abgefragt. Zu allen Themenbereichen gab es kategorisierte Aussagen (von 8 bis 37), die ungefähr gleichmäßig bearbeitet worden waren. Insgesamt wurde 123 Aussagen kategorisiert.

Row Labels	Summe von Summe
<b>▣ Einstellung zur Aufgabe</b>	<b>37</b>
Keinen Inhaltlichen Bezug	2
Mehrwert	15
Verbesserungsvorschlag	5
Vorkenntnisse	1
Positives Feedback	10
Negatives Feedback	4
<b>▣ Fähigkeiten</b>	<b>28</b>
Information Literacy	6
Personal Skills	7
Softskills	5
Teamarbeit	10
<b>▣ Fähigkeiten zum Umgang mit digitalen Werkzeugen</b>	<b>17</b>
Fachspezifisch	3
Programmspezifisch	2
Wichtig	12
<b>▣ Herausforderungen</b>	<b>17</b>
Erfolgreich	10
Kein profundes Wissen	2
Modellierung	2
Softwarehandling	3
<b>▣ Vorbereitung durch ersten Teil der Aufgabe</b>	<b>16</b>
Beurteilung	3
Hilfreich	4
Verbesserungsvorschlag	2
wenig bis keine Vorbereitung	7
<b>▣ Vorbereitung für das Berufsleben</b>	<b>8</b>
Einschränkung	2
Vorbereitet	6
<b>Grand Total</b>	<b>123</b>

Abb. 6 Auswertung Themenbereiche der Interviews (Kohorte) n=11

#### **4. Diskussion**

Es ist zu sehen, dass die Studierenden der Virtulng-Kohorte, deren überfachliche Kompetenzen trainiert wurden, insbesondere von den erworbenen Fähigkeiten zu Kollaboration und Kommunikation bei der Lösung der Aufgaben profitieren konnten. Aufgrund der fehlenden Fachkenntnisse konnte nicht ganz das Aufgabenerfüllungslevel der BIM-Kohorte erreicht werden. Aber durch intensive Arbeit im Kollektiv konnte doch ein gutes Ergebnis erzielt werden. Da bei ist zu beachten, dass Fehler innerhalb der Gruppe weitergetragen wurden.

Die Kohorte der Architektur-Studierenden tat sich anfangs mit den genauen Modell-Anforderungen und den damit verbundenen Modellierungs- und Arbeitsweisen innerhalb ihrer nativen Software schwer. Diese Hürde zu überwinden und anschließend den Rollenwechsel vom Erstellenden (Zeichnen und Modellieren von Gebäuden) hinzu einer überprüfenden Tätigkeit (Koordination und Analyse) zu meistern, war sichtlich nicht einfach. Als diese Schwelle allerdings überwunden war, wurden den Studierenden der Mehrwert der Arbeitsmethode deutlich, der darin liegt, dass Fehler schon beim Planen bzw. Überprüfen entdeckt werden können, die sonst erst in der Bauphase zum Vorschein kommen würden.

Eine pilotierende Feldstudie hat immer ihre Grenzen, insbesondere bei einer so kleinen Probandenzahl, die nicht unbedingt als repräsentativ gelten darf. Daher ist es z. B. nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse durch eine Gruppendynamik beeinflusst wurden, bei der die Teilnehmenden sich schnell kannten und deshalb gut zusammenarbeiteten, was in einer deutlich größeren Gruppe so wohl nicht der Fall gewesen wäre. Auch die erste Abfrage (Messung 1) ohne fachliche Vorkenntnisse der Teilnehmenden der Virtulng-Kohorte ist sicher nicht allzu genau, was hier aber auch nicht im Focus stand, bei dem es um wichtige Arbeitsplatzkompetenzen im BIM-Bereich ging.

#### **Fazit**

Die Studie bot die Möglichkeit, das theoretische Wissen mit der angewendeten Modellarbeit zu verbinden. Hierin liegt auch das große Potenzial für weitere Lehrformate. Zum einen ist deutlich geworden, dass für eine erfolgreiche Modellüberprüfung und Koordination im studentischen Kontext nicht zwangsläufig vertiefte BIM - und Modellierungskenntnisse erforderlich sind, sondern eher eine Affinität bezüglich digitaler Werkzeuge. Zum anderen ist deutlich geworden, dass überfachliche Kompetenzen sowie die Kommunikation wichtige Faktoren für den Erfolg eines solchen Projekts sind. Diese Erkenntnisse könnten in zukünftigen Lehrveranstaltungen mit einem Fokus auf kooperativem Arbeiten mit mehreren Fachdisziplinen dazu führen, den Fokus auf kleine individuelle Modellierungsaufgaben und mehrere Modelle mit klar abgegrenzten semantischen Informationen zu legen, wobei das Modellieren und Überprüfen im Vordergrund stehen soll. Das theoretische Fachwissen sollte flankierend vermittelt werden, um die Qualität der Ergebnisse zu steigern. Dies war eine Erkenntnis der Studie.

#### **Quellen**

Bundesarchitektenkammer (2021): Berufspolitische Befragung 2021. Zentrale Ergebnisse. Ergebnisse aus der bundesweiten Befragung selbstständig tätiger und abhängig beschäftigter Mitglieder der Architektenkammern der Länder zu aktuellen berufs-

politischen Themen im Jahr 2021. Präsentation vom 17.09.2021. <https://bak.de/politik-und-praxis/wirtschaft-und-mittelstand/umfragen-kammermitglieder/berufspolitische-befragung/> (zuletzt abgerufen am 31.02.2023).

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Stufenplan digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Eigenverlag.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hg.) (2021): Masterplan BIM für Bundesbauten. Erläuterungsbericht. Eigenverlag.

Verein Deutscher Ingenieure / buildingSMART (2019): Building Information Modeling. Qualifikationen. Basiskenntnisse. In: VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.1.

Verein Deutscher Ingenieure / buildingSMART (2019): Building Information Modeling. Qualifikationen. Basiskenntnisse. In: VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.2.

Verein Deutscher Ingenieure / buildingSMART (2019): Building Information Modeling. Qualifikationen. Basiskenntnisse. In: VDI/BS-MT 2552 Blatt 8.3.

DIN Norm / DIN EN ISO 19650-1 (2019).

buildingSMART Deutschland (o.J.): BIM Weiterbildung. <https://www.buildingsmart.de/bim-weiterbildung> (zuletzt abgerufen am 31.02.2023).

Richter, C. / Liedtke, S. (2021): BKI IFC Bildkommentar nach DIN 276: Ausgewählte IFC 4 Begriffe für die BIM-Planungsarbeit gegliedert nach DIN 276. BKI.

buildingSMART Benelux / bimloket (o.J.): BIM Informations-Lieferungs-Handbuch (ILH) Grundlagen. Version 1.0. PDF-Dokument. <https://www.bimloket.nl/p/321/Downloads> (zuletzt abgerufen am 31.02.2023).

Pagel, M. / Söbke, H. / Bröker, T. (2021): Using Multiplayer Online Games for Teaching Soft Skills in Higher Education. In: Fletcher, B. / Ma, M. / Göbel, S. et al. (ed.): Serious Games. Springer International Publishing. 276–290.

CCP (2012): EVE Online. <http://www.eveonline.com/>. (zuletzt abgerufen am 19.07.2012).

Chung-Herrera, B. / Enz, C. / Lankau, M. (2003): A competencies model: Grooming future hospitality leaders. In: Cornell Hotel Restaur Adm Q 44. 17–25.

Solibri Inc. (2021) SOLIBRI. In: BIM Softw. Archit. Eng.

Schmidt, C. (2004): The analysis of semi-structured interviews. In: Flick, U. / Kardorff, E. von / Steinke, I. (ed.): A Companion to Qualitative Research. SAGE Publications. 253–258.

Damek, S. / Söbke, H. / Weise, F. / Reichelt, M. (2022): Teaching (Meta) Competences for Digital Practice Exemplified by Building Information Modeling Work Processes. In: Knowledge 2022 (2) 452-464. <https://doi.org/10.3390/knowledge2030027> (zuletzt abgerufen am 31.02.2023).

# Vergleichende Analyse von Unternehmenswerten in Online Stellenanzeigen mittels NLP / LIWC

Marcel Herold, Marc R.H. Roedenbeck

Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau

## Abstract

Die Analyse von Unternehmenswerten wird schon seit Jahrzehnten durchgeführt. Es gibt verschiedene Modelle, wie zum Beispiel den Ansatz von Hofstede oder das „Universal Value Structure Modell“ von Schwartz, welche die Unternehmenswerte darstellen. Aktuelle Studien empfehlen Unternehmenswerte unter der Nutzung von Natural Language Processing und definierten Wortlisten bei größeren Textdaten zu untersuchen. Ziel der vorliegenden Analyse war zu identifizieren, ob die deutschen Übersetzungen der bisher englischsprachigen Ansätze im Kontext von Online-Stellenanzeigen funktional anwendbar sind. Daher wurden ca. 151.000 online-Stellenanzeigen von ca. 29.000 Unternehmen mittels drei Wortlisten analysiert. Der Umfang der verwendeten Listen lag zwischen 126 und 944 deutschen Wörtern. Die Ergebnisse zeigen, dass a) alle angewendeten Wortlisten grundsätzlich funktional sind, b) dass einer der Listen jedoch herausragende Ergebnisse aufweist, welcher jedoch c) um fehlende Begriffe der beiden anderen Ansätze erweitert werden kann. Somit können Unternehmen ein eigenes Werteprofil Ihrer externen Online-Kommunikation ermitteln und dieses mit den internen Wertvorstellungen bzw. dem intern erhobenen realen Werteprofil abgleichen.

## 1. Einleitung

Kultur, als ein integraler Bestandteil organisationaler Handlungen, oder der Einfluss von Kultur auf die Funktionalität sozialer Organisationen, ist seit den Werken von Mead (1934) und Weber (1930) ein kontinuierlich diskutiertes Thema. Neben den sichtbaren Artefakten und den Basisannahmen sind die Unternehmenswerte dabei von zentraler Bedeutung (Schein, 1985). Klassische Kulturstudien in der Organisations- und Managementforschung sind auf die Erhebung kultureller Werte einer Personengruppe (Ogbonna & Wilkinson, 2003), eines Unternehmens (Wambugu, 2014), mehrerer Unternehmen im vergleichenden Sinne (Dastmalchian et al., 2000) oder Länder-übergreifend und vergleichend (van Muijen & Koopman, 1994) ausgerichtet. Diese erheben die Werte, verkörpert durch organisationale Handlungen, aus Sicht der beteiligten Einzelpersonen und nutzen dazu entweder psychometrische Fragebögen (Carter et al., 2012), qualitative Interview-Methoden (Sosnovskikh, 2016) oder ein Mixed-Method Design (Agbényiga, 2011).

Die Werte werden durch organisationale Handlungen jedoch nicht nur nach innen, sondern zudem auch nach außen kommuniziert. Die Selbstdarstellung auf Recruiting-Websites und den dazugehörigen Online-Stellenanzeigen (Online Job Advertisements, OJA) (Braddy et al., 2006) zeigt potentiellen Bewerbern bereits zu Beginn der ‚Candidate Journey‘ im Rahmen der Informationssuche (Verhoeven, 2016), worauf sich diese einlassen. Bewerber haben so die Chance einen Abgleich zwischen den eigenen Werte-

Vorstellungen und den Werte-Darstellungen des Unternehmens durchzuführen (Vandenbergh, 1999).

Aktuelle Studien (Pandey & Pandey, 2019; Ponizovskiy et al., 2020) schlagen vor, Textdaten (u.a. Briefe, Reports) mittels Methoden des Natural Language Processing auf die verwendete Sprache und deren Passung zu Wertemodellen zu untersuchen. Auf Basis der dabei benutzten kulturellen Begriffssammlungen (Dictionary / Vocabulary) werden Häufigkeitszählungen durchgeführt (Language Inquiry and Word Count) (Pennebaker & King, 1999), um anschließend Aussagen zu den Kulturdimensionen der Begriffssammlungen tätigen zu können. Da die obigen Analysen bisher nur auf eine jeweilige englischsprachige Begriffssammlung zurückgriffen, stellt sich die zentrale Frage, inwieweit eine deutsche Übersetzung funktional anwendbar ist, um Wertemodelle in deutschen OJA erheben zu können?

## **2. Theorie**

Im Folgenden sollen zentrale Modelle der Unternehmenswerte und aktuelle Forschung zur Kultur-Analyse von OJA vorgestellt werden.

### **2.1 Unternehmenswerte**

Der wohl bekannteste Ansatz für einen weltweiten Wertevergleich mit Unternehmensbezug ist das Modell von Hofstede (Hofstede, 1980, 1991). Er unterschied dabei in 3 bimodale Wertekategorien Individualistisch vs. Kollektivistisch, Maskulin vs. Feminin, Einschränkung vs. Freizügigkeit und 3 graduelle Wertekategorien der Machtdistanz, Unsicherheitsvermeidung und Langzeitorientierung. Gegen diese 6 Wertekategorien wurde z.B. argumentiert, dass es sich nur um ein westliches Wertesystem, der um Hofstede rangierenden Wissenschaftler handelt und andere Kulturen nicht hinreichend berücksichtigt werden (Baskerville, 2003). Ebenfalls wird methodisch kritisiert, dass die Modellentwicklung auf Basis eines Unternehmens (IBM) erfolgte, dann aber auf globaler Ebene angewendet wird (Venaik & Brewer, 2013).

Ein weiterer Ansatz der vergleichenden Kulturanalyse ist das Universal Value Structure Modell (Schwartz, 1992). Dieses gliedert sich in vier übergeordneten Kategorien, welche insgesamt 10 Wertedimensionen beinhalten: „Conversation“ („Tradition“, „Conformity“, „Security“), „Self-Enhancement“ („Power“, „Achievement“), „Openness to Change“ („Hedonism“, „Stimulation“, „Self-Direction“) und „Self-Transcendence“ („Universalism“, „Benevolence“). Durch zahlreiche Studien mit 200 Samples in über 60 Ländern konnte sowohl das Modell, als auch das dazugehörige psychometrische Messinstrument bestätigt werden (Bardi & Schwartz, 2003; Schwartz, 1992, 1994; Schwartz et al., 2001; Schwartz & Bardi, 2001; Schwartz & Sagiv, 1995). Dieses wurde im Unternehmenskontext angewendet (Rosario et al., 2014), wobei die obige Kritik des westlichen Wertesystems an diesem generalistischen Ansatz nicht greift (Schwartz, 2006). Gleichwohl aber wurde die dahinterliegende Annahme, dass es eine „fictitious middle or mean person“ gäbe, deren Wertekanon man statistisch erfassen könnte, kritisiert (Witte et al., 2020).

Ein im Rahmen der vergleichenden Unternehmens-Kulturanalyse entwickelter Ansatz ist dagegen das „Competing Value Framework“ (Quinn & Rohrbaugh, 1983). In diesem Modell werden 4 verschiedene Unternehmenswerte-Archetypen gegenübergestellt: „Adhocracy“ (Unternehmertum, Kreativität, Wachstum), „Market“ (Ergebnis-, Wettbewerb, Kundenorientierung), „Hierarchy“ (Kontrolle, Effizienz, Effektivität) und „Clan“ (Personen, Kommunikation, Moral). In einer Studie wird die Analyse im Kontext von Colleges

und Universitäten durchgeführt (K. S. Cameron & Freeman, 1991) sowie ein vergleichender Review empirischer Forschung erstellt (Zammuto & Krakower, 1991). Spezifische Studien setzen das Werte-Framework in den Zusammenhang mit der Qualität des Arbeitslebens (Goodman et al., 2001). Größter Kritikpunkt, den die Entwickler des Modells nach langjähriger Forschung zusammengestellt haben, ist die Reliabilität und Validität der verschiedenen Messinstrumente (K. Cameron et al., 2022), wenngleich mehrere Studien für die unterschiedlichen psychometrischen Verfahren positive Kennzahlen ausweisen - für eine Übersicht (vgl. Choi et al., 2010).

## **2.2 Kultur-Analyse von Textdaten**

Zum aktuellen Zeitpunkt sind vier Studien besonders hervorstechend und behandeln die Erstellung und Anwendung von Wortsammlungen zu Analyse von Kultur-Wertemodellen in Textdaten.

Die erste Studie (Christen et al., 2016) verfolgt einen grundsätzlichen Aufschlag für das Forschungsgebiet im Sinne des lexikalischen Ansatzes (Allport & Odbert, 1936). Dabei extrahierten die Autoren 460 Worte mit Wertebezug und zu jedem Wort wurde eine untergeordnete Wortliste über semantische Nähe, Synonyme und Thesauri kreiert. Insgesamt standen so 3749 englische und 4775 deutsche Worte zur Verfügung. Über eine zweistufige Iteration, als Kombination aus „Machine Learning“ und „Expert Rating“, wurden abschließend 78 sprachübergreifende Werte-Gruppen mit 247 Werte-Worten identifiziert. Auf Basis einer empirischen Studie wurde damit eine Werte-Landkarte im Sinne einer Ähnlichkeit der Begriffsverwendung erzeugt. Die finale Begriffssammlung enthält viele Eigenschaften oder Zustände wie „Schönheit“ oder „Autonomie“.

Die zweite Studie (Chapman et al., 2018) verwendet ebenfalls einen lexikalischen Ansatz. Das Forschungsteam extrahierte 422 Adjektive, welche die Werte einer Organisationskultur beschreiben können. Diese Worte wurden in einer Pilotstudie von 60 Teilnehmer\*Innen in Bezug zur Verwendung im Rahmen von Gesprächen über eine Organisation auf einer 5er-Likert-Skala bewertet. Die anschließende Hauptstudie mit 343 Teilnehmer\*Innen erforderte die Einwertung der auf 437 erweiterten Liste in Bezug zur Beschreibung des eigenen Arbeitgebers mit einer 7er Likert-Skala. Eine parallele Principal-Komponenten-Analyse mit rotierten Faktoren ergab 9 Dimensionen zur Beschreibung einer Organisation: Innovativ, Dominant, Pace (Geschwindigkeit), Friendly (Freundlichkeit), Prestigious (Bekanntheit), Trendy, Corporate Social Responsibility, Traditional, und Diverse. Die Begriffe mit den größten (positiven & negativen) Faktorladungen wurden als Lexical Organizational Culture Scale (LOCS) publiziert, jedoch noch nicht für die Analyse von Stellenanzeigen angewendet. Die finale Wortliste wurde nicht auf Textdaten angewendet, sondern die Ergebnisse der Skalen mit den Ergebnissen der Organizational Personality Scale (OPS), der Symbolic Scale (SbS), und der Corporate Character Scale (CCS) verglichen. Es besteht kein Bezug zu den oben vorgestellten Werte-Modellen.

Der dritte Ansatz (Pandey & Pandey, 2019) verfolgt die Zusammenstellung einer Wortliste auf Basis einer deduktiven und induktiven Prozedur, ohne jedoch den oben beschriebenen lexikalischen Ansatz zu berücksichtigen. Deduktiv wurden bereits entwickelte Fragebögen zur Messung der organisationalen Werte verwendet. Aus dem Denison Organizational Culture Survey (Denison & Neale, 2000), dem Organizational Culture Assessment Instrument (Cameron & Quinn, 1999), und dem Organizational Culture Profile (O'Reilly et al., 1991) wurden zunächst 6 Faktoren extrahiert, die in den meisten der von



den Autoren zitierten empirischen Studien verwendet wurden: Competitiveness (Wettbewerbsfähigkeit), Control- and coordination-oriented (Kontrolle), Customer-oriented (Kundenorientierung), Human-resource-oriented (Personenbezogen), Innovation- and learning-oriented (Innovationsbezogen), Team-oriented (Teambezogen). Anschließend wurden sowohl Einzelworte als auch Wortphrasen (Bi- / Tri-Gramme) aus den Fragebögen extrahiert und ergänzt durch Synonymsuche und Thesauri. Induktiv wählten die Autoren die 50 ‚most admired‘, 60 ‚industry champions‘ und 58 ‚contender‘ der Fortune500 Unternehmen und extrahierten Nomen und Verben von Briefen an die Anteilseigner aus dem Jahre 2012. Mit Ihrer Wortliste untersuchten Sie 300 Unternehmen der Fortune500 anhand von Abschlussberichten und Briefen an die Anteilseigner aus dem Jahr 2014. Durch die Nutzung des Organizational Culture Assessment Instruments, welches auf dem Competing Value Framework basiert, ist ein klarer Bezug zu einem der obigen Modelle gegeben.

Der vierte Ansatz (Ponizovskiy et al., 2020) hat einen eindeutigen theoretischen Bezug und greift auf das Universal Value Structure Model und die dazugehörigen Fragebögen (271 Worte mit Wertebezug), zusätzlich aber auf die erste Studie von Christen und Kollegen (2016) sowie eine Liste der 20.000 meist genutzten Unigramme (Brants & Franz, 2006) zurück. Daraus extrahierten die Autoren mittels Expertenrating 2570 Worte für den Pretest. Diesen führten die Autoren mit 4 unterschiedlichen Text-Datenquellen (COCA, Personal Blogs, Political Blogs, Essays) und dabei jeweils der Hälfte der zur Verfügung stehenden Datenpunkte durch. Nach erfolgter Dimensionsreduktion (EFA, PA) wiesen Sie 1068 Worte in den 10 Dimensionen des Universal Value Structure Model aus und analysierten die zweite Hälfte der 4 Datensätze sowie einen Facebook Status Datensatz zur Modellvalidierung.

Im Folgenden werden nur die Ansätze zwei bis vier für die weitere Analyse zusammengestellt, da der erste Ansatz mit seinen 78 Wertekategorien und Eigenschafts- bzw. Zustandsworten keine Möglichkeit bietet, Textdaten auszuwerten. Gleichzeitig ist er Forschungsgrundlage für das dritte Modell gewesen. Tabelle 1 stellt die wesentlichen Charakteristiken der einzelnen Ansätze nach der Anzahl der Domains, Kategorien und maximal verwendete N-Gramme gegenüber.

*Tabelle 1 - Gegenüberstellung der Ansätze zur Messung von Kultur mittels Wortlisten*

<b>Chapman et al 2018</b>	<b>Pandey &amp; Pandey 2019</b>	<b>Ponizovskiy et al 2020 (10)</b>
<b>Domains (9):</b> Innovativ, Trendy, Pace, Prestigious, Dominant, Traditional, Friendly, Corporate Social Responsibility, Diverse	<b>Domains (6):</b> Innovation- and learning-oriented, Competitiveness, Customer-oriented, Control- and coordination-oriented, Human-resource-oriented, Team-oriented	<b>Domains (10):</b> Self-Direction, Hedonism, Stimulation, Achievement, Power, Tradition, Conformity, Security, Benevolence, Universalism
<b>Kategorien (15):</b> 6 positive & negative = 12 3 rein positive	<b>Kategorien (6):</b> 6 rein positive	<b>Kategorien (14):</b> 10 rein positive 4 aggregierte
<b>Max. n-gram: 4</b>	<b>Max. n-gram: 5</b>	<b>Max. n-gram: 3</b>

## Forschungsfragen

Ausgehend von der eingangs aufgestellten Forschungsfrage, ob deutsche Übersetzung der englischsprachigen Ansätze für die Analyse von deutschen OJAs funktional anwendbar sind, können weitere Subfragen definiert werden:

1. Werden alle Kategorien der einzelnen Ansätze identifiziert?
2. Welcher Ansatz funktioniert im Kontext von OJAs am besten?
3. Besteht ein Optimierungspotential für den best-funktionierenden Ansatz?

### **3. Forschungsmethode**

#### **3.1 Datenset**

Um die Forschungsfragen untersuchen zu können, ist es notwendig einen großen Datensatz von deutschsprachigen OJA zur Verfügung zu haben. Während OJA im Internet auf den Recruiting-Webseiten der Unternehmen oder auf Jobportalen frei verfügbar sind, müssen sie für die Analyse erst extrahiert werden. Eine Form für die Informationsextraktion ist das Web Scraping. Es kann verwendet werden, um Daten und Informationen aus dem Internet abzurufen (Saurkar et al., 2018), dabei sollen semi-strukturierte Elemente mit Hilfe der Extrahierung in besser strukturierte Datensätze gespeichert werden (Vargiu & Urru, 2012). Mehrere Forscher haben Web Scraping-Techniken bereits für OJA angewandt (De Mauro et al., 2018; Gurcan & Cagiltay, 2019).

Um eine große Anzahl von OJAs zu extrahieren, wurde ein Browser-Plug-in von webscraper.io verwendet. Die zu analysierenden Daten wurden von einem großen deutschen Jobportal im Zeitraum von Januar bis Mai 2022 gescraped (N1 = 151k). Diese OJAs verteilen sich auf eine Menge an Unternehmen (N2=29.039), mit minimal 1 und maximal 4118 OJAs. Der Mittelwert beträgt 5,19 (SD 35,88) und der Median 2 OJA pro Unternehmen.

#### **3.2 Analysemethode**

Bevor der Datensatz analysiert werden kann, muss dieser aufbereitet werden. Dazu wurden folgende Pre-processing Schritte durchgeführt. Zuerst wurden alle Elemente der Stellenanzeige (Titel, Beschreibung des Unternehmens/ der Stelle/ des Angebots) zu einem Text verbunden, da sie beim scrapen als verschiedene Datenfelder extrahiert wurden. Im zweiten Schritt wurden alle Sonderzeichen aus dem Textfeld entfernt und drittens wurden alle Großbuchstaben in Kleinbuchstaben umgewandelt. Viertens wurde der Datensatz tokenisiert, das bedeutet, dass der Text in Einzelwörter zerlegt wird. Im letzten Schritt werden n-Gramme in Abhängigkeit der Notwendigkeit vom jeweiligen Dictionary gebildet.

Um die Unternehmenswerte aus den OJAs extrahieren zu können, wurde das Language Inquiry and Word Count (LIWC) Verfahren (Pennebaker & King, 1999) angewendet. Dabei werden die Worte von drei der vier oben dargestellten Ansätze ins Deutsche übersetzt und die Häufigkeit über die OJAs gezählt. Anschließend werden die Ergebnisse zu allen OJAs über die Unternehmen gruppiert und Mittelwerte über alle Wertedimensionen je Unternehmen gebildet. Damit liegen Mittelwerte über die in den OJAs dargestellte Unternehmenswerte auf Basis beschreibender Adjektive vor. Durch dieses Verfahren hat die Anzahl der OJAs pro Unternehmen keinen Einfluss auf das Ergebnis.

### **4. Ergebnisse**

Die Tabelle 2 stellt die deskriptiven Daten der drei Ansätze gegenüber. Alle drei Wörter-

bücher kommen aus dem Englischen und wurden ins Deutsche übersetzt. Die unterschiedliche Anzahl der Begriffe zwischen den Sprachen liegt daran, dass es für einen Begriff im Deutschen z.B. zwei verschiedene Begriffe im Englischen geben kann. Bei der Anzahl der Wörter lässt sich erkennen, dass es bei Ponizovskiy und Kollegen (2020) insgesamt 918 deutsche Wörter gibt, wohingegen Chapman und Kollegen (2018) 123 und Pandey und Kollegen (2019) 160 deutsche Wörter haben. Durch die hohe Anzahl an Wörtern bei Ponizovskiy und Kollegen ist der Mittelwert pro Dimension deutlich höher als bei den anderen beiden Ansätzen. Beim Minimum fällt auf, dass bei Chapman und Kollegen eine Dimension nur mit einem Wort besetzt ist. Bereits aus dieser Gegenüberstellung ist es wahrscheinlich, dass der Ansatz von Ponizovskiy und Kollegen am besten funktionieren wird.

*Tabelle 2 Deskriptive Beschreibung der drei Ansätze*

	<b>Chapman et al</b>	<b>Pandey et al</b>	<b>Ponizovskiy et al (Einzeldimension)</b>
<b>Kategorien / Dimensionen</b>	15	6	10
<b>Worte im Dictionary (EN)</b>	135	172	1.068
<b>Worte im Dictionary (DE)</b>	123	160	918
<b>Mittelwert</b>	8,20	26,67	91,80
<b>Standardabweichung</b>	7,02	2,98	17,16
<b>Minimum</b>	1	22	70
<b>Maximum</b>	20	31	124

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass alle drei Ansätze funktional für die Verwendung bei OJA sind. Der Ansatz von Chapman und Kollegen (2018) hat insgesamt 9 Dimensionen mit 15 Kategorien, da einige Dimensionen sowohl eine positive wie auch eine negative Ausprägung besitzen. 13 Kategorien konnten in unterschiedlicher Deutlichkeit identifiziert werden (vgl. Tabelle 3). Betrachtet man die maximale Anzahl der durchschnittlichen Worte pro Unternehmen (S1-Max), ist die Dimension „Dominant“ mit 13 Wörtern am stärksten. 9 Dimensionen verwenden durchschnittlich drei bis fünf Wörter. Ein Blick auf die Summe der durchschnittlich verwendeten Wörter über alle Unternehmen (S2-Summe) zeigt, dass die Kategorie „Trendy“ (9.047,20) und „Pace“ (4.821,39) im Datensatz am häufigsten verwendet wurden. Für die Kategorien „Innovative“, „Dominant“, „Friendly“, „Traditional“ und „CSR“ liegen Werte über 1.000 vor. Weniger häufig sind die Kategorien „Dominant negative“, „Friendly negative“, „Prestigious“ und „Diverse“. „Diverse negative“ und „Traditional negative“ sind kaum vorhanden und „Pace negative“ und „Trendy negative“ gar nicht. Die Auswertung der Anzahl der Unternehmen, die die Wörter der jeweiligen Kategorie verwendet haben (S3-Anzahl), zeigt eine unterschiedlich starke Nutzung. Bildet man das Verhältnis zwischen der Summe der durchschnittlich verwendeten Wörter über alle Unternehmen zu der Anzahl der Unternehmen (S4-Verhältnis), ist die stärkste Dimension „Dominant“, das heißt im Durchschnitt wurde 0,801 Wörter pro Stellenanzeige je Unternehmen verwendet. Neben den Kategorien „Pace negative“ und „Diverse negative“, welche gar nicht in den OJA verwendet werden, ist die kleinste Kategorie „Friendly negative“, welche durchschnittlich 0,480 Wörter pro Stellenanzeige je Unternehmen genutzt wird. S5-Prozent stellt das prozentuale Verhältnis zwischen den Unternehmen (S3-Anzahl), welche die Kategorie verwendet haben, zu allen Unternehmen im Datensatz dar. Die Dimension „Trendy“ wird von ca. 41,3 Prozent der Unternehmen verwendet. Die Kategorien „Pace negative“ und „Divers negative“ werden gar nicht verwendet und „Trendy negative“ ist die Verwendung ebenfalls sehr gering.

Tabelle 3 - Chapman und Kollegen (2018)

Dimension	S1-Max	S2-Summe	S3-Anzahl	S4-Verhältnis	S5-Prozent
<b>Innovative</b>	6,60	4.399,46	6.109	0,720	0,210
<b>Dominant</b>	13,00	2.824,53	3.527	0,801	0,121
<b>Dominant_n</b>	4,00	144,11	229	0,629	0,008
<b>Pace</b>	5,00	4.821,39	6.379	0,756	0,220
<b>Pace_n</b>	0,00	0,00	0	0,000	0,000
<b>Friendly</b>	4,00	2.502,98	3.956	0,633	0,136
<b>Friendly_n</b>	3,00	499,83	1.041	0,480	0,036
<b>Prestigious</b>	3,00	526,31	847	0,621	0,029
<b>Trendy</b>	4,00	9.047,20	12.000	0,754	0,413
<b>Trendy_n</b>	1,00	1,50	2	0,750	0,000
<b>CSR</b>	3,00	1.523,41	2.553	0,597	0,088
<b>Traditional</b>	4,17	1.234,08	1.872	0,659	0,064
<b>Traditional_n</b>	2,00	43,83	65	0,674	0,002
<b>Diverse</b>	2,00	581,73	1.001	0,581	0,034
<b>Diverse_n</b>	0,00	0,00	0	0,000	0,000

Anmerkung: S1-Max = Maximale Anzahl der durchschnittlichen Wörter je Unternehmen; S2-Summe = Summe der durchschnittlich verwendeten Wörter über alle Unternehmen hinweg; S3-Anzahl = Anzahl der Unternehmen, die Wörter der jeweiligen Kategorie verwendet haben, S4-Verhältnis = S2-Summe / S3-Anzahl; S5-Prozent = Prozent der Unternehmen, die Wörter der jeweiligen Kategorie verwendet haben (Verhältnis Spalte 3 zu Gesamtunternehmen)

Tabelle 4 ist analog zu Tabelle 3 aufgebaut und stellt den Ansatz von Pandey und Kollegen (2019) dar. Die Autoren haben bei ihrem Ansatz insgesamt sechs Dimensionen identifiziert. Die Dimension „Competitiveness“ hat die stärksten Ausprägungen von allen Dimensionen. Die maximale Anzahl der durchschnittlichen Wörter (S1-Max) beträgt 15,0 bei dieser Dimension. Den geringsten Wert hat die Dimension „HR oriented“ mit maximal durchschnittlich 4,0 Wörtern. Die anderen vier Dimensionen liegen zwischen 7,5 und 9,0 Wörtern. Bei S2-Summe, S3-Anzahl und S4-Verhältnis hat ebenfalls die Dimension „Competitiveness“ die höchsten Werte und die Dimension „HR oriented“ die geringsten. In Abgrenzung zu Tabelle 2 ist in Spalte 4 ein Wert über 1 vorhanden.

Tabelle 4 - Pandey und Kollegen (2019)

Dimension	S1-Max	S2-Summe	S3-Anzahl	S4-Verhältnis	S5-Prozent
<b>Competitiveness</b>	15	47.561,6	24.114	1,972	0,830
<b>ControlCoordination</b>	8,8	5.786,6	7.884	0,734	0,271
<b>Customer</b>	14	23.430,5	14.981	1,564	0,516
<b>HR</b>	4	1.376,7	1.841	0,748	0,063
<b>InnovationLearning</b>	9	11.464,6	12.182	0,941	0,420
<b>Team</b>	7,5	12.738,8	14.100	0,903	0,486

Anmerkung: für die Spaltenbeschriftung siehe Anmerkung Tabelle 2

Der letzte Ansatz von Ponizovskiy und Kollegen (2020) ist der umfangreichste basierend auf den verwendeten Wörtern. Dieser weißt zum einen die aggregierten Dimensionen sowie die Einzeldimensionen auf, im Sinne der Vergleichbarkeit konzentrieren wir uns auf die Einzeldimensionen.

In Tabelle 5 ist zu erkennen, dass die Dimension „Achievement“ über alle Kennzahlen hinweg am stärksten ist, gefolgt von der Dimension „Self-Direction“. Hervorzuheben in S4-Verhältnis ist, dass die Dimension „Achievement“ durchschnittlich 4,124 Wörter pro OJA je Unternehmen verwendet wird. Bei der Dimension „Self-Direction“ ist es im Vergleich nur die Hälfte. Insgesamt haben 9 der 10 Dimensionen einen Wert über eins, was einer kontinuierlichen Nutzung der Dimension im Rahmen der einzelnen Stellenanzeigen entspricht, nur „Tradition“ liegt knapp darunter.

Tabelle 5 - Ponizovskiy und Kollegen (2020)

Dimension	S1-Max	S2-Summe	S3-Anzahl	S4-Verhältnis	S5-Prozent
Security	11,00	15.221,7	15.162	1,004	0,522
Conformity	17,80	74.923,1	27.189	2,756	0,936
Tradition	8,00	5.368,7	6.172	0,870	0,213
Benevolence	22,00	59.394,4	25.314	2,346	0,872
Universalism	19,00	46.023,7	23.685	1,943	0,816
SelfDirection	22,00	78.651,5	26.788	2,936	0,922
Stimulation	12,00	26.440,6	19.041	1,389	0,656
Hedonism	11,00	19.266,0	16.328	1,180	0,562
Achievement	23,50	115.802,9	28.077	4,124	0,967
Power	12,00	42.398,3	23.272	1,822	0,801

Anmerkung: <sup>1</sup> aggregierte Dimensionen; für die Spaltenbeschriftung siehe Anmerkung Tabelle 2

In Tabelle 6 werden alle drei Ansätze gegenübergestellt. Hier ist zu erkennen, dass Ponizovskiy und Kollegen bei S4-Verhältnis einen Mittelwert von 2,037 Wörter pro Stellenanzeige je Unternehmen und die Spannweite zwischen 0,870 und 4,124 liegt. Verglichen zu Chapman und Kollegen (0,577 Wörter) und Pandey und Kollegen (1,144 Wörter) ist der Wert bei Ponizovskiy und Kollegen knapp zwei- bzw. dreimal so groß. Dies spiegelt sich auch bei S5-Prozent wieder, wo knapp 73 Prozent der Unternehmen Wörter von Ponizovskiy und Kollegen verwendet haben. Somit kann auch im Vergleich der Ergebnisse festgehalten werden, dass der Ansatz von Ponizovskiy und Kollegen tatsächlich am besten funktioniert.

Tabelle 6 - Vergleich der drei Ansätze

	Chapman et al		Pandey et al		Ponizovskiy et al	
	S4-Verhältnis	S5-Prozent	S4-Verhältnis	S5-Prozent	S4-Verhältnis	S5-Prozent
<b>Mittelwert</b>	0,577	0,091	1,144	0,431	2,037	0,727
<b>Standardabweichung</b>	0,248	0,116	0,507	0,257	1,023	0,239
<b>Minimum</b>	0,000	0,000	0,734	0,063	0,870	0,213
<b>Maximum</b>	0,801	0,413	1,972	0,830	4,124	0,967

In Tabelle 7 werden die Wörter aus dem Wörterbuch je Ansatz mit den gefundenen Wörtern in den OJAs dargestellt. Bei Chapman und Kollegen werden 110 der 126 Wörter (89,4%) gefunden. Bei Pandey und Kollegen liegt der Wert nur bei 56,9 Prozent. Der Wert bei Ponizovskiy und Kollegen liegt zwar nur bei 79,3 Prozent und ist geringer als bei Chapman und Kollegen, aber dies entspricht 728 Wörter. Folgend dem Ergebnis, dass der Ansatz von Ponizovskiy und Kollegen der aktuell performanteste ist, ist fraglich, wie viele Worte aus den anderen Ansätzen im Sinne einer Optimierung ggf. überführt werden könnten. Dies entspricht bei Chapman und Kollegen 76 und bei Pandey und Kollegen 149 Wörtern, welche nicht im Wörterbuch von Ponizovskiy und Kollegen vorhanden sind. Daher empfiehlt diese Forschungsarbeit ein zusammengeführtes Wörterbuch für den deutschsprachigen Raum mit insgesamt 1143 Begriffen.

Tabelle 7 - Übersicht der gefundenen Wörter in den OJAs

	Chapman et al	Pandey et al	Ponizovskiy et al
<b>Worte im Dictionary (DE)</b>	123	160	918
<b>Worte in OJA identifiziert</b>	110	91	784
<b>Worte in OJA / Worte im Dictionary DE</b>	89,4%	56,9%	85,4
<b>Wörter bei Ponizovskiy et al hinzufügen</b>	76	149	-

## Diskussion

OJAs sind eine Form der Kommunikation mit potenziellen Bewerbern. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass in dieser Kommunikationsform bereits die verkörperten Unternehmenswerte eingebracht werden. Diese können einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung des Bewerbers für oder gegen ein Unternehmen haben. Damit Unternehmen aber in der Lage sind, ihre externe Kommunikation von Werten zu analysieren ist eine funktionale, deutschsprachige Wortliste nötig, deren Entwicklung Hauptbestandteil dieses Beitrages war.

Die Autoren haben dabei eine zentrale Forschungsfrage und drei Subfragen untersucht. Die zentrale Frage, inwieweit Unternehmenswerte durch Wortlisten in OJAs identifiziert werden können, kann positiv bejaht werden. Tabelle 6 fasst die Funktionalität aller ins Deutsche übersetzten und angewendeten Ansätze entsprechen zusammen. Bezüglich der ersten Subfrage, ob alle Kategorien der unterschiedlichen Ansätze identifizierbar sind, kann festgehalten werden, dass nur zwei Kategorien aus dem Ansatz von Chapman und Kollegen nicht identifiziert wurden. Alle anderen Dimensionen der drei Ansätze konnten aus den OJA extrahiert werden. Daher konnte gezeigt werden, dass durch Wortlisten Wertemodell in Stellenanzeigen wiedergespiegelt werden. Die Subfrage zwei bezüglich des am besten funktionierenden Ansatz kann auf Basis deren Güte beantwortet werden. Diese variiert deutlich, weil a) die Wortverteilung über die Dimensionen sehr unterschiedlich ist (Tabelle 2). Bei Ponizovskiy und Kollegen liegt die Spannweite zwischen 70 und 124 je Dimension, wohingegen bei Pandey und Kollegen die Spannweite zwischen 22 und 31 liegt und bei Chapman und Kollegen zwischen 1 und 20. Gleichzeitig ist b) bei den Auswertungen zu sehen (Tabelle 6), dass der Ansatz von Ponizovskiy und Kollegen im S4-Verhältnis deutlich besser ist als die anderen beiden. Durchschnittlich werden bei diesem Ansatz 2,037 Wörter pro Stellenanzeige je Unternehmen verwendet, was einer kontinuierlichen Nutzung der Dimension über alle publizierten Stellenanzeigen verdeutlicht. Somit ist für weitere Forschungsarbeiten sowie angewandte Studien mit Unternehmen nur der Ansatz von Ponizovskiy empfehlenswert. Die dritte Subfrage, den besten Ansatz (hier also den von Ponizovskiy und Kollegen) ggf. verbessern zu können, kann mit Verweis auf Tabelle 7 ebenfalls bejaht werden. Die Wörter von Chapman und Kollegen sowie von Pandey und Kollegen, welche nicht im Wörterbuch von Ponizovskiy und Kollegen vorhanden waren, sollten dem Ansatz auf Basis eines Expertenratings unter Verwendung der Kategorien hinzugefügt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ggf. einzelne Begriffe auf mehrere Dimensionen laden könnten, so dass eine gewichtete Wortliste detaillierter erscheint, als eine explizite Zuordnung zu einer Dimension.

Auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit können Unternehmen nun das Werteprofil der externen Online-Kommunikation ermitteln und dieses mit den internen Wertvorstellungen bzw. dem intern erhobenen realen Werteprofil abgleichen. So haben sie die Chance, den Person-Organization-Fit zu verbessern, um eine Fluktuation durch inkongruente Kommunikation der Wertvorstellung zu verhindern.

## Literaturverzeichnis

- Agbényiga, D. L. (2011). Organizational culture influence on service delivery: A mixed methods design in a child welfare setting. *Children and Youth Services Review, 33*(10), 1767–1778.
- Allport, G., & Odbert, H. (1936). Trait-names: A psycho-lexical study. *Psychological Monographs, 47*(1), i–171. <https://doi.org/10.1037/h0093360>

- Bardi, A., & Schwartz, S. H. (2003). Values and Behavior: Strength and Structure of Relations. *Personality and Psychological Bulletin*, *29*(10), 1207–1220.
- Baskerville, R. F. (2003). Hofstede never studied culture. *Accounting, Organizations and Society*, *28*, 1–14.
- Braddy, P. W., Meade, A. W., & Kroustalis, C. M. (2006). Organizational recruitment website effects on viewers' perceptions of organizational culture. *Journal of Business and Psychology*, *20*(4), 525–543.
- Brants, T., & Franz, A. (2006). *Web 1T 5-gram version 1*.
- Cameron, K., Quinn, R., DeGraff, J., & Thakor, A. (2022). *Competing Values Leadership*. Edward Elgar.
- Cameron, K. S., & Freeman, S. J. (1991). Cultural Congruence, Strength, and Type. *Research in Organizational Change and Development*, *5*, 23–58.
- Carter, N. T., Kotrba, L. M., Diab, D. L., Lin, B. C., Pui, S. Y., Lake, C. J., Gillespie, M. A., Zickar, M. J., & Chao, A. (2012). A Comparison of a Subjective and Statistical Method for Establishing Score Comparability in an Organizational Culture Survey. *Journal of Business Psychology*, *27*, 451–466.
- Chapman, D. S., Reeves, P., & Chapin, M. (2018). A Lexical Approach to Identifying Dimensions of Organizational Culture. *Frontiers in Psychology*, *9*(876), 1–16. <https://doi.org/doi:10.3389/fpsyg.2018.00876>
- Choi, Y., Seo, M., Scott, D., & Martin, J. J. (2010). Validation of the organizational culture assessment instrument: An application of the Korean version. *Journal of Sport Management*, *24*(2), 169–189.
- Christen, M., Narvaez, D., Tanner, C., & Ott, T. (2016). Using thesauruses as a heuristics for mapping values. *Cognitive Systems Research*, *40*, 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2016.02.003>
- Dastmalchian, A., Lee, S., & Ng, I. (2000). The interplay between organizational and national cultures: A comparison of organizational practices in Canada and South Korea using the Competing Values Framework. *International Journal of Human Resource Management*, *11*(2), 388–412.
- De Mauro, A., Greco, M., Grimaldi, M., & Ritala, P. (2018). Human resources for Big Data professions: A systematic classification of job roles and required skill sets. *Information Processing & Management*, *54*(5), 807–817. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2017.05.004>
- Goodman, E. A., Zammuto, R. F., & Gifford, B. D. (2001). The competing values framework: Understanding the impact of organizational culture on the quality of work life. *Organization Development Journal*, *19*(3), 58–68.
- Gurcan, F., & Cagiltay, N. E. (2019). Big Data Software Engineering: Analysis of Knowledge Domains and Skill Sets Using LDA-Based Topic Modeling. *IEEE Access*, *7*, 82541–82552. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2924075>
- Hofstede, G. (1980). *Culture's Consequences: International Differences in Work-Related Values*. Sage.
- Hofstede, G. (1991). *Cultures and Organizations*. McGraw-Hill.
- Mead, G. H. (1934). *Mind, Self, and Society*. University of Chicago Press.
- Ogbonna, E., & Wilkinson, B. (2003). The False Promise of Organizational Culture Change: A Case Study of Middle Managers in Grocery Retailing. *Journal of Management Studies*, *40*(5), 1151–1178.
- Pandey, S., & Pandey, S. K. (2019). Applying natural language processing capabilities in computerized textual analysis to measure organizational culture. *Organizational Research Methods*, *22*(3), 765–797.
- Pennebaker, J. W., & King, L. A. (1999). Linguistic styles: Language use as an individual difference. *Journal of Personality Social Psychology*, *77*(6), 1296–1312.
- Ponizovskiy, V., Ardag, M., Grigoryan, L., Boyd, R. L., Dobewall, H., & Holtz, P. (2020). Development and Validation of the Personal Values Dictionary: A Theory-Driven Tool for Investigating References to Basic Human Values in Text. *European Journal of Personality*, *34*, 885–902.
- Quinn, R. E., & Rohrbaugh, J. (1983). A spatial model of effectiveness criteria: Towards a competing values approach to organizational analysis. *Management Science*, *29*(3), 363–377.
- Rosario, G.-R. M., Carmen, D.-F. M., & Biagio, S. (2014). Values and corporate social initiative: An approach through schwartz theory. *International Journal of Business and Society*, *15*(1), 19–48.
- Saurkar, A. V., Pathare, K. G., & Gode, S. A. (2018). An Overview On Web Scraping Techniques And Tools. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, *4*(4), 363–367.
- Schein, E. H. (1985). *Organizational Culture and Leadership*.
- Schwartz, S. H. (1992). Universals in the content and structure of values: Theoretical advances and empirical tests in 20 countries. In *Advances in experimental social psychology* (Vol. 25, pp. 1–65). Elsevier.
- Schwartz, S. H. (1994). Are there universal aspects in the structure and contents of human values? *Journal of Social Issues*, *50*(4), 19–45.
- Schwartz, S. H. (2006). Basic human values: Theory, measurement, and applications. *Revue Française de Sociologie*, *47*, 249–288.
- Schwartz, S. H., & Bardi, A. (2001). Value Hierarchies Across Cultures: Taking a Similarities Perspective. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *32*, 268–290.

- Schwartz, S. H., Melech, G., Lehmann, A., Burgess, S., & Harris, M. (2001). Extending the cross-cultural validity of the theory of basic human values with a different method of measurement. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 32*, 519–542.
- Schwartz, S. H., & Sagiv, L. (1995). Identifying culture-specifics in the content and structure of values. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 26*(January), 92–116.
- Sosnovskikh, S. (2016). Toyota Motor Corporation: Organizational Culture. *Philosophy Study, 6*(7), 442–454.
- van Muijen, J. J., & Koopman, P. L. (1994). The Influence of National Culture on Organizational Culture: A Comparative Study Between 10 Countries. *European Work & Organizational Psychologist, 4*(4), 367–380.
- Vandenbergh, C. (1999). Organizational culture, person-culture, and turnover: A replication in the health care industry. *Journal of Organizational Behavior, 20*, 175–184.
- Vargiu, E., & Urru, M. (2012). Exploiting web scraping in a collaborative filtering- based approach to web advertising. *Artificial Intelligence Research, 2*(1), p44. <https://doi.org/10.5430/air.v2n1p44>
- Venaik, S., & Brewer, P. (2013). Critical issues in the Hofstede and GLOBE national culture models. *International Marketing Review, 30*(5), 469–482.
- Verhoeven, T. (2016). *Candidate Experience*. SpringerGabler.
- Wambugu, L. W. (2014). Effects of Organizational Culture on Employee Performance (Case Study of Wart-sila—Kipevu li Power Plant). *European Journal of Business and Management, 6*(32), 80–92.
- Weber, M. (1930). *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*. Scribners.
- Witte, E. H., Stanciu, A., & Boehnke, K. (2020). A New Empirical Approach to Intercultural Comparisons of Value Preferences Based on Schwartz's Theory. *Frontiers in Psychology, 11*, 1723.
- Zammuto, R. F., & Krakower, J. Y. (1991). Quantitative and Qualitative studies of organizational culture. In R. W. Woodmann & W. A. Pasmore (Eds.), *Research in organizational change and development*. JAI Press.



# Digital Guest Folder for Hotels' Open Innovation: Practices, Opportunities, and Challenges

Waldemar Adam, Maria Freyer, Michael Klotz, Susanne Marx

Hochschule Stralsund, Zur Schwedenschanze 15, 18435 Stralsund

## Abstract

Digital applications facilitate open innovation (OI); however, understanding practices in the tourism sector needs further research. The study investigates how a hotel uses the digital guest folder (DGF) in OI. The qualitative study uses interview and secondary data to investigate a unique case in a single-case design. The findings reveal the engagement of the hotel as a lead user in the co-creation process with the IT firm; however, the hotel's customers are only participating as consumers of improved processes using the DGF. Potential for OI with various touristic stakeholders is manifold yet, limited by legal, organizational, and resource requirements. The limited nature of the case study provides future research potential for comparative cases.

## 1. Introduction

Given the positive effects of Open Innovation (OI) on small and medium-sized companies (SMEs) (Usman et al., 2018), opening innovation processes is a “logical step for many SMEs to take” (Vanhaverbeke et al., 2011, p. 9). In tourism, SMEs prevail (Zenker & Kock, 2020), connected in a tourism service network (Beritelli et al., 2016), providing their services as a bundle to the customer (Zhang et al., 2009). Information technology supports OI processes (Marx et al., 2022; Scuotto et al., 2017). Research on specific hotel applications used in innovation processes is encouraged (Sarmah et al., 2017). We investigate how DGFs, as an exemplary digital service, are used for OI in a hotel.

## 2. Background

### 2.1. Open Innovation in Hotels

Innovation in tourism differs from other branches (Beritelli & Bieger, 2015; Hjalager, 2010). The networked nature of the tourism product is a characteristic (Beritelli et al., 2016; Zhang et al., 2009), suggesting innovation approaches to be open in this industry (Marx, 2022). Open innovation is defined “as a distributed innovation process based on purposively managed knowledge flows across organizational boundaries, using pecuniary and non-pecuniary mechanisms in line with the organization’s business model” (Chesbrough & Bogers, 2014, p. 17). The knowledge flow's direction can be outside-in, inside-out, and coupled (Gausemeier et al., 2019). OI is associated with potential in hotels (Artič, 2013) as an essential part of the touristic value chain. Research on OI in the hotel industry has shown that OI performance positively affects company performance (Azhar Mohd Harif et al., 2022; Hameed et al., 2021). Hotels' OI helps to build a competitive advantage (Musiello-Neto et al., 2021). Research in Malaysian hotels suggests that OI helps to improve internal service innovation and increase customer attractiveness (Azhar Mohd Harif et al., 2022). The latest technology facilitates collaboration

between the hotel's management and stakeholders (Azhar Mohd Harif et al., 2022). Information technology (IT) is an enabler and facilitator in service innovation processes (Lusch & Nambisan, 2015), with a positive impact on innovation performance in SMEs (Scuotto et al., 2017) and a perceived value for individual participants in OI activities (Marx et al., 2022). An example is the co-creation of hotels using general tourism smartphone apps (Sarmah et al., 2017) or social networking apps (Sarmah et al., 2021). Future research shall address innovation processes in hotels combining external and internal knowledge sources (Nieves & Diaz-Meneses, 2018), particularly using hotel-specific digital service applications (Sarmah et al., 2017).

## **2.2. Digital Services in the Hotels**

Driven by guests' demands, digital services applying various technologies are entering the hotel industry (Infante-Moro et al., 2021). In particular, digital keys (Torres, 2018) or voice-based artificial intelligence (Buhalis & Moldavska, 2021) are used in applications for hotel guests. There are versatile application scenarios with service robots and virtual reality (Zhu et al., 2021). Digital services can improve the guest experience with the possibilities to date being "far from exhausted" (Reichstein & Härting, 2018, p. 1490). According to Bayer Gersmann et al. (2019), hotels' degrees of digitalization can be classified into three levels: SMART, SMART plus, and all SMART. Digital tools linked to the three levels facilitate communication with guests and tourism service providers in the local network (Bayer Gersmann et al., 2019). The level "SMART" includes, e.g., a hotel website, using online travel agencies, or social media. On the next level, "SMART plus", the hotel website is integrated with the hotel's IT systems, e.g., for bookings. Other applications include hotel apps, DGFs, and digital networking activities. The highest level "all SMART" is achieved, e.g., by exploiting the cross-selling potential of digital networking with regional players (Bayer Gersmann et al., 2019). Digital networking of actors across organizational boundaries is a success factor for digital transformation in tourism (Borkmann et al., 2022). The DGF is a service that potentially supports interaction with guests and network partners in an OI approach. This would help the hotel move from the "SMART plus" to the "all SMART" level. Various service providers offer customizable DGFs as specific hotel applications for in-room tablets (CITYKEY, 2023). In addition to general information about the hotel, house rules, special offers, or attractions (Betterspace GmbH, n.d.), the DGF offers direct feedback options and the potential for real-time communication with the guest (Gastfreund GmbH, n.d.). They facilitate communication with guests, staff, and service providers (CITYKEY, 2023), such as booking internal and external services or smart room control.

## **2.3. Research Question**

While studies in hotels confirm the importance of digital transformation (Bayer Gersmann et al., 2019; Infante-Moro et al., 2021; Zhu et al., 2021) and a positive effect of OI (Hameed et al., 2021), we see a research gap in understanding practices of how hotel businesses involve stakeholders in OI facilitated by a digital application, the DGF. Given the potential of OI approaches in hotels (Artič, 2013; Hameed et al., 2021) and DGFs for collaboration with guests and external tourism service providers (Bayer Gersmann et al., 2019), insights are needed to understand the practices of hotels for exploiting this

potential. Our research question is: How does a hotel use DGFs for OI approaches: involved actors, the kind of innovation, and the stages of the innovation process.

### **3. Research Methodology**

Researching a single case in-depth is a typical research design (Johannesson & Perjons, 2014; Mayring, 2007; Yin, 1994), even regarded as a classic case study (Ridder, 2017; Yin, 2013). We focus on the hotel as a single instance in a holistic case design (Johannesson & Perjons, 2014; Yin, 1994). One rationale for justifying single cases is their difference from others, as they are extreme or unique (Elsahn et al., 2020; Flyvbjerg, 2006; Johannesson & Perjons, 2014; Yin, 1994). Small touristic enterprises, especially in rural areas, have a low digitalization degree and the lowest innovation activities compared to other industries (Büchel & Engels, 2022). To investigate our research question, we, therefore, focus on a unique case of a hotel that, contrary to the industry, has a high degree of digitalization and innovation activities, rewarded with an innovation prize of the tourism industry for its digitalization activities (Tourismusverband Mecklenburg-Vorpommern e.V., 2023). Studying single cases follows a relatively open, descriptive methodology (Mayring, 2022). Based on a unique case, a moderate form of generalizing from a descriptive approach arguing for differences or similarities can be taken (Mayring, 2007). We investigate the case with a semi-structured interview enriched by a check of the IT system for triangulation to improve generalization (Goffin et al., 2019; Mayring, 2007; Yin, 1994). The interview was recorded and transcribed, and the system check was documented. For analyzing the data, we follow the thematic analysis process of Mayring (2022), combining deductive and inductive elements. The initial deductive code system addresses actors, stages, and types of innovation. For the actors, the initial coding is SME Owners, Employees, Customers, Suppliers, Competitors, and Friends/family (Marx & Klotz, 2021). The stages of involvement are based on the concept of the innovation value chain (Hansen & Birkinshaw, 2007) and innovation process models (Gausemeier et al., 2019), from which we derive a four-stage coding: idea generation, idea selection, solution development, implementation/diffusion. For the type of innovations, we follow the Oslo Manual (OECD/Eurostat, 2018, p. 68), defining a "business innovation is a new or improved product or business process (or combination thereof) that differs significantly from the firm's previous products or business processes and that has been introduced on the market or brought into use by the firm." Further topics are identified inductively. Initially, four researchers coded the data independently and discussed the results at a coding conference (Mayring, 2022) to develop a joint final coding. After that, the summarizing technique was applied (Mayring, 2022), results presented and discussed in chapter 4.

## **4. Results & Discussion**

### **4.1 Use cases of the digital guest folder**

The hotel uses in-room tablets as DGFs for various use cases: offering information (e.g., Wi-Fi code, restaurant, virtual tour), booking (massage, bowling), room management (e. g., to cancel the room service), or reservation (sauna) options, as well as communication (chat with the reception, feedback form). External services (e.g., boat tours, museums, or medical services) are available with links yet not bookable. The system check shows an emphasis of the tablet on energy management (e.g., changing room temperature) as part of the room service; in fact, the reason for the interviewee to introduce the

DGF in the first place. Around 35% of the guests use the tablet, especially leisure guests, during more extended summer stays, as the interviewee stated.

#### **4.2 Actors in Open Innovation Activities**

The case study shows that all actors identified deductively are involved in the innovation activities of the hotel except for friends/family: SME Owners, Employees, Customers, Suppliers, and Competitors. Three categories have been added: Other Touristic Service Providers, Destination Management Organizations as "*sparring partners*," and Public Authorities, thus actors identified in previous research (Marx & Arens, 2023). The participation in the innovation activities related to the DGF differs in intensity and character, with the main interactions on the hotel/guest and the hotel/IT firm level.

#### **4.3 Hotel/Guest Interaction**

The interaction of the hotel with its guests, mediated by the DGF, is mainly focused on the first and fourth stages of the innovation process (Gausemeier et al., 2019; Hansen & Birkinshaw, 2007). The design of the DGF and other services of the hotel is strongly driven by the hotel's knowledge of customer expectations. This knowledge is fed by feedback via booking portals and the DGF in the case hotel. Regarding open innovation (Chesbrough & Bogers, 2014), guests are only passively involved. Analyzing the individual guest is crucial to "*be part of the guest journey*," as the interviewee stated. For example, conference guests have different demands than leisure guests regarding DGF usage. As part of the guest journey, the DGF is used as a communication tool during the guest's stay at the hotel. During this period, the analysis of guest data, the evaluation of guest feedback, but also the observation of the developments of leading online travel agencies are used as impulse generators by the hotel. We could not find confirmation in this case study for the stages of solution selection and development. The guests are then involved in the implementation and diffusion of the solution. Facilitating services such as booking and canceling hotel services, individualizing the information per room or type of guest, pushing messages for an emergency, or helping to manage the energy system, the DGF is mainly used for process innovation by the case hotel. In the area of communication and provision of information, the DGF is also to partly take over the role of the hotel employee as "*the guest host*," as the interviewee stated. The case study did not identify the exploitation of cross-selling with external network partners in the region, thus, potential to increase the hotel's digitalization level (Bayer Gersmann et al., 2019).

#### **4.4 Hotel/IT firm Interaction**

On the Hotel/IT firm level, we found interaction in all four stages of the innovation process (Gausemeier et al., 2019; Hansen & Birkinshaw, 2007). In the first stage, idea generation, initial ideas for the DGF result from the hotel employee's experience, developing a draft independently before looking for suitable IT partners. In reverse, the IT company actively gives impulses to the hotel based on their large customer base as an inspiration. In addition, considering available functionalities of the software and analyzing application usage data contribute to idea generation. Though the hotel selects the software and its functionalities in stage two, the solution development (stage three) is characterized by regular interaction. The hotel installed the DGF as one of the first clients of the IT firm or acts as a "*demo hotel*", i.e., a reference customer, for other IT services, giving feedback and identifying improvement potential for the software. The implementation in the hotel (stage four) was successful, based on the collaboration. In one case, the IT

firm did not involve the hotel employee in the innovation process, which resulted in a product not suiting the hotel's needs. After the hotel gave feedback, the product exceeded expectations: *"...another four weeks of piecework and then, of course, in the end, even more solutions came out than we ever thought."* The interviewee regards himself as an *"innovation driver,"* seeking to get involved in the IT firms' innovation process: *"I always like to buy a product maybe still with bugs, but with the possibility of development."* Due to the expressed need for digital innovation and the dissatisfaction with actual offers (Piller et al., 2017), the interviewee can be classified as a lead user, involved in interactive value creation with the IT-firm (Piller et al., 2017). The interviewee identifies transparency, honesty, openness, constructiveness, reliability, and the continuous quest for innovation as the basis of success for this interaction.

#### **4.5 Interaction within Network**

In addition to the interaction with the guests and the IT firm, other potential innovation partners emerged in the case studied, with whom cooperation had also taken place in the past. The local and statewide tourism organizations were seen as such by the interviewee. However, incompatible structures and different approaches and ways of thinking constituted a barrier here to the development of market-oriented digital solutions. Similarly, in one case, collaboration with an external IT service provider in the area of "Software as a Service" (SaaS) was terminated because the benefits of the application could no longer be demonstrated by the provider. In contrast, collaboration with other hotels was seen as promising. Here, the interviewee had a strong interest in *"somehow meeting with the best of the best; with those who have a desire to drive innovation."* Thus, in sum, various forms of OI emerge (West, 2016). The inbound mode is most evident in the inflow of knowledge associated with external IT solutions obtained by license. Here, the innovation was acquired by means of a contractual agreement (Laursen et al., 2010). Furthermore, guest feedback is attributable to inbound OI as part of continuous improvement. However, in the close collaboration with the IT company that developed the DGF, the outbound form is clearly evident. Here, the hotel, through the employee, acts as the IT firm's idea provider. For the hotel, this person also represents the essential innovation promoter. The close cooperation is particularly evident in the development phase of the IT firm when the interviewee was also spatially involved and *"sat around in the attic at the IT firm and then somehow spent nights spinning around and doing something"*. His influence on a development that missed the mark has already been discussed above. In this sense, the collaboration between hotel and IT firm can be described as an alliance in which hotel and external partner combine their knowledge and expertise to generate product innovations (Piller & West, 2014).

#### **5. Conclusions, Limitations, and Future Research**

The research revealed an imbalance in the OI practices facilitated by the DGF along the value chain. The hotel is a lead user towards the IT firm with a broad direct engagement in innovation activities. However, despite a fundamental customer focus guiding the hotel's innovation approach, the hotel guests are not directly involved in innovation activities via the DGF in contrast to the potential of OI approaches for hotels (Artič, 2013; Hameed et al., 2021). The qualitative nature of the single-case approach limits generalization; however, a system check was used for triangulation and intercoder agreement

achieved by a coding conference to increase objectivity and reliability. The findings from the unique case shall be verified in a multiple case study to extend the generalizability.

### Funding Acknowledgements

The research was realized within the project “Mittelstand-Digital Zentrum Rostock”, funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action in Germany.

### References

- Artič, N. (2013). Open Innovation as a Chance to Overcome Economic Crisis in Hotel Industry. *Tourism in Southern and Eastern Europe*, 55–67.
- Azhar Mohd Harif, M. A., Nawaz, M., & Hameed, W. U. (2022). The role of open innovation, hotel service quality and marketing strategy in hotel business performance. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10441>
- Bayer Gersmann, K., Borchert, A., Nessler, F., Oberfrancová, L., Raab-Düsterhöft, A., & Wollensak, M. (2019). *Leitfaden Smart Hotel*.
- Beritelli, P., & Bieger, T. (2015). Herausforderungen des Innovationsmanagements in Netzwerken am Beispiel des Tourismus – von der Theorie zur Praxis [Challenges in innovation management in networks with the example of tourism - from theory to practice]. *Die Unternehmung*, 69(3), 255–278. <https://doi.org/10.5771/0042-059x-2015-3-255>
- Beritelli, P., Buffa, F., & Martini, U. (2016). Logics and interlocking directorships in a multi-stakeholder system. *Journal of Destination Marketing and Management*, 5(2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2015.11.005>
- Betterspace GmbH. (n.d.). *Merkblatt Digitale Gästemappe*.
- Borkmann, V., Stroh, F., & Tombeil, A.-S. (2022). *Wirtschaftsfaktor 360° Gastwelt*.
- Büchel, J., & Engels, B. (2022). *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland*.
- Buhalis, D., & Moldavska, I. (2021). In-room Voice-Based AI Digital Assistants Transforming On-Site Hotel Services and Guests' Experiences. In *Information and Communication Technologies in Tourism 2021*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65785-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65785-7_3)
- Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). Explicating open innovation: Clarifying an emerging paradigm for understanding innovation. In H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West (Eds.), *New Frontiers in Open Innovation* (pp. 3–28). Oxford University Press.
- CITYKEY. (2023). *The Ultimate Guide to Guest Room Tablets for Hotels*. <https://hoteltechreport.com/buyers-guides/guest-experience/keyless-entry/guest-room-tablets-guide>
- Ebneyamini, S., & Sadeghi Moghadam, M. R. (2018). Toward developing a framework for conducting case study research. *International Journal of Qualitative Methods*, 17(1), 1–11. <https://doi.org/10.1177/1609406918817954>
- Elsahn, Z., Callagher, L., Husted, K., Korber, S., & Siedlok, F. (2020). Are rigor and transparency enough? Review and future directions for case studies in technology and innovation management. *R and D Management*, 50(3), 309–328. <https://doi.org/10.1111/radm.12412>
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Research Practice*, 12(2), 390–404. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- Gastfreund GmbH. (n.d.). *Digitale Trends in der Hotellerie*.
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Echterfeld, J., Pfänder, T., Steffen, D., & Thielemann,

- F. (2019). *Innovationen für die Märkte von morgen [Innovations for markets of tomorrow]*. Carl Hanser Verlag.
- Goffin, K., Åhlström, P., Bianchi, M., & Richtnér, A. (2019). Perspective: state-of-the-art: The quality of case study research in innovation management. *Journal of Product Innovation Management*, *36*(5), 586–615. <https://doi.org/10.1111/jpim.12492>
- Hameed, W. U., Nisar, Q. A., & Wu, H. C. (2021). Relationships between external knowledge, internal innovation, firms' open innovation performance, service innovation and business performance in the Pakistani hotel industry. *International Journal of Hospitality Management*, *92*, 102745. <https://doi.org/10.1016/J.IJHM.2020.102745>
- Hansen, M. T., & Birkinshaw, J. (2007). The innovation value chain. *Harvard Business Review*, *85*(6), 121–131.
- Hjalager, A. M. (2010). A review of innovation research in tourism. *Tourism Management*, *31*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.08.012>
- Infante-Moro, A., Infante-Moro, J. C., & Gallardo-Pérez, J. (2021). Key factors in the implementation of the internet of things in the hotel sector. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(7). <https://doi.org/10.3390/app11072924>
- Johannesson, P., & Perjons, E. (2014). *An introduction to design science*. Springer.
- Laursen, K., Leone, M. I., & Torrisi, S. (2010). Technological exploration through licensing: New insights from the licensee's point of view. *Industrial and Corporate Change*, *19*(3), 871–897. <https://doi.org/10.1093/icc/dtq034>
- Lusch, R. F., & Nambisan, S. (2015). Service innovation: A service-dominant logic perspective. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *39*(1), 155–175. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39.1.07>
- Marx, S. (2022). *Contributions to Participative Innovation in Tourism Network Organizations*. University of Rostock.
- Marx, S., & Arens, L. (2023). Towards a framework for participative innovation in tourism. In V. Katsoni (Ed.), *Tourism, Travel, and Hospitality in a Smart and Sustainable World* (p. accepted). Springer.
- Marx, S., & Klotz, M. (2021). Entrepreneurship during crisis: Innovation practices of micro and small tour operators. *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation*, *2021*(November). <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/14657503211061025>
- Marx, S., Klotz, M., & Sandkuhl, K. (2022). Perceived Value of IS Collaboration Support in an SME Ecosystem's Innovation Activity. *International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS - Proceedings*, *2*, 256–267. <https://doi.org/10.5220/0011088600003179>
- Mayring, P. (2007). Generalisierung in qualitativer Forschung. In *Forum Qualitative Sozialforschung* (Vol. 8, Issue 3).
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (13th ed.). Beltz.
- Musiello-Neto, F., Rua, O. L., Arias-Oliva, M., & Silva, A. F. (2021). Open innovation and competitive advantage on the hospitality sector: The role of organizational strategy. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(24). <https://doi.org/10.3390/su132413650>
- Nieves, J., & Diaz-Meneses, G. (2018). Knowledge sources and innovation in the hotel industry: Empirical analysis on Gran Canaria Island, a mature mass-tourism destination. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, *30*(6), 2537–2561. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-07-2016-0341>

- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing and Eurostat.  
<https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Piller, F., Möslin, K., Ihl, C., & Reichwald, R. (2017). *Interkative Wertschöpfung kompakt*. Springer Gabler.
- Piller, F., & West, J. (2014). Firms, users, and innovation: An interactive model of coupled open innovation. In H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West (Eds.), *New Frontiers in Open Innovation* (pp. 29–49). Oxford University Press.
- Reichstein, C., & Härting, R. C. (2018). Potentials of changing customer needs in a digital world - A conceptual model and recommendations for action in tourism. *Procedia Computer Science*, *126*, 1484–1494.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.120>
- Ridder, H. G. (2017). The theory contribution of case study research designs. *Business Research*, *10*(2), 281–305. <https://doi.org/10.1007/s40685-017-0045-z>
- Sarmah, B., Kamboj, S., & Rahman, Z. (2017). Co-creation in hotel service innovation using smart phone apps: an empirical study. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, *29*(10), 2647–2667. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-12-2015-0681>
- Sarmah, B., Shukla, Y., Chatterjee, R., & Kamboj, S. (2021). Customer participation in service innovation using SNS smartphone apps: an investigation of the Indian hotel service industry. *International Journal of Emerging Markets*.  
<https://doi.org/10.1108/IJOEM-11-2020-1357>
- Scuotto, V., Santoro, G., Bresciani, S., & Del Giudice, M. (2017). Shifting intra- and inter-organizational innovation processes towards digital business: An empirical analysis of SMEs. *Creativity and Innovation Management*, *26*(3), 247–255.  
<https://doi.org/10.1111/caim.12221>
- Torres, A. M. (2018). Using A Smartphone Application as A Digital Key for Hotel Guest Room and Its Other App Features. *International Journal of Advanced Science and Technology*, *113*. <https://doi.org/10.14257/ijast.2018.113.11>
- Tourismusverband Mecklenburg-Vorpommern e.V. (2023). *Tourismuspreis Mecklenburg-Vorpommern*. <https://www.tourismuspreis-mv.de/innovation/>
- Usman, M., Roijackers, N., Vanhaverbeke, W., & Frattini, F. (2018). A systematic review of the literature on open innovation in SMEs. In W. Vanhaverbeke, F. Frattini, N. Roijackers, & M. Usman (Eds.), *Researching Open Innovation In SMEs* (pp. 3–35). World Scientific. [https://doi.org/10.1142/9789813230972\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789813230972_0001)
- Vanhaverbeke, W., Vermeersch, I., & De Zutter, S. (2011). Open innovation in SMEs: How can small companies and start-ups benefit from open innovation strategies? In *Research Report* (Issue September).
- Verleye, K. (2019). Designing, writing-up and reviewing case study research: an equifinality perspective. *Journal of Service Management*, *30*(5), 549–576.  
<https://doi.org/10.1108/JOSM-08-2019-0257>
- West, J. (2016). Open Innovation. In A. Augier & D. Teece (Eds.), *The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management*. Palgrave Macmillan.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1057/978-1-349-94848-2\\_199-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1057/978-1-349-94848-2_199-1)
- Yin, R. K. (1994). *Case study research - Design and methods* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, *19*(3), 321–332. <https://doi.org/10.1177/1356389013497081>
- Zenker, S., & Kock, F. (2020). The coronavirus pandemic – A critical discussion of a



- tourism research agenda. *Tourism Management*, 81(May), 104164.  
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104164>
- Zhang, X., Song, H., & Huang, G. Q. (2009). Tourism supply chain management: A new research agenda. *Tourism Management*, 30(3), 345–358.  
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.12.010>
- Zhu, J., Wang, Y., & Cheng, M. (2021). Digital Transformation in the Hospitality Industry Environmental Ethics View project Fake Servicescapes View project. *Boston Hospitality Review*. [www.bu.edu/bhr](http://www.bu.edu/bhr)

# Live-Darstellung aller Luftfahrtsysteme in näherer Umgebung auf einer digitalen Übersichtskarte

Ingo Weinmann

Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau

## Abstract

Im Rahmen des Forschungsprojektes ALARM<sup>1</sup> wurde ein Gesamtsystem bestehend aus mehreren unbemannten Luftfahrtsystemen, Sensorik, Datenerfassung und Datenübertragung, Luftraumüberwachung und Flugleitung entwickelt, welches vorrangig zur Luftunterstützung bei Rettungs- und Katastropheneinsätzen ausgelegt ist.

Ein Bestandteil des Projektes war die Implementierung einer Software, welche primär dazu dient, Position und Telemetriedaten aller Luftfahrtsysteme in der näheren Umgebung auf einer Übersichtskarte darzustellen. Hierdurch können beispielsweise Kollisionen zwischen bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen vermieden werden.

Daneben ermöglicht die entwickelte Software unter anderem auch die Anzeige eines Live-Videostreams einer Beobachtungsdrohne.

Es wurde eine webbasierte Anwendung entwickelt, damit diese auf allen Betriebssystemen lauffähig ist.

Um Positionen und Telemetriedaten aller Luftfahrzeuge zu empfangen, werden Funkempfänger für das Frequenzband 1090 MHz (ADS-B) verwendet.

Die ADS-B Daten werden mithilfe von Software-Bibliotheken dekodiert und an einen zentralen MQTT-Broker gesendet. Hierdurch können beliebige Clientanwendungen im selben Netzwerk diese Daten empfangen und nahezu in Echtzeit verarbeiten und anzeigen.

In meinem Beitrag plane ich, auf Software-Architektur und verwendete Softwarebibliotheken einzugehen, die vom Empfang der Positions- und Telemetriedaten bis zu deren Anzeige im Webbrowser nötig sind.

## 1. Motivation

Beim Einsatz von Drohnen zur Überwachung von Naturkatastrophen wie etwa Waldbränden muss stets sichergestellt werden, dass die eingesetzten Drohnen den nötigen

---

<sup>1</sup> <https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/luftfahrttechnik/forschungsaktivitaeten/alarm/>

Sicherheitsabstand zu anderen Luftverkehrsteilnehmern, z.B. Rettungshelikoptern einhalten.

Mittels eines auf ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) basierenden Kollisionswarnsystems und zugehöriger Software können Daten wie bspw. Flugkennung, Position und Kurs von allen mit ADS-B Sendern ausgestatteten Luftfahrtsystemen empfangen werden.

Es wird eine Software implementiert, die über Funk empfangene ADS-B Signale von Luftverkehrsteilnehmern in der Umgebung dekodiert und auf einer digitalen Übersichtskarte darstellt.

## 2. Umsetzung

### 2.1 Hardware

Zum Betrieb der Software wird der Einplatinencomputer Raspberry Pi 4 verwendet. Durch seinen geringen Platz- und Strombedarf ist dieser Computer sehr flexibel und mobil einsetzbar – ideal für die Bedingungen des Forschungsprojektes ALARM.

Daneben wird ein RTL-SDR (Software Defined Radio) Empfänger zum Empfang der ADS-B Signale benötigt. Dieser wird per USB am Einplatinencomputer angeschlossen. ADS-B Signale werden auf einer Frequenz von 1090 MHz gesendet. Daher sollten der ADS-B-Empfänger und die daran angeschlossene Antenne idealerweise auf diese Frequenz optimiert sein.

### 2.2 Betriebssystem

Als Betriebssystem wird Raspberry Pi OS<sup>2</sup> verwendet, welches auf der Linux Distribution Debian 11, Codename „Bullseye“<sup>3</sup> basiert.

### 2.3 Empfang und Dekodierung von ADS-B Signalen

Zur softwareseitigen Dekodierung der ADS-B Daten kommt die Bibliothek dump1090<sup>4</sup> zum Einsatz, in einer von der Firma FlightAware<sup>5</sup> angepassten Version dump1090-fa. Die Software kann in einer aktuellen Version von Github bezogen werden:

<https://github.com/flightaware/dump1090>

Nach der Installation des Debian-Paketes wird dump1090 als systemd<sup>6</sup>-Hintergrunddienst gestartet. Dieser Dienst liest alle unterstützten RTL-SDR Empfänger periodisch aus und stellt die dekodierten Daten für andere Programme zur Verfügung.

Beispielhaft kann dump1090-fa mit folgenden Parametern gestartet werden:

```
/usr/bin/dump1090-fa --quiet --device-type rtl-sdr --device-index 0 --gain 60 --adaptive-range --fix --max-range 360 --net-ro-port 30002 --net-sbs-port 30003 --net-bi-
```

---

<sup>2</sup> <https://www.raspberrypi.com/software/>

<sup>3</sup> <https://www.debian.org/releases/bullseye/>

<sup>4</sup> <https://github.com/flightaware/dump1090>

<sup>5</sup> <https://flightaware.com/>

<sup>6</sup> <https://systemd.io/>

```
port 30004,30104 --net-bo-port 30005 --json-location-accuracy 2 --write-json
/run/dump1090-fa
```

Das Debian-Paket von dump1090-fa stellt zusätzlich einen lighttpd<sup>7</sup>-basierten HTTP Dienst bereit. Über diesen Dienst können aktuelle ADS-B Informationen per HTTP Request abgefragt werden.

Die HTTP Response enthält Daten über die aktuell empfangbaren Luftverkehrsteilnehmer, kodiert im JSON Format.

Wichtige im JSON enthaltene Attribute sind: Flugkennung (hex), barometrische Höhe (alt\_baro), Geometrische Höhe (alt\_geom) und Flugrichtung relativ zum Boden (track). Hier ein Beispieldatensatz:

```
{
  "now":1620734968.3,
  "messages":19654,
  "aircraft":[
    {
      "hex":"4d2133",
      "alt_baro":45000,
      "alt_geom":45825,
      "track":255.6,
      ...
    }
  ]
}
```

Um die vom lighttpd-Dienst abgefragten ADS-B Daten weiterzuleiten wurde ein Python Skript entwickelt. Dieses fragt den HTTP Dienst periodisch ab und dekodiert das JSON-Format für die weitere Verarbeitung.

## 2.4 Weiterleitung an MQTT Broker

Um die dekodierten ADS-B Daten für eine Vielzahl an Clients zur Verfügung zu stellen bietet sich die Verwendung eines Message Brokers an. An diesen können alle ADS-B Daten weitergeleitet werden. Im späteren Verlauf ist es möglich, dass diese Daten auch von anderen Hosts im Netzwerk kommen.

Als Nachrichtenprotokoll wird MQTT<sup>8</sup> verwendet. MQTT ist ein standardisiertes Nachrichtenformat, das vorrangig für IoT-Anwendungen konzipiert wurde. MQTT eignet sich besonders, um Hardware-Ressourcen wie Netzwerkbandbreite, CPU-Auslastung und Arbeitsspeicher-Auslastung zu sparen. Clientbibliotheken für MQTT sind für alle namhaften Programmiersprachen verfügbar.

---

<sup>7</sup> <https://www.lighttpd.net/>

<sup>8</sup> <https://mqtt.org/>

Als MQTT Broker wird der im Open-Source Umfeld häufig verwendete Broker Eclipse Mosquitto<sup>9</sup> verwendet.

Damit auch Web Clients in der Lage sind, sich mit Eclipse Mosquitto zu verbinden, muss das WebSocket Protokoll aktiviert werden. Eine Beispielkonfiguration (mosquitto.conf) sieht wie folgt aus:

```
listener 1883 0.0.0.0
listener 9001 0.0.0.0
protocol websockets
allow_anonymous true
log_type warning
```

Die empfangenen und dekodierten ADS-B-Signale werden mithilfe der Python Bibliothek paho-mqtt<sup>10</sup> an den MQTT Broker weitergeleitet.

Die folgende Abbildung 1 – Datenfluss der ADS-B Signale fasst die Abläufe aus den Abschnitten 2.3 bis 2.4 schematisch zusammen.

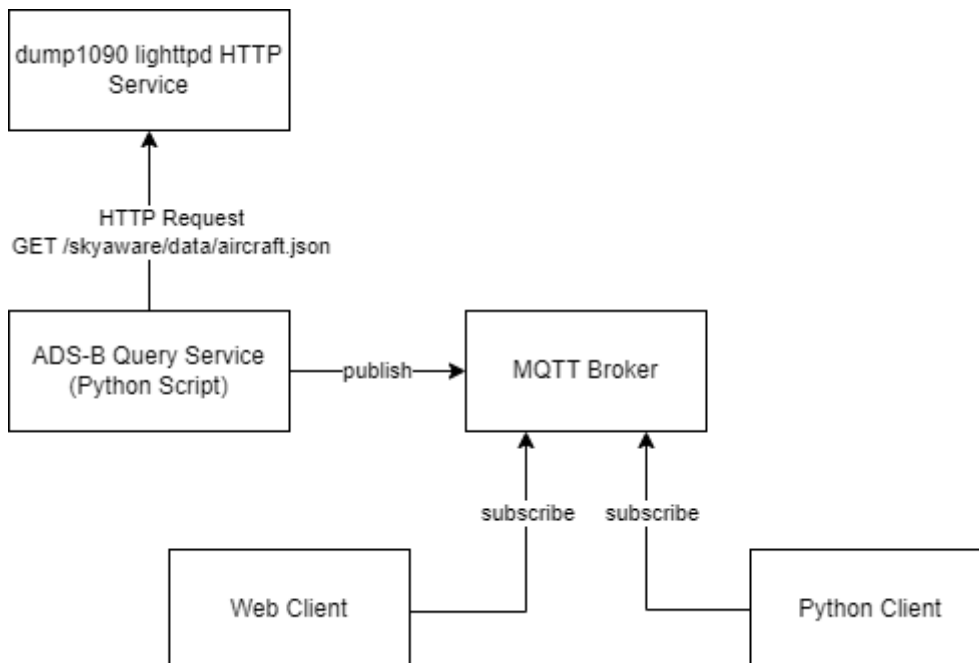


Abbildung 1 – Datenfluss der ADS-B Signale

## 2.4 Darstellung im Web Frontend

Zur Darstellung der Luftverkehrsteilnehmer auf einer Übersichtskarte wird eine Webanwendung implementiert, basierend auf der JavaScript Bibliothek React<sup>11</sup>. Durch die Verwendung von Web-Technologien ist die Anwendung unabhängig vom Betriebssystem

<sup>9</sup> <https://mosquitto.org/>

<sup>10</sup> <https://pypi.org/project/paho-mqtt/>

<sup>11</sup> <https://react.dev/>

und ohne gesonderte Installation auf beliebigen Endgeräten (z.B. Notebook, Smartphone, Tablet-PC) lauffähig.

Zur Darstellung einer digitalen Übersichtskarte wird die Bibliothek MapLibre<sup>12</sup> verwendet. Innerhalb der Webanwendung kann zwischen verschiedenen Kartendiensten umgeschaltet werden. Diese können über externe Kartendienste aus dem Internet bezogen werden. Sofern keine Internetverbindung vorhanden ist, ist es möglich, die Kartendaten auch über einen Proxy Server vorzuhalten. Hierfür wird der Dienst MapProxy<sup>13</sup> verwendet.



Abbildung 2 – Kartenstile

- Abbildung 2 (links): Digitale Orthophotos, für die Region Berlin Brandenburg sind diese über den Dienst Geobasis BB<sup>14</sup> verfügbar
- Abbildung 2 (Mitte): OpenStreetMap Kartenstil
- Abbildung 2 (rechts): Minimaler Kartenstil, bezogen über Maptiler<sup>15</sup>

Mittels der Bibliothek MQTT.js<sup>16</sup> verbindet sich die Webanwendung per WebSocket mit dem MQTT Broker und erhält die ADS-B Daten im JSON-Format.

Zur Darstellung der Luftverkehrsteilnehmer auf einer digitalen Karte wird die Bibliothek DECK.GL<sup>17</sup> verwendet. Diese erlaubt eine besonders performante Darstellung von großen, sich dynamisch ändernden Datensätzen beliebiger Art auf einer Karte.

Die finale Webanwendung ist in Abbildung 3 - Finale Webanwendung zu sehen.

---

<sup>12</sup> <https://maplibre.org/>

<sup>13</sup> <https://mapproxy.org/>

<sup>14</sup> <https://geobasis-bb.de/lgb/de/>

<sup>15</sup> <https://www.maptiler.com/>

<sup>16</sup> <https://github.com/mqttjs/MQTT.js>

<sup>17</sup> <https://deck.gl/>

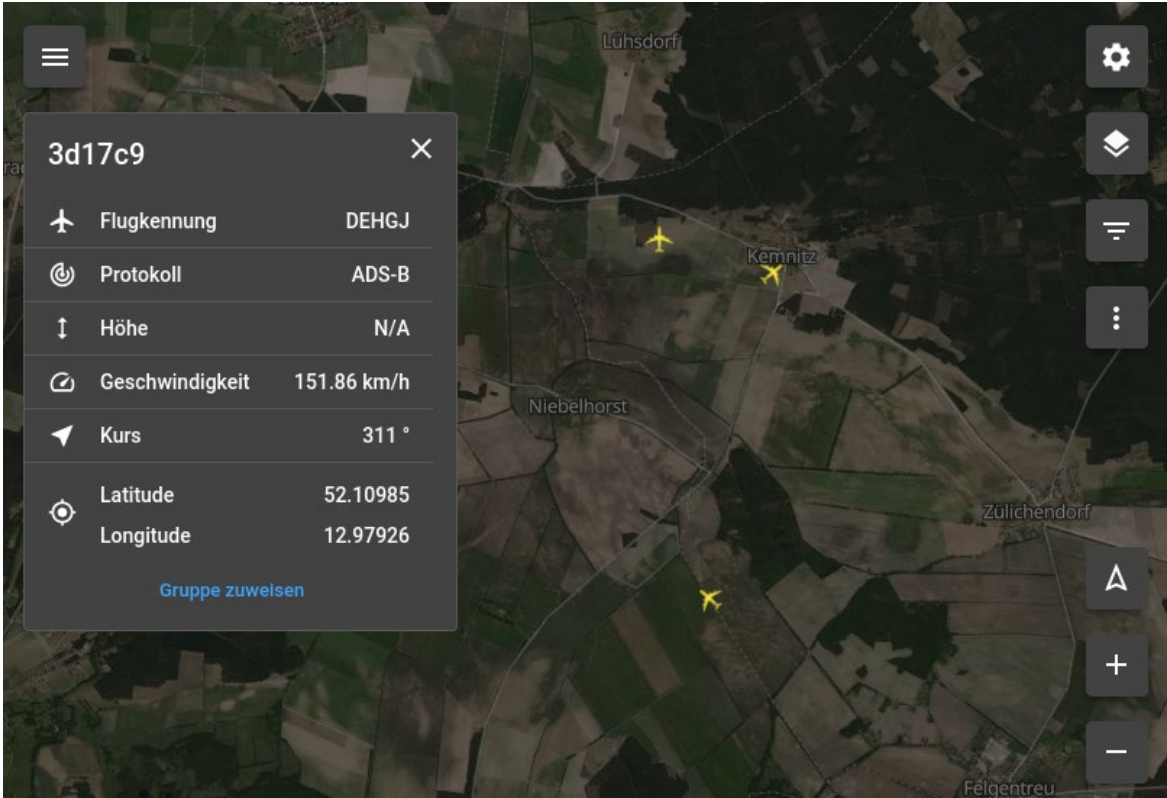


Abbildung 3 - Finale Webanwendung

# Development of an intelligent UAV-based monitoring and mapping system for recording the weed distribution in wheat fields (weed-AI-seek)

Jing Liu<sup>1</sup>, Pendar Alirezazadeh<sup>2</sup>, Tom Kaufmann<sup>3</sup>, Michael Schirrmann<sup>2</sup>, Ludwig Schrenk<sup>3</sup>, Frieder Stolzenburg<sup>1</sup>

1 Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode, Deutschland

2 Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Deutschland

3 CiS GmbH, Hansestraße 21, 18182 Bentwisch, Deutschland

## Abstract

Artificial intelligent systems have a great potential for identifying objects in unstructured data such as images. Unmanned aerial vehicles (UAV) open up new perspectives for weed monitoring because it enables very high-resolution remote sensing imagery (VHR) from which weed plants can be outlined even on the species-level. In this paper, a UAV platform is combined with an AI system (WeedAI) for wide-area real-time weed monitoring and mapping by implementing an improved YOLOv4 algorithm on an NVIDIA AGX Xavier board. In the current stage of our work, we have completed the integration of hardware and development of the software framework for the WeedAI system. The system is capable of automatically capturing VHR imagery at fixed intervals while flying at different flight altitudes. The improved YOLOv4 neural network has been developed to detect weeds with high accuracy and low latency. The deployment of the improved YOLOv4 neural network in the NVIDIA AGX Xavier board is in progress. Further optimization is also planned to enable the WeedAI system to monitor a wider area in a single flight and provide the improved YOLOv4 neural network with the ability to differentiate between weed species.

## 1. Introduction

Because weeds are not uniformly distributed but occur in patches across the field with a spatially varying composition of weed species [1], spraying species-specific herbicides only at specific locations with weed occurrence can strongly reduce herbicide use and associated environmental impacts. This requires precise information about the site- and species-specific weed occurrence in an agricultural field. This paper proposes an intelligent, real-time, UAV-based weed monitoring and mapping system, called WeedAI system, to generate site- and species-specific distribution information for weeds in agricultural fields. For this purpose, very high-resolution image data (VHR) is captured at low altitudes and classified directly on the UAV platform using a weed recognition mode based on an improved YOLOv4 real-time object-detection system [2]. Recognition results are transmitted to the ground station in real time and converted into distribution information of weeds. This article will introduce the design process and software/hardware components of the WeedAI system from three aspects: system integration, improved YOLOv4 neural network development, and software framework. Finally, the preliminary results of the project will be showcased.



## 2. System Integration

As shown in Figure 1, the WeedAI system consists of three main parts: an onboard computer system, the UAV platform, and the ground station. Additionally, a Sony Alpha A6000 camera is mounted on a gimbal located underneath the drone and an Intel Realsense D455 depth camera is mounted on the main frame of the drone using a 3D-printed connector. They are connected to an NVIDIA Jetson board via USB 2.0 cables.

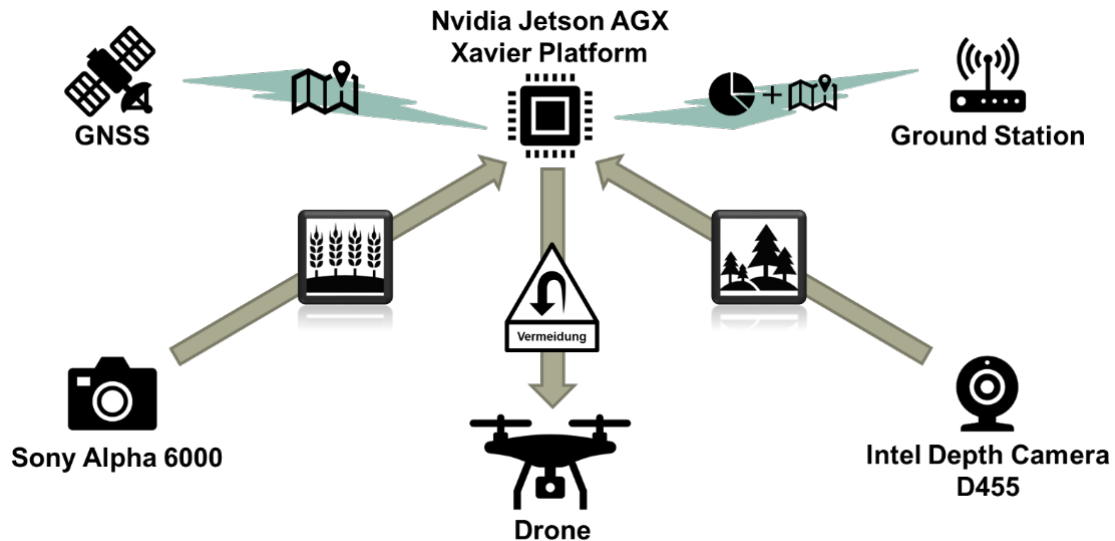


Figure 1: System structure diagram.

The onboard computer consists of an Jetson AGX Xavier 32 GB module board (NVIDIA corporation, Santa Clara, USA) with up to 32 TeraOps<sup>1</sup> of AI performance [3] and a carrier board X221 [4] (Auvideo GmbH, Denklingen, Germany). It is mounted on the top of the flying platform and connected via a UART serial interface to the drone's flight controller. The power is supplied through a 12V step-down switching power regulator that is directly connected to the primary battery bus (4S, nominal 14.8V).

The flying platform is an octorotor OktopusXL (CiS GmbH, Bentwisch, Germany), which features an 8 propellers design, uses the Pixhawk autopilot hardware and is equipped with an HD video transmission and control system. The default maximum lifting capacity is approximately 3kg. It uses a modified version of the open source Firmware PX4, which is optimized in regards of control, drivers and state estimation. Sensorwise, the OktopusXL features two accelerometers/gyroscopes, a barometer, Ublox M8N GPS and a laser rangefinder.

In order to overcome the change of the center of gravity and additional drag caused by the NVIDIA board (top-mounted), the flight control of the drone is optimized by using a wind and external drag-force estimation algorithm. The laser rangefinder data is added into the extended Kalman-Filter model to increase long term accuracy of the relative height estimation. General PID parameters were also tuned very carefully.

<sup>1</sup> Floating point operations per second

PX4 uses MAVLINK [5] in order to communicate with internal and external nodes. It is used for communication with the onboard computer as well as interaction with the MissionControl Software [6] (CiS GmbH, Bentwisch, Germany) to create and execute flight plans. The MissionControl Software was optimized to plan low-altitude flights with capabilities to follow terrain, adjust for uncertainties in elevation and monitor the in-flight status.

Visual Data from the Nvidia board can be shared via the HD video transmission and control system. The computer is connected via the HDMI protocol, and all data (including control, video and drone telemetry) is streamed via 2.4 GHz to a remote control unit. The technically possible range is approximately 30km on line of sight.

A Windows laptop is used as a ground station and a two-way full-duplex communication is established via a 433MHz telemetry radio connected to the NVIDIA board. This enables the ground station to transmit control commands and receive weed monitoring information within a range of 300m.

### 3. Improved YOLOv4 neural network design and training

In order to reduce the requirements for hardware configuration and to improve the performance of the recognition, an improved YOLOv4 deep neural network (cf. Figure 2) was designed and trained using the PyTorch framework [7].

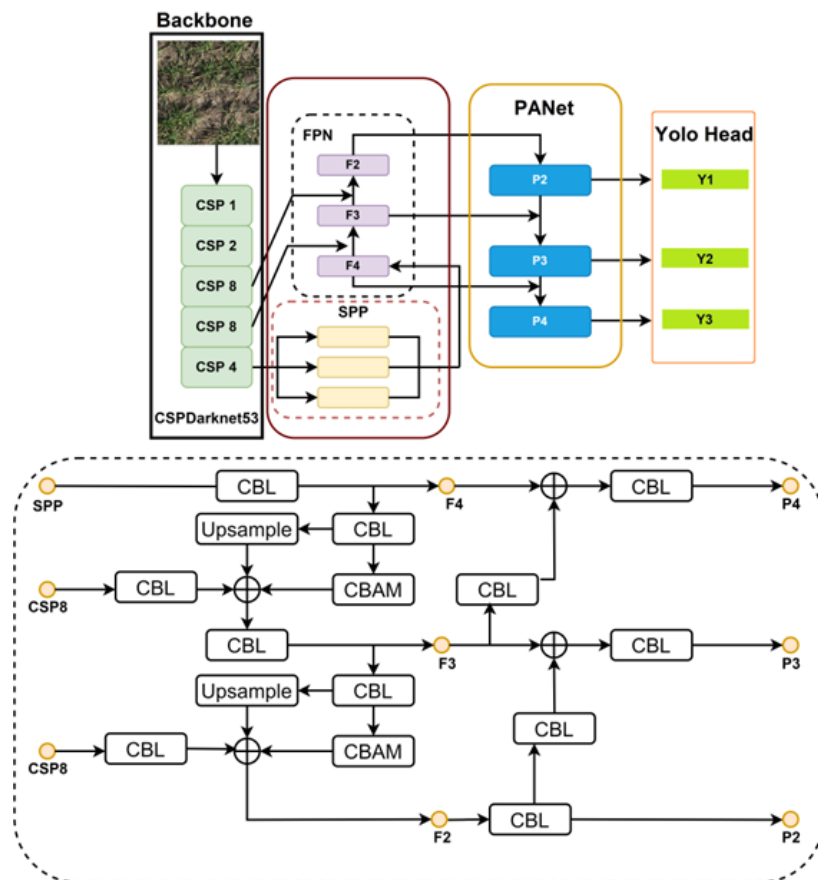


Figure 2: Improved-YOLOv4 weed detection model. CBL: convolution, batch normalization, and Leaky-ReLU.

The CSPDarknet53 backbone borrows the cross-stage partial (CSP) from CSPNet [8] and adds a CSP on each of the five residual blocks, which improves learning ability of convolutional neural networks (CNNs) and allows it to maintain high performance while reducing network weight [9]. Shallow features in the CSPDarknet53 contain more target location information, such as contours and textures, but less semantic information. On the other hand, deeper features contain richer semantic information, whereas the object location information is coarse.

YOLOv4's neck consists of spatial pyramid pooling (SPP) [2], the feature pyramid network (FPN) [10], and the feature aggregator network (PANet) [11]. PANet attempts to improve the process of instance segmentation by retaining spatial information, which aids in proper pixel localization for prediction. FPN can pass deep semantic information to shallow layers and fuse semantic and location information to help YOLOv4 to detect small objects and improve overall weed detection performance.

In addition, to overcome the problems of occlusion, small targets for detection (weed plants), and high similarity in the weed detection process, the Convolutional Block Attention Module (CBAM) [12,13,14] is integrated into FPN. The extracted information is fused in order to use low-level location information in high-level feature maps. To improve the representation power of feature maps, we apply CBAM to the output of different layers of FPN and aggregate it with the output of different layers.

The experimental framework used in this study was developed on a Linux 64-bit operating system, utilized the Python 3.9 programming environment along with the PyTorch 1.11 deep learning framework for training and testing the model. Models were executed on a single NVIDIA GeForce RTX 2080Ti GPU with 11 GB of video memory and Cuda 11.2. The dataset was divided into training, validation, and test sets with a ratio of 8:1:1, respectively. In order to help annotators and increase the number of images, each image was divided into 6 parts to obtain 1662 images. The models were trained for 200 epochs using a batch size of 16. The training model was optimized using stochastic gradient descent (SGD) algorithm, with the momentum and learning rate values set at 0.95 and 0.001, respectively.

Further optimization is performed by the TensorRT<sup>2</sup> optimizer on the NVIDIA board, which performs hardware-specific optimization and finally generates a TensorRT inference engine optimized for the NVIDIA AGX Xavier module. The deployment of a TensorRT inference engine used the TensorRT runtime API with Python bindings.

#### **4. Software framework development**

The software framework of the WeedAI system is shown in Figure 3. Two data transfer programs run on the ground station and in the NVIDIA board separately to realize two-way communication. To save power, the NVIDIA board only calls the weed recognition and obstacle avoidance programs when it receives the command, and it can also be shut down remotely to save energy for flight-critical systems in case of low voltage.

---

<sup>2</sup> see <https://developer.nvidia.com/tensorrt>

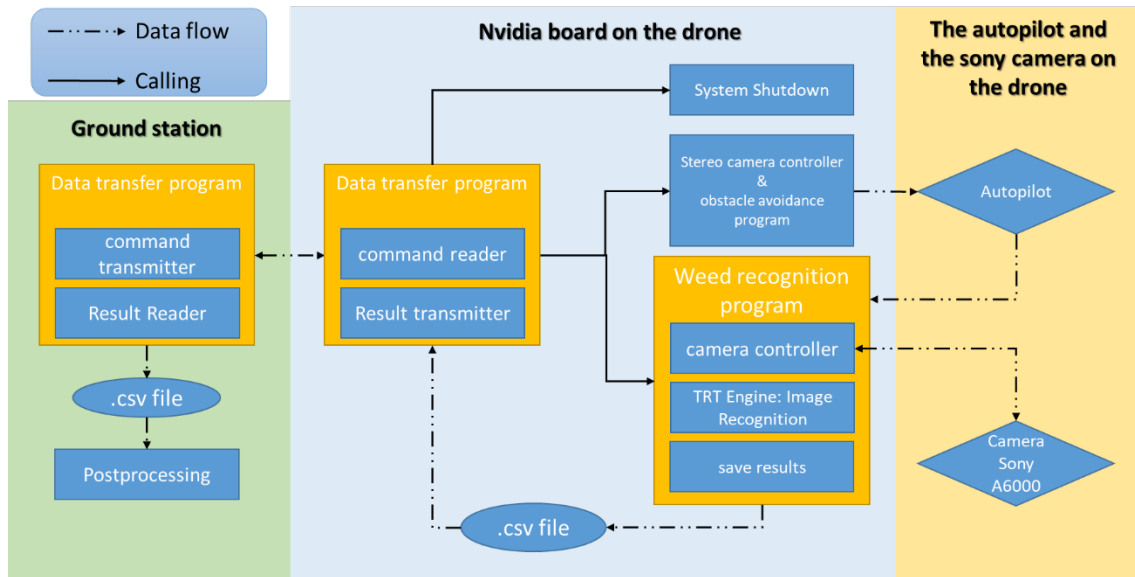


Figure 3: Software framework diagram. Solid lines represent program calls, dashed lines represent data flow, and arrows indicate the direction of call and data flow.

The weed recognition program controls the camera to take photos at fixed time intervals using the gphoto2 library,<sup>3</sup> obtaining the shooting location of the photo by reading the real-time flight information from the autopilot. The captured photo is immediately processed by an optimized inference engine running on the GPU to generate the recognition result, including the type, quantity and location of the weeds in the photo. This result together with shooting time and shooting location generates the weed monitoring information and is stored in a .csv file. At the same time, the on board data transfer program sends the newly added weed monitoring information to the ground station.

## 5. Results

The prototype of the WeedAI system was first tested on an experimental winter wheat field (ATB, Potsdam) to test the flight stability of the CiS drone at low altitude and the shooting performance of the camera. The weed recognition program was not tested in these test flights. All three flights were performed with different flight altitudes, namely 3m, 2m and 1.5m. The photos were taken by the Sony camera A6000 using a 50mm lens in fully automatic mode and with a fixed time interval of 1.5s. The number of photos and the flight duration are shown in Table 1.

Flight altitude	Flight duration	Number of photos
3m	16min	357
2m	14min	299
1.5m	13min	258

Table 1: The number of photos and the flight duration per flight.

The test result shows that the NVIDIA board is capable of controlling the Sony camera to capture photos. However, because the camera is always moving, it takes longer to focus than on the ground, therefore the capturing cannot always be completed within 1.5s. To overcome this issue, a Sony Multi-port connector is used to replace the regular

<sup>3</sup> see <http://gphoto.org/>

micro USB connector. The Sony Multi-port connector has 10 additional pinouts compared to the regular micro USB. The usage of each pinout is listed in Table 2. By shorting Pin 5 to Pin 2 and setting the focus mode of the camera to continuous autofocus, the camera can maintain focus continuously. In the further test we found this solution can effectively reduce the focus time for each shot. The downside is that the camera's power consumption increases significantly.

Pin Num.	Usage
1	Power On / Off: Short to ground to toggle between Power On and Power Off
2	Ground
3	Composite Video Out
4	Shutter Release: Short to ground to trigger the shutter release
5	Focus: Short to ground to trigger focusing
6	Select: Select multiport functionalities / protocol
7	UART_RX
8	UART_TX
9	Reset
10	2.8 Volt to 3.3 Volt output

Table 2: Pinout usages of the Sony Multi-port connector.

For subsequent flights, the Sony camera will be controlled by the NVIDIA board to capture in manual expose mode with a shutter time of 1/800s and an aperture of F5.6, to reduce blurring caused by vibration and relative motion. By the test flight, it was also found that the CiS drone can fly smoothly at low altitudes, but the terrain tracking ability is closely related to the accuracy of the terrain information on the electronic map.

The improved YOLOv4 neural network was tested in labor on the test set with 167 annotated images. The algorithm loss function metric is IoU (intersection over union). If the score for each class exceeds the threshold, namely 0.5, the score is sorted. The score and prediction box position are then subjected to non-maximal suppression (NMS) processing. Finally, the prediction result is the bounding box with the highest probability. The precision-recall curve is shown in Figure 4. The mean average precision to detect weeds was 65.68%. The improved model achieved precision, recall, and F1-score, 93.04%, 60.81%, and 57.00%, respectively. It should be noted that this result is a preliminary result obtained by the model trained on a small training set, as the annotation work has not yet been completed. As shown in Figure 5, the improved YOLOv4 model could optimize the detection by enhancing useful features (weed) in the modeling process and overcome occlusion and noise in the field environment. It improved the ability to detect weeds even with very small sizes. Furthermore, the proposed model could detect weeds in a dense and nested environment, which is one of the most significant challenges in weed detection (Figure 5 (b) and (c)).

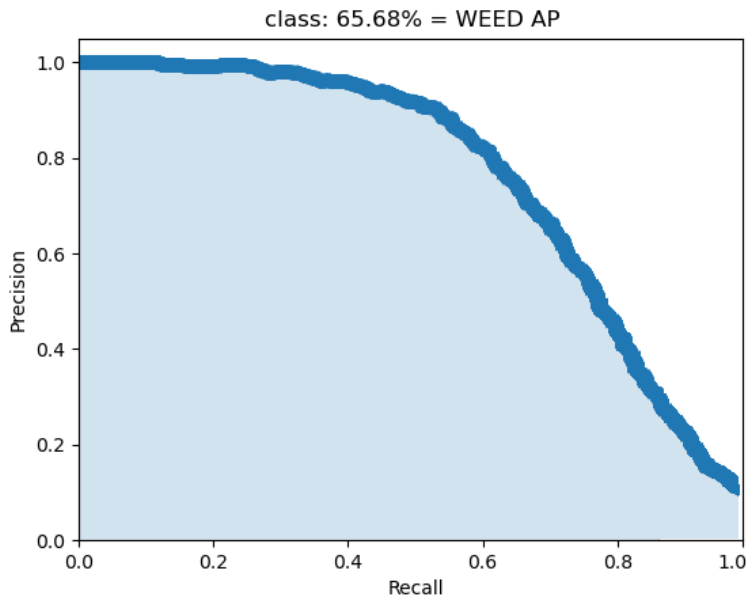


Figure 4: Precision–recall curves of the detection results of the model with test set.

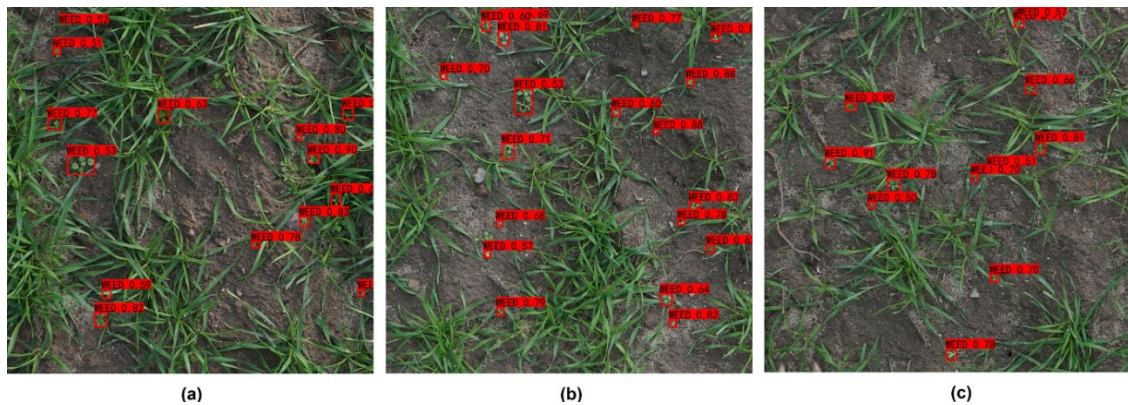


Figure 5: Examples of weed detection results of test set with different challenges. (a) occlusion; (b) dense; (c) nested.

## 6. Conclusion and outlook

The prototype of the WeedAI system has been developed and tested on both hardware and software parts. The flight performance meets the requirements of the high-payload and low-altitude flight. The on-board computer was integrated in the system and uses the developed software framework to realize the control of the system and the transmission of data. The improved YOLOv4 neural network exhibits robust small object detection capability. Currently, the network deployment is in progress, and we aim to compare different deployment methods, such as ONNX Runtime and TensorRT Runtime, to obtain meaningful results. Hardware optimizations will focus on reducing the interval between image capture and optimizing terrain-following flight capability. Further training and structure optimization are necessary to enhance the improved YOLOv4 network's ability to differentiate between weed species.

## Literature

1. Christensen, S., Heisel, T., Walter, A. M., & Graglia, E. (2003). A decision algorithm for patch spraying. *Weed Research*, 43(4), 276-284.
2. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. *Corr abs/2004.10934*. <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
3. NVIDIA Jetson Modules, Support, Ecosystem, and Lineup. (2022, 1. November). NVIDIA Developer. <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-modules>
4. AUVIDEA X221, -LC, -AI Technical reference manual. (Jun.2022). Version 1.6 [https://auvidea.eu/download/manual/X221/X221\\_Manual](https://auvidea.eu/download/manual/X221/X221_Manual)
5. Mavlink Messaging. MAVLink Messaging | PX4 User Guide, <https://docs.px4.io/main/en/middleware/mavlink.html>
6. Kaufmann, T. (2022). Software für Drohnen. <https://www.cis-rostock.de/kopter/software/>
7. Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., and others (2019). PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. In *Advances in Neural Information Processing Systems 32* (pp. 8024–8035). <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3454287.3455008>
8. Wang, C. Y., Liao, H. Y. M., Wu, Y. H., Chen, P. Y., Hsieh, J. W., & Yeh, I. H. (2020). CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 390-391). <https://doi.org/10.1109/CVPRW50498.2020.00203>
9. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2015). Spatial pyramid pooling in deep convolutional networks for visual recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(9), 1904-1916. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10578-9\\_23](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10578-9_23)
10. Lin, T. Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature pyramid networks for object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2117-2125). <https://ieeexplore.ieee.org/document/8099589>
11. Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). Path aggregation network for instance segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8759-8768). <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8579011>
12. Woo, S., Park, J., Lee, J. Y., & Kweon, I. S. (2018). CBAM: Convolutional block attention module. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 3-19). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01234-2\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01234-2_1)
13. Alirezazadeh, P., Rahimi-Ajdadi, F., Abbaspour-Gilandeh, Y., Landwehr, N., & Tavakoli, H. (2021). Improved digital image-based assessment of soil aggregate size by applying convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106499. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1016/j.compag.2021.106499>
14. Alirezazadeh, P., Schirrmann, M., & Stolzenburg, F. (2022). Improving Deep Learning-based Plant Disease Classification with Attention Mechanism. *Gesunde Pflanzen*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00796-y>

# Vorhersage der Cyber-Resilienz einer Organisation durch Emulation der Geschäftsprozesse und des Laufzeitverhaltens von IT/OT-Infrastrukturen

Marcel Kühne, Oliver Nitschke

Fraunhofer IOSB, Institutsteil Angewandte Systemtechnik (AST), Abteilung Kognitive Energiesysteme (KES), Gruppe IT-Sicherheit für Energie- und Wasserversorgung, Wilhelmsplatz 11, 02826 Görlitz

## Abstract

Cyber-Resilienz ist ein entscheidender Faktor für die Widerstandsfähigkeit einer Organisation im Bereich der IT/OT-Sicherheit und beschreibt ihre Fähigkeit, IT/OT-Störungen zu widerstehen und sich davon zu erholen. Ein weit verbreiteter Ansatz zur Messung der Cyber-Resilienz sind Cyber-Resilienz-Metriken. Deren Datenbasis beschränkt sich nicht nur auf die Erfassung sicherheitskritischer Vorfälle in der IT/OT-Infrastruktur, sondern umfasst auch die organisatorische Prozessebene sowie die dahinter liegenden Abläufe beim Auftreten sicherheitsrelevanter Ereignisse im Unternehmen. Eine umfassende Aussage zur Cyber-Resilienz ist erst nachgelagert möglich, da sie direkt abhängig von der Verfügbarkeit ausreichend qualitativer Daten über einen längeren Zeitraum ist. Dazu zählen unter anderem der Umgang einer Organisation mit Sicherheitsmeldungen, die Durchführung von Patchprozessen, das Auftreten von Cyber-Angriffen sowie die Reaktion auf derartige Sicherheitsvorfälle. Fehlt diese Datenbasis, kann eine Aussage zur Cyber-Resilienz nicht oder nur eingeschränkt getroffen werden.

In diesem Beitrag wird ein modellbasierter Ansatz vorgestellt, der es ermöglicht, ohne langfristige Datenerfassung eine qualitative Aussage über die Cyber-Resilienz einer Organisation und ihrer IT/OT-Infrastruktur zu treffen. Dabei werden neben der technischen Infrastrukturebene auch alle relevanten organisatorischen Prozessschritte abgebildet. In dieser Umgebung können unterschiedliche Ereignisse und deren Auswirkungen auf die Cyber-Resilienz über verschiedene Zeiträume emuliert werden. Sie ermöglicht die Einbindung von Cyber-Resilienz-Metriken mit Bezug zu den organisatorischen Geschäftsprozessen. Darüber hinaus können ereignisbasierte Cyber-Resilienz-Metriken präventiv eingesetzt werden, da ihre Abhängigkeit von tatsächlichen IT-Sicherheitsvorfällen entfällt. Dies führt zu einer Vorhersagefähigkeit der Cyber-Resilienz für eine Organisation.

Stichworte: Cybersicherheit, Resilienz, Metrik, Emulation, Vorhersage



## 1. Einführung

Cyber-Resilienz bezeichnet die "Fähigkeit [einer Organisation], sich anzupassen und den Geschäftsbetrieb fortzusetzen und Ziele zu erreichen, unabhängig von Cybervorfällen"<sup>1</sup> (Greiman & Bernardin, 2021). Die primären Ziele sind die Prävention, Bewältigung und Erholung von sicherheitsrelevanten Cyberereignissen. Konzeptionell werden dabei die beiden Bereiche Informationssicherheit mit ihren Schutzzielen Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit einerseits sowie Geschäftskontinuität und organisatorische Belastbarkeit andererseits zusammengeführt. Im Fokus stehen vor allem die technische Infrastruktur, also die Informationstechnologie (IT) und Operative Technologie (OT), sowie die organisatorische Prozessebene, also die nachgelagerten Prozesse beim Auftreten sicherheitsrelevanter Ereignisse. In diesem Zusammenhang ist die Einschätzung der eigenen Cyber-Resilienz für eine Organisation elementar, d. h. deren Messung für die Analyse, Bewertung und Anpassung von Maßnahmen zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegenüber IT/OT-Störungen. Zu diesem Zweck werden häufig Cyber-Resilienz-Metriken verwendet.

### *Problem*

Der Einsatz bzw. die Bewertung von Cyber-Resilienz-Metriken setzt das Auftreten von Cybervorfällen in quantitativer und qualitativer Hinsicht voraus. Dies wiederum bedeutet in der Praxis die Beobachtung und Erfassung von Messwerten über einen längeren Zeitraum. Grundsätzlich führt dieser Umstand zu der Problematik, dass eine umfassende Aussage zur Cyber-Resilienz auf Basis entsprechender Metriken erst nachgelagert möglich ist, d. h. Ergebnisse und Auswertungen liegen in der Regel erst nach einer langfristigen Beobachtungsdauer vor, wobei dadurch die quantitativen oder qualitativen Anforderungen nicht automatisch erfüllt sind. Infolgedessen ergeben sich verzögerte Aussagen zur Wirkung von Cyber-Resilienz-Maßnahmen, da eine zeitnahe Evaluierung der Maßnahmeneffektivität nicht möglich ist. Zusätzlicher Aufwand entsteht durch die Etablierung mittel- bis langfristiger Evaluierungsprozesse für die Cyber-Resilienz.

### *Hypothese*

Von Vorteil wäre die Einschätzung der Widerstandsfähigkeit einer Organisation gegenüber sicherheitsrelevanten Cyberereignissen ohne die bisher damit verbundenen Nachteile. Die daraus resultierende Prognosefähigkeit der Cyber-Resilienz betrifft neben der technischen Infrastrukturebene (IT/OT-Infrastruktur) auch alle damit verbundenen organisatorischen Prozessschritte. Das Ziel ist eine qualitative Aussage über die Cyber-Resilienz einer Organisation mittels Cyber-Resilienz-Metriken ohne die übliche langfristige Datenerfassung. Folgende Hypothese wird formuliert:

*Die Cyber-Resilienz einer Organisation kann durch Emulation ihrer Geschäftsprozesse sowie des Laufzeitverhaltens ihrer IT/OT-Infrastruktur mittels Cyber-Resilienz-Metriken vorhergesagt werden.*

---

<sup>1</sup> "ability to adapt and continue business operations and accomplish objectives, regardless of the cyber incidents"

### *Verwandte Arbeiten*

Die hier vorgestellten Arbeiten beziehen sich auf die Abbildung von Geschäftsprozessen sowie die Darstellung technischer IT/OT-Infrastrukturen mittels Emulation. In Siaterlis et al. (2011) wird ein angepasstes Emulab-basiertes Testbed als Emulationsumgebung für Cyberübungen vorgestellt. Siaterlis et al. (2013) zeigen die Eignung von Emulationsumgebungen auf Basis der Software Emulab für die Durchführung wissenschaftlicher Experimente hinsichtlich der Eigenschaften Experimenttreue, Reproduzierbarkeit, Messgenauigkeit und Störungen sowie der damit verbundenen repräsentativen Abbildung des Verhaltens realer Systeme. Die Modellierung der Auswirkungen potenzieller Cyberangriffe auf die Prozessabläufe von (militärischen) Systemen wird sowohl in Musman et al. (2013) basierend auf der Business Process Model and Notation (BPMN) als auch in Lang & Madahar (2017) auf der Basis der Unified Modeling Language (UML) dargestellt. In Kott et al. (2018) werden mit *metric-based* und *model-based* die zwei primären Ansätze zur Quantifizierung der Resilienz beschrieben.

### *Thematische Eingrenzung*

Der grundlegende Absatz sowie die Bewertung der Cyber-Resilienz basieren auf Cyber-Resilienz-Metriken. Eine Evaluierung dieser hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung, Vollständigkeit oder eventueller Unzulänglichkeiten zur Beurteilung der Cyber-Resilienz ist nicht Bestandteil dieses Beitrags.

### *Gliederung*

Der vorliegende Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Abschnitt 2 erklärt das Vorgehensmodell und die methodische Herangehensweise. In Abschnitt 3 werden die Ausarbeitungen vorgestellt. Die Darstellung der wichtigsten Erkenntnisse sowie eine Interpretation der Ergebnisse erfolgen in Abschnitt 4. Mögliche Erweiterungen des Ansatzes werden in Abschnitt 5 zusammengefasst.

## **2. Vorgehensmodell**

Die Vorgehensweise basiert auf der Design Science Research (DSR) Methodologie, einem gestaltungsorientierten Ansatz. Konzeptionell wird in diesem Beitrag nicht von einer möglichst exakten Abbildung des Vorbildes, also der Simulation der Infrastruktur sowie der Geschäftsprozesse einer Organisation, ausgegangen, sondern von den notwendigen Anforderungen und Eingangsgrößen, welche für die Cyber-Resilienz-Metriken relevant sind. Es wird die prinzipielle Machbarkeit des gewählten Ansatzes aufgezeigt. Weitere Evaluierungszyklen im Sinne des DSR sind notwendig. In einem ersten Schritt werden Metriken für die Cyber-Resilienz analysiert. Basierend auf deren Eigenschaften und notwendigen Eingabewerten können die Mindestanforderungen an ein Modell für die Emulation definiert werden. Diese Anforderungen gilt es anschließend aufzuarbeiten und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu prüfen.

Nicht mehr Bestandteil dieses Beitrags ist die Evaluierung des Ansatzes hinsichtlich seiner Eignung und Aussagekraft bezüglich der Problemstellung. Wird das Problem nicht ausreichend adressiert, fließen die daraus resultierenden Anpassungen wieder in das Design des Modells sowie eine erneute Evaluierung ein.

### 3. Ergebnisse

#### *Analyse der Cyber-Resilienz-Metriken*

Grundsätzlich kann jede Cyber-Metrik, die sich auf die Ziele Antizipieren, Widerstehen, Wiederherstellen und Anpassen<sup>2</sup> (Bodeau et al., 2018b) bezieht, als Cyber-Resilienz-Metrik verwendet werden. Auch Metriken, die keinen direkten Zusammenhang zur Resilienz aufweisen, sondern auf grundlegende Merkmale wie Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit referenzieren, können für die Resilienzmessung eingesetzt werden (Kott et al., 2018). In ENISA (2011) werden 24 grundlegende Metriken<sup>3</sup> zur Widerstandsfähigkeit von netzwerkbasierenden Diensten vorgestellt. Bodeau et al. (2018a) enthält einen Katalog mit fast 500 repräsentativen Cyber-Resilienz-Metriken. Domänenspezifisch führen Vugrin et al. (2017) beispielhaft 20 Resilienzmetriken für Energienetze auf und Kerkdijk et al. (2017) orientieren sich an der Cyber-Kill-Chain, analysiert 23 Angriffsszenarien auf den Finanzsektor und leitet daraus 47 Cyber-Resilienz-Metriken ab. Eine Analyse dieser Metriken führt zu folgenden Erkenntnissen:

- Grundlegend werden die Eigenschaften der technischen Infrastruktur (z. B. Anzahl, Verfügbarkeit, Konfiguration) und der organisatorischen Prozesse (z. B. Personal, Verhalten, Abläufe, Dauer) messbar gemacht. Diese beiden Bereiche gilt es zu emulieren.
- Da eine Vielzahl von allgemeinen sowie domänenspezifischen Cyber-Resilienz-Metriken existiert, ist eine Einbeziehung aller dieser Metriken sehr komplex und nicht trivial.
- Als Eingabewerte für die Metriken werden geeignete Messwerte benötigt. Ohne diese können die Metriken nicht verwendet werden bzw. liefern keine Ergebnisse. Die meisten Metriken basieren auf Cyberereignissen, deren Eintreten in der Praxis nicht direkt kontrolliert werden kann. Dieser Umstand führt folglich zu langen Mess- und Beobachtungszeiträumen. Relevant für die Messwerte bzw. als Datengrundlage ist meistens auch nicht das Ereignis an sich, sondern dessen Auswirkung.
- Alexeev et al. (2017) unterscheiden zwischen struktureller und aktiver (reaktiver und adaptiver) Resilienz. Ein ähnlicher, aber passenderer Ansatz ist die Unterteilung in ereignisbasierte (event-based) und ereignisunabhängige (non-event-

---

<sup>2</sup> *anticipate, withstand, recover and adapt*

<sup>3</sup> *baseline resilience metrics*

based) Cyber-Resilienz-Metriken. Ereignisunabhängige Metriken beziehen sich auf präventive Maßnahmen bzw. auf das Ziel der Antizipation.

- Es werden keine Anforderungen an die Quantität oder die Qualität der ihnen zugrundeliegenden Messwerte definiert. Beide Größen haben allerdings direkte Auswirkungen auf die Aussagekraft der Metriken.
- Es werden keine konkreten Zielwerte definiert (z. B. 80 Prozent als Mindestwert oder zwei Stunden als Zeitfenster für eine Reaktion auf ein Ereignis), die es zu erreichen gilt.

Alle Kriterien oder Anforderungen, die nicht von den Cyber-Resilienz-Metriken spezifiziert werden, sind für die Vorhersage der Cyber-Resilienz auf Basis dieser Metriken nicht relevant und werden daher nicht weiter betrachtet.

#### *Anforderungen an die Emulation*

Das Ziel ist die Vorhersage der Cyber-Resilienz einer Organisation. Folgende Anforderungen an ein dafür geeignetes Emulationsmodell sind mindestens zu erfüllen:

- Anwendung einer Vielzahl an verschiedenen Cyber-Resilienz-Metriken
- Darstellung des Auftretens von Cyberereignissen über verschiedene Zeiträume
- Abbildung der technischen Infrastruktur und der organisatorischen Prozesse einer Organisation

Für den Einsatz einer Vielzahl von Cyber-Resilienz-Metriken sind die benötigten Eingabewerte bzw. Messwerte zur Verfügung zu stellen. Dazu gehören mindestens folgende abstrahierte Eigenschaften:

- Art und Häufigkeit des Auftretens eines Ereignisses über einen bestimmten Zeitraum
- Dauer für einen (organisatorischen) Prozess und beteiligte Akteure
- Anzahl an Komponenten/Systemen/Ressourcen und deren verschiedene Zustände (z. B. System  $x$  redundant ausgelegt, Verfügbarkeit, Echtzeitfähigkeit)
- notwendige Eigenschaften und Schwellenwerte für die Aufrechterhaltung der Zustände (z. B. maximale Anzahl an Anfragen, max. 4ms Latenz für Echtzeitfähigkeit)
- zeitliches Verhaltensmuster einer Komponente, eines Systems oder einer Resource (z. B. Änderung des Zustandes)
- Eigenschaften der technischen und organisatorischen Kommunikationswege (z. B. Bandbreite, Latenz bzw. Laufzeiten)

Für ereignisunabhängige Metriken ist eine Vorhersage trivial, sie basiert auf statischen Gegebenheiten der technischen Infrastruktur sowie der organisatorischen Prozesse. Im Gegensatz dazu werden für ereignisbasierte Metriken Messwerte benötigt, die vom Auftreten von Cyberereignissen abhängig sind. Ein solches Ereignis wird in erster Linie

durch seine Auswirkungen auf ein System beschrieben und kann wie folgt dargestellt werden:

- Art und Häufigkeit des Auftretens über einen bestimmten Zeitraum
- Auswirkung auf die Dauer eines (organisatorischen) Prozesses und die beteiligten Akteure
- Auswirkung auf den Zustand einer Komponente, eines Systems oder Ressource
- Auswirkung auf die Eigenschaften einer Komponente, eines Systems, einer Ressource oder der technischen und organisatorischen Kommunikationswege

Für die Modellierung von Geschäftsprozessen wird die *Business Process Model and Notation* (BPMN) verwendet. Sie ist standardisiert, weit verbreitet und kann leicht automatisiert werden. Im Idealfall sind die Geschäftsprozesse einer Organisation bereits in BPMN modelliert.

Für die Darstellung der technischen Infrastruktur ist es nicht erforderlich, die tatsächliche Komplexität einer Komponente oder eines Systems abzubilden. Es ist ausreichend, die Auswirkung eines Ereignisses darzustellen. Dies geschieht durch Emulation des Laufzeitverhaltens einer Komponente bzw. eines Systems. Für die Modellierung der technischen Infrastruktur wird Emulab eingesetzt.

#### **4. Auswertung und Zusammenfassung**

Durch die Analyse verschiedener Cyber-Resilienz-Metriken konnten grundlegende Erkenntnisse bezüglich der Voraussetzungen für eine Emulation ermittelt werden. Darauf aufbauend wurden Anforderungen an ein Emulationsmodell erarbeitet. Prinzipiell ergeben sich drei Herausforderungen für eine Emulation:

- Es gibt eine Vielzahl von Cyber-Resilienz-Metriken, die mit den notwendigen Eingabewerten versorgt werden müssen.
- Verschiedene unterschiedliche Cyberereignisse müssen darstellbar sein.
- Die Abbildung der technischen Infrastruktur sowie von Geschäftsprozessen muss möglich sein.

Für den Einsatz der Metriken wurden sechs Mindestanforderungen für die Bereitstellung der Eingabewerte definiert. Diese müssen vom Emulationsmodell zur Verfügung gestellt werden. Die Umsetzung dieser Kriterien wird als realisierbar bewertet. Für die Abbildung von Cyberereignissen wurden vier grundlegende Auswirkungen auf die Eigenschaften des Modells erarbeitet. Für die Modellierung der Geschäftsprozesse mit der *Business Process Model and Notation* (BPMN) sowie der technischen Infrastruktur basierend auf Emulab wurden etablierte und erweiterbare Ansätze gewählt.

Die aufgestellte Hypothese kann auf folgende Fragestellung reduziert werden: Können die notwendigen Daten (Messwerte) für die Bewertung der Cyber-Resilienz mithilfe einer Emulation erzeugt werden? Diese Frage und damit auch die Hypothese kann vom konzeptionellen Standpunkt her positiv beantwortet werden.

## *Einschränkungen*

Dieser Beitrag zeigt lediglich einen konzeptionellen Ansatz und lässt den Nachweis der Funktionsweise bzw. der konkreten Anwendbarkeit offen. Aufgrund des iterativen Vorgehensmodells kann noch nicht von einer abschließenden Betrachtung gesprochen werden.

## **5. Ausblick**

Zur Optimierung des Ansatzes sind noch mehrere Evaluierungszyklen nach der Design Science Research Methodologie erforderlich. Daraus können sich noch zusätzliche Anforderungen an die Emulation ergeben. Essenziell ist die Evaluierung des konzeptionellen Ansatzes mit Beispielen aus der Praxis.

Eine Konkretisierung der sicherheitskritischen Ereignisse kann durch die Einbindung des MITRE ATT&CK Frameworks erfolgen.

Die Emulation der technischen Infrastruktur kann alternativ mit den Werkzeugen *GNS3 (Graphical Network Simulator-3)* oder *EVE-NG* erfolgen.

Für die Modellierung der Geschäftsprozesse kann anstelle der Modellierungssprache *Business Process Model and Notation (BPMN)* die Verwendung von *erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK)* in Betracht gezogen werden. Alternativ zur Emulation bzw. als möglicher nächster Schritt wäre eine Simulation der IT/OT-Infrastruktur denkbar. Damit würde man eine möglichst geringe Abstraktion und realitätsnahe Abbildung der Organisation erreichen.

Die Abbildung der Geschäftsprozesse kann um Geschäftsziele und spezifische Kennzahlen der Organisation erweitert werden, z. B. durch die Integration einer (Risiko) Balanced Scorecard. Der Ansatz kann zudem durch die Verwendung bestehender und bewährter Enterprise Architecture Frameworks wie z. B. TOGAF (The Open Group Architecture Framework) oder ArchiMate erweitert werden.

Darüber hinaus ist zu prüfen, inwieweit der gewählte Ansatz stärker mit bestehenden Cyber-Resilienz-Frameworks verknüpft bzw. erweitert werden kann. Beispielhaft seien hier das NIST Cyber Resilience Framework, NIST SP 800-160 "*Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach*" (Ross et al., 2021) oder der Cyber Resilience Review (CRR) des Department of Homeland Security's Office of Cybersecurity & Communications genannt.

## **Quellen**

Alexeev, A., Henshel, D. S., Levitt, K., McDaniel, P., Rivera, B. K., Templeton, S. P. & Weisman, M. (2017). Constructing a Science of Cyber-Resilience for Military Systems. NATO IST-153/RWS-21 Workshop on Cyber Resilience, 30–42.

Bernardin, E. & Greiman, V. A. (2021). Cyber Resilience: A Global Challenge. ACPIL

Bodeau, D. J., Graubart, R. D., McQuaid R. M. & Woodill J. (2018a). Cyber Resiliency Metrics Catalog. MITRE Technical Report. <https://www.mitre.org/sites/default/files/2021-11/pr-18-3376-cyber-resiliency-metrics-catalog.pdf>

Bodeau, D. J., Graubart, R. D., McQuaid R. M. & Woodill J. (2018b). Cyber Resiliency Metrics, Measures of Effectiveness, and Scoring: Enabling Systems Engineers and

Program Managers to Select the Most Useful Assessment Methods. MITRE Technical Report. <https://www.mitre.org/sites/default/files/2021-11/prs-18-2579-cyber-resiliency-metrics-measures-of-effectiveness-and-scoring.pdf>

ENISA. (2011). Measurement Frameworks and Metrics for Resilient Networks and Services: Technical report. [https://www.enisa.europa.eu/publications/metrics-tech-report/at\\_download/fullReport](https://www.enisa.europa.eu/publications/metrics-tech-report/at_download/fullReport)

Kerkdijk, R., Lagarde, R., Koens, T., Zeijlemaker, S., Samwel, P., te Paske, B.-J., Verweij, E., & Wolthuis, R. (2017). Library of Cyber Resilience Metrics.

Kott, A., Blakely, B., Henshel, D. S., Wehner, G. J., Rowell, J., Evans, N. R., Muñoz-González, L., Leslie, N. O., French, D. A., Woodard, D. B., Krutilla, K., Joyce, A. W., Linkov, I., Machuca, C. M., Sztipanovits, J., Harney, H., Kergl, D., Nejib, P., Yakobovitch, E., . . . Møller, A. (2018). Approaches to Enhancing Cyber Resilience: Report of the North Atlantic Treaty Organization (NATO) Workshop IST-153. arXiv (Cornell University). <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1050894.pdf>

Lang, C. & Madahar, B. (2017). Understanding the mission impact of a cyber attack in a system of systems environment. NATO IST-156 Workshop on Modelling and Simulation.

Linkov, I., Eisenberg, D., Plourde, K. J., Seager, T. P., Allen, J. H. & Kott, A. (2013). Resilience metrics for cyber systems. *Environment Systems and Decisions*, 33(4), 471–476. <https://doi.org/10.1007/s10669-013-9485-y>

Musman, S., Temin, A., Tanner, M., Fox, R. & Pridemore, B. (2013). Evaluating the impact of cyber attacks on missions. *M&S Journal*, 8(2), 25–35. [https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/09\\_4577.pdf](https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/09_4577.pdf)

Ross, R. S., Pillitteri, V., Graubart, R., Bodeau, D. & McQuaid, R. (2021). Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach. NIST Special Publication 800-160, Volume 2, Revision 1. <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-160v2r1>

Siatlerlis, C., Perez-Garcia, A. & Masera, M. (2011). Using an Emulation Testbed for Operational Cyber Security Exercises. *IFIP advances in information and communication technology*, 185–199. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24864-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24864-1_13)

Siatlerlis, C., García, A. J. & Genge, B. (2013). On the Use of Emulab Testbeds for Scientifically Rigorous Experiments. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(2), 929–942. <https://doi.org/10.1109/surv.2012.0601112.00185>

Vugrin, E. D., Castillo, A. & Silva-Monroy, C. A. (2017). Resilience Metrics for the Electric Power System: A Performance-Based Approach. OSTI OAI (U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information). <https://doi.org/10.2172/1367499>

# Solving the Optimization Problem of Bidirectional EV-Charging on a Quantum Computer

Daniel Müssig<sup>1</sup>, Marika Federer<sup>2</sup>, Steve Lenk<sup>2</sup>, Jörg Lässig<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IOSB-AST, Wilhemsplatz 11, 02826 Görlitz

<sup>2</sup> Fraunhofer IOSB-AST, Am Vogelherd 90, 98693 Ilmenau

<sup>3</sup> Hochschule Zittau/Görlitz, Brückenstraße 1, 02826 Görlitz

## Abstract

The optimization problem of bidirectional electrical vehicle charging (Vehicle-to-Home) becomes more and more important with rising energy prices and the required reduction of CO<sub>2</sub> emissions. We maximize the usage of local solar power generation, while minimizing the power grid usage. This is constrained by the energy demand of the household and the required state of charge at departure as well as the idle times of the car at home. The problem is formulated as a quadratic unconstrained binary optimization (QUBO) problem, which can be solved with the hybrid quantum-classical algorithm quantum alternating operator ansatz (QAOA). We show results for small problem instances executed on a real device and a simulator. Additionally, we approximate the requirements of the problem on quantum computers for problem instances which are more realistic.

## 1. Introduction

Quantum Computing promises an advantage over conventional computing in solving many NP-hard problems faster, without changing their complexity class. The current generation of quantum computers is small in the number of qubits and noisy, and thus called near-term intermediate scale quantum computer (NISQ). Further, to make use of current generation quantum computers most of the programs are written on a very low abstraction level i.e., using a quantum circuit consisting of quantum gates. A gate can act on one or more qubits, and is a matrix, which is matrix multiplied onto a quantum state i.e., a vector. Multiple qubits are combined by the tensor product to a quantum register. A qubit can be measured in the state  $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$  or  $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ , but could be without observation i.e., before measuring, in any state in between, which preserves the length of the vector. The most known gates are the Pauli gates  $X, Y$  and  $Z$ , which implement the Pauli matrices  $\sigma^x, \sigma^y$  and  $\sigma^z$ , the Hadamard gate  $H$  and the controlled not gate  $CNOT$ . Pauli gates are rotations of  $\pi$  radians around the Bloch sphere. The Hadamard gate transforms the state  $|0\rangle$  into the equal superposition. Lastly, the  $CNOT$  gate is a two-qubit gate, which leaves the targeted qubit in its state if the controlled qubit is in state  $|0\rangle$  and does a bitflip on the targeted qubit if the controlled qubit is in state  $|1\rangle$  (Nielsen & Chuang, 2010).

Hybrid algorithms are used to utilize current generations of quantum computers. They consist of a shallow parameterized quantum circuit, which is run on a quantum computer, while the parameters are optimized on a classical machine. This process is repeated until an optimal parameter set is found, as illustrated in Figure 1 (McClean et al.,



2016). One of those hybrid algorithms is the quantum alternating operator ansatz (QAOA), which we will use in this paper to solve the optimization problem of bidirectional EV-charging on a quantum computer.

The following of the paper is organized as follows: In Section 2 we present related work on the topic. Section 3 describes the problem, which we want to solve on the quantum computer. The 4<sup>th</sup> Section formulates the QUBO to solve the problem and describes the implementation in QAOA. In Section 5 we show our results of running the algorithm both on the simulator and on a real device. We conclude in Section 6 and give an outlook on further work.

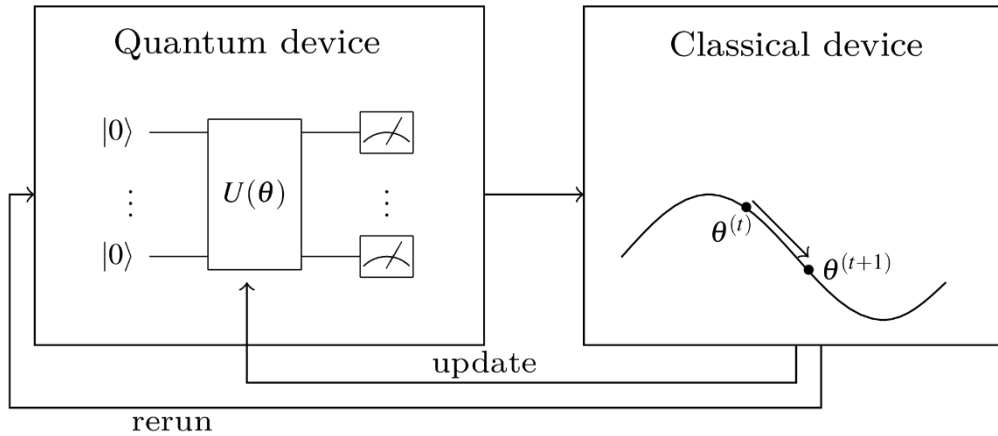


Figure 1: Hybrid Algorithm adopted from (Schuld & Petruccione, 2018).

## 2. Related Work

When we want to solve optimization problems on a current generation quantum computer, we have overall two options. On one hand we could use the variational quantum eigensolver (VQE) and on the other hand the quantum alternating operator ansatz (QAOA). However, VQE is more suited for optimization problems with quantum variables i.e., solving optimization problems in the quantum world, and QAOA is more suited towards classical optimization problems (Moll et al., 2018).

A good example for industrial usage of QAOA is the paper by Volkswagen, solving the binary paint shop problem (Streif et al., 2020). Here, the authors showed, how an industrial relevant problem could be mapped to an ising Hamiltonian, which was approximated by QAOA on a quantum computer. Further, they showed improvements against a classical heuristic i.e., the greedy algorithm.

In a previous work, we have optimized the charging schedule of battery electric service vehicles of the Erfurt airport on a quantum computer (Federer, Müssig, Klaiber, et al., 2022). We've modeled the problem as a QUBO and solved it using QAOA. However, in this industrial use case we haven't considered a bidirectional setting.

In a follow-up paper we have analyzed the results and investigated the complexity as well as the landscape of the cost function (Federer, Müssig, Lenk, et al., 2022). We have found that the introduction of constraints increases the complexity of the landscape. Further, we have seen symmetries in the landscape of the cost function.

The work by (Deller et al., 2022) also optimizes the charging schedule of electrical vehicles using QAOA. However, instead of a direct mapping of the problem to a QUBO, the authors decided to map the problem to a graph coloring problem. Further, ideas were discussed on implementing constraints as conditional gates on ancilla qubits and by using a dynamical decoupling strategy. Lastly, the QAOA circuits were implemented with qudits instead of qubits, which enabled the authors to use integer instead of binary variables.

### 3. Bidirectional EV-Charging

In this paper we solve a very specific problem for bidirectional EV charging. First, we consider a vehicle to home (V2H) use case, where the car discharges only into the home and not into the grid. Further, we want to maximize the local usage of the solar power generation. Therefore, we use the battery of the electrical vehicle also as a battery of the house. We always want to fulfill the minimum charging amount  $e_{min}$  and not exceed the maximum charging amount  $e_{max}$ . For each timestep  $t$  we have a maximum charging power  $j_{max,t}$  and a maximum discharging power  $j_{min,t}$ . Further, we have the solar power generation  $pv_t$  and the power demand of the house  $d_t$  with their difference  $p_t$ . We minimize the cost function over the charging power  $j_t^c$  and discharging power  $j_t^d$ .

To solve this problem, we use Equation (1), which is a quadratic constrained integer optimization (QCIO) problem.

$$\begin{aligned}
C(j_t^c, j_t^d) &= \min \sum_t ((j_t^c - j_t^d) - p_t)^2 \\
\text{subject to:} \\
j_{min,t} &\geq j_t^d \\
j_{max,t} &\geq j_t^c \\
e_{min} &\leq \sum_t j_t^c - j_t^d \leq e_{max} \\
j_t^c j_t^d &= 0
\end{aligned} \tag{1}$$

We have the following constraints from top to bottom: we are not allowed to discharge more than our maximum discharging power, we are not allowed to charge more than our maximum charging power, overall, we must fulfill the minimum charging amount and shall not exceed the maximum charging amount, and we are not allowed to charge and discharge at the same time step.

We decided to formulate the problem as a QCIO problem, because it can be translated into a quadratic unconstrained binary optimization problem (QUBO), which can be solved with QAOA.

### 4. Formulation of the QUBO and Implementation of QAOA

The quantum alternating operator ansatz (QAOA) formerly known as quantum approximate optimization algorithm approximates the optimal solution of combinatorial optimization problems by mapping them to find the ground state of an Ising Hamiltonian (Weidenfeller et al., 2022).

QUBOs have a close relation to Ising Hamiltonians. Thus, we start with a reformulation of our QCIO into a QUBO. In Equation (2) we introduce three variables, which hold the

required bits for  $j_t^c$ ,  $j_t^d$  and  $q$  respectively. For each time step and each variable, we calculate the minimum required number of bits, to utilize the least number of qubits on a quantum computer. Further, if we have a constraint, where a number must be zero, we set it zero and do not use a qubit to store this information.

$$\begin{aligned} b_t &= \lceil \log_2(j_{max,t} + 1) \rceil \\ c_t &= \lceil \log_2(j_{min,t} + 1) \rceil \\ f &= \lceil \log_2(e_{max} - e_{min} + 1) \rceil \end{aligned} \quad (2)$$

Equation (3) and (4) calculate the charging and discharging power for each time step. The second summand reflects the integer value represented by the binary variables  $x_i$  at  $j_{max}$  and  $y_i$  at  $j_{min}$  respectively. This assures constraint 1 and 2 in Equation (1).

$$j_t^c = \sum_{i=0}^{b_t-2} 2^i x_{i,t} + (j_{max,t} - 2^{b_t-1} + 1) x_{b_t-1,t} \quad (3)$$

$$j_t^d = \sum_{i=0}^{c_t-2} 2^i y_{i,t} + (j_{min,t} - 2^{c_t-1} + 1) y_{c_t-1,t} \quad (4)$$

Equation (5) introduces a slack variable, which is later used in the second penalty term.

$$q = \sum_{i=0}^{f-2} 2^i z_i + (e_{max} - e_{min} + 1) \quad (5)$$

In the following Equation (6) introduces a QUBO version of Equation (1). The first part still looks the same as the sum in Equation (1). However, we have used the binomic formula to prepare it already for the Ising formulation.  $P_1$  and  $P_2$  are penalty factors, where the corresponding penalty terms help us removing the constraints. In particular, the first penalty term is a reformulation of constraint 4 and the second is a reformulation of constraint 3.

$$\begin{aligned} C(x, y, z) = \min \sum_t & \left[ j_t^{c^2} + j_t^{d^2} - 2j_t^c p_t + 2j_t^d p_t + p_t^2 \right] + P_1 \left( \sum_t j_t^c j_t^d \right) \\ & + P_2 \left( \sum_t (j_t^c - j_t^d) - q - e_{min} \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

To encode our QUBO into an Ising Hamiltonian we shift our binary variables  $x_i$ ,  $y_i$  and  $z_i$  to  $\frac{1-zx_i}{2}$ ,  $\frac{1-zy_i}{2}$  and  $\frac{1-zz_i}{2}$  with  $zx_i, zy_i, zz_i \in \{-1, 1\}$ . Afterwards, we substitute these variables with  $\sigma^z$  (Moll et al., 2018). The Pauli-Z operator is used since it has the eigenvectors  $|0\rangle$  and  $|1\rangle$  with the corresponding eigenvalues 1 and  $-1$ .

To find the ground energy of an Ising Hamiltonian  $H_C$  with QAOA we also need a mixing Hamiltonian  $H_B$ . A typical mixing Hamiltonian is  $H_B = \sum_{j=1}^N \sigma_j^x$  since we can easily prepare its ground state, which is the equal superposition of all states. Thus, the QAOA is initialized with Hadmard gates on each qubit. A  $p$ -level QAOA circuit consists of  $H_C$  and  $H_B$  alternating  $p$  times to approximate adiabatic quantum annealing via Trotterization. Therefore, we parameterize each Hamiltonian. The convention is to use  $\gamma$  for the Ising

or problem Hamiltonian ranging from 0 to  $2\pi$  and  $\beta$  for the mixing Hamiltonian ranging from 0 to  $\pi$ . A formal description of QAOA would be  $U = U(H_B, \beta_p) \cdot U(H_C, \gamma_p) \cdot \dots \cdot U(H_B, \beta_1) \cdot U(H_C, \gamma_1)$  and is shown in Figure 2 (Zhou et al., 2020).

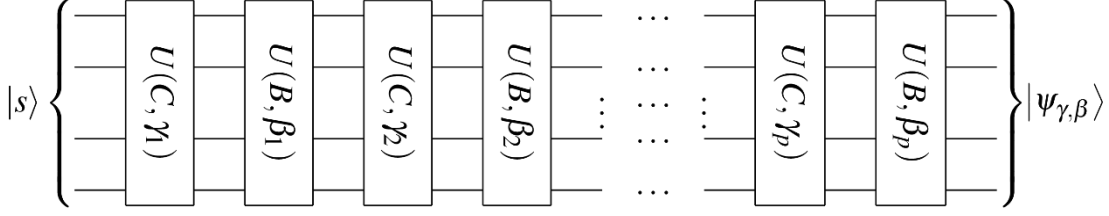


Figure 2: A  $p$ -level QAOA with alternating  $U_C$  and  $U_B$ .

Since we have now constructed the QAOA circuit, the next step is to optimize the parameters to find the ground state of the problem Hamiltonian. Therefore, we calculate the expectation value  $F_p(\gamma, \beta) = \langle \psi_p(\gamma, \beta) | H_C | \psi_p(\gamma, \beta) \rangle$  in each iteration for the current best parameters. In our classical optimization loop we use a classical nonlinear optimizer, which does not require the derivative of the cost function like *COBYLA* or *SPSA*, to find the best parameter set regarding the smallest expectation value.

## 5. Results

We have implemented our QAOA for bidirectional charging with the Qiskit Runtime program for QAOA with the classical optimizer *SPSA*, since it can be executed as one job within the IBM Quantum Experience and does not require a single job for each iteration (Weidenfeller et al., 2022). The advantage of having only one job, which must be executed, is, that we only need to be once in the queue for each experiment. Waiting times in queues for today's public cloud quantum computers range from a couple of minutes to sometimes even days. Thus, it is currently not viable to run a hybrid quantum algorithm without a reservation of the quantum computer.

Our experiments consist of five problem instances, which were solved with IBMs CPLEX solver, which gives an optimal result, with the IBM QASM Simulator, which is a noiseless simulator and on IBMQ Ehningen, which is a real 27-qubit machine deployed in Germany. On the two devices we used a two-layer QAOA algorithm. The results are shown in Table 1. We have listed in the first column the data of the experiments. The second column lists the results for the CPLEX solver, which is an exact solution and was always the same result in multiple runs. Columns three and four list the results on the IBM QASM Simulator and on IBMQ Ehningen respectively. We have done multiple runs on both devices and used 1024 shots, which means, that the circuit was run 1024 times to establish an expectation value. From the 1024 shots we have taken the best solution and calculated the average probability within the shots over all runs.

The first experiment requires two qubits. There is only one feasible solution, which was found on all three solvers. The achieved probability for the best state was higher than equal superposition, for both the simulator and the calculations on the real quantum device, which would have led to a probability of  $\sim 25\%$ . Experiment 2 requires four qubits. Here, the probability distribution for the equal superposition would have been  $\sim 3.125\%$  and again we see better results on both devices. However, we also see, that the QASM Simulator has a lower probability distribution. Experiments three, four and five required seven qubits. We have chosen this as the maximum number of qubits for

our experiments, because we had intended to use a free 7-qubit machine. However, since the queue times were too long, we switched to the paid IBMQ Ehningen machine. In the last three experiments the probability distribution for an equal superposition would have been  $\sim 0.781\%$ . We see that the results are better or near that value.

	optimal result	QASM Simulator	IBMQ Ehningen
$\mathbf{p} = [0, 1]$ $\mathbf{j}_{min} = [0, 0]$ $\mathbf{j}_{max} = [1, 0]$ $e_{min} = 0$ $e_{max} = 1$	$j^c = [0,0]$ $j^d = [0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$	$j^c = [0,0]$ $j^d = [0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$ <i>Prob.</i> = $\sim 51,85\%$	$j^c = [0,0]$ $j^d = [0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$ <i>Prob.</i> = $\sim 44,49\%$
$\mathbf{p} = [1, -1, 1]$ $\mathbf{j}_{min} = [0, 0, 0]$ $\mathbf{j}_{max} = [1, 1, 1]$ $e_{min} = 1$ $e_{max} = 1$	$j^c = [1,0,0]$ $j^d = [0,0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 2$	$j^c = [1,0,0]$ $j^d = [0,0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 2$ <i>Prob.</i> = $\sim 7,12\%$	$j^c = [1,0,0]$ $j^d = [0,0,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 2$ <i>Prob.</i> = $\sim 13,60\%$
$\mathbf{p} = [1, -1, 1]$ $\mathbf{j}_{min} = [1, 1, 0]$ $\mathbf{j}_{max} = [1, 1, 1]$ $e_{min} = 1$ $e_{max} = 2$	$j^c = [1,0,1]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 0$	$j^c = [1,0,1]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 0$ <i>Prob.</i> = $\sim 1,07\%$	$j^c = [1,0,1]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 0$ <i>Prob.</i> = $\sim 2,08\%$
$\mathbf{p} = [1, -1, 1, -1]$ $\mathbf{j}_{min} = [0, 1, 0, 1]$ $\mathbf{j}_{max} = [1, 1, 1, 0]$ $e_{min} = 1$ $e_{max} = 2$	$j^c = [1,0,1,0]$ $j^d = [0,0,0,1]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$	$j^c = [1,0,1,0]$ $j^d = [0,0,0,1]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$ <i>Prob.</i> = $\sim 1,07\%$	$j^c = [1,0,1,0]$ $j^d = [0,0,0,1]$ $q = 0$ $C(x, y, z) = 1$ <i>Prob.</i> = $\sim 1,59\%$
$\mathbf{p} = [1, -1, 3]$ $\mathbf{j}_{min} = [1, 1, 0]$ $\mathbf{j}_{max} = [1, 1, 3]$ $e_{min} = 2$ $e_{max} = 3$	$j^c = [1,0,3]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 1$ $C(x, y, z) = 0$	$j^c = [1,0,3]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 1$ $C(x, y, z) = 0$ <i>Prob.</i> = $\sim 1,07\%$	$j^c = [1,0,3]$ $j^d = [0,1,0]$ $q = 1$ $C(x, y, z) = 0$ <i>Prob.</i> = $\sim 0,65\%$

Table 1: Results of our five experiments of the bidirectional EV charging QAOA algorithm.

Overall, the results show, that we have found the optimal solution on both devices for all five experiments. However, we can also see, that the probabilities of finding the optimal solution within the 1024 shots in the last three experiments is very low. Further, only for the first experiment the optimal solution was also the most frequent. The low probabilities in the noiseless QASM Simulator suggests that the settings of the QAOA approach and its optimizer needs to be optimized and that our use case is hard-to-solve due to the global constraints involved.

## 6. Conclusion and Future Work

In this paper we have formulated a QUBO for the optimization problem of bidirectional EV charging. The QUBO was solved with a two-layer QAOA algorithm on a QASM Simulator and on the real device IBMQ Ehningen, where we found the optimal solution for all five experiments.

One of the next steps will be a different implementation of the penalty terms e.g., with dynamic decoupling approaches (Deller et al., 2022). From this we expect to reduce the complexity of the QUBO and to achieve higher probabilities for the optimal solution.

Further, a next step would be the usage of qudits instead of qubits. With this we would not need to convert the integers first into binaries. Also, an implementation of the QUBO and the problem instances in QBench (Müssig, Daniel & Lässig, Jörg, 2022) is planned. This will help us understand better the differences between the noiseless QASM Simulator and the real devices. Further, we could investigate device specific influences. Lastly, it would be also interesting to compare results from the superconducting hardware of IBM to other technologies and architectures like IonQs trapped ions or XANADUs photonics. Nevertheless, a comparison with D-Waves quantum annealer would be also from great interest.

### Acknowledgements

Funded by the European Union under Horizon Europe Programme - Grant Agreement 101080086 – NeQST.

Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

This work was financially supported by the Bundesministerium für Wirtschaft und Energie through the project “EnerQuant” (Project- ID 03EI1025C) and by Thüringer Aufbau-bank through the project “Quantum Hub Thüringen”.

### Literature

- Deller, Y., Schmitt, S., Lewenstein, M., Lenk, S., Federer, M., Jendrzewski, F., Hauke, P., & Kasper, V. (2022). Quantum approximate optimization algorithm for qudit systems with long-range interactions. *ArXiv:2204.00340 [Cond-Mat, Physics:Quant-Ph]*. <http://arxiv.org/abs/2204.00340>
- Federer, M., Müssig, D., Klaiber, S., Lässig, J., Bretschneider, P., & Lenk, S. (2022). Application benchmark for quantum optimization on electromobility use case. *2022 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/VPPC55846.2022.10003292>
- Federer, M., Müssig, D., Lenk, S., & Lässig, J. (2022). *Real-world application benchmark for QAOA algorithm for an electromobility use case*. Gesellschaft für Informatik, Bonn. [https://doi.org/10.18420/inf2022\\_97](https://doi.org/10.18420/inf2022_97)
- McClean, J. R., Romero, J., Babbush, R., & Aspuru-Guzik, A. (2016). The theory of variational hybrid quantum-classical algorithms. *New Journal of Physics*, *18*(2), 023023. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/18/2/023023>
- Moll, N., Barkoutsos, P., Bishop, L. S., Chow, J. M., Cross, A., Egger, D. J., Filipp, S., Fuhrer, A., Gambetta, J. M., Ganzhorn, M., Kandala, A., Mezzacapo, A., Müller, P., Riess, W., Salis, G., Smolin, J., Tavernelli, I., & Temme, K. (2018). Quantum optimization using variational algorithms on near-term quantum devices. *Quantum Science and Technology*, *3*(3), 030503. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/aab822>
- Müssig, Daniel, & Lässig, Jörg. (2022). *Quantum Computer and Quantum Algorithm Benchmarking*. [https://doi.org/10.18420/INF2022\\_100](https://doi.org/10.18420/INF2022_100)

- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information* (10th anniversary ed). Cambridge University Press.
- Schuld, M., & Petruccione, F. (2018). *Supervised Learning with Quantum Computers*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96424-9>
- Streif, M., Yarkoni, S., Skolik, A., Neukart, F., & Leib, M. (2020). *Beating classical heuristics for the binary paint shop problem with the quantum approximate optimization algorithm*. <https://arxiv.org/pdf/2011.03403>
- Weidenfeller, J., Valor, L. C., Gacon, J., Tornow, C., Bello, L., Woerner, S., & Egger, D. J. (2022). Scaling of the quantum approximate optimization algorithm on superconducting qubit based hardware. *ArXiv:2202.03459 [Quant-Ph]*. <http://arxiv.org/abs/2202.03459>
- Zhou, L., Wang, S.-T., Choi, S., Pichler, H., & Lukin, M. D. (2020). Quantum Approximate Optimization Algorithm: Performance, Mechanism, and Implementation on Near-Term Devices. *Physical Review X*, *10*(2), 021067. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.10.021067>

# Automatisierte Erkennung von Buganfragen im Kundensupport des Bankwesens

Annie Simon, Martin Prause, Michael Kästl, Enzo Posselt, Matthias Vodel, Manuel Heinzig, Matthias Baumgart, Christian Kastner, Christian Roschke, Marc Ritter

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften  
Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

## Abstract

Aktuell werden bereits rund 30 Prozent einer großen Menge an Supportanfragen innerhalb der Sparkassen-App automatisiert verarbeitet, um einerseits den menschlichen Support-Mitarbeiter zu entlasten und um andererseits dem Kunden unabhängig von Auslastung und Tageszeit schnellstmöglich eine Lösung für sein Problem zu liefern. Das vorliegende Paper untersucht dabei eine Möglichkeit, speziell die für Entwickler wichtigen Anfragen zu Bugs und Missverhalten der App ansich herauszufiltern. Hierfür findet ein maschinelles Lernverfahren auf Basis eines Random Forests Anwendung. Die Trainingsdaten werden zuvor durch synthetische Generierung aufgewertet und auf Grundlage einer Poisson-Verteilung zeitlich an reale Gegebenheiten angenähert. Das entstandene Verfahren liefert eine hohe Präzision bei der gewünschten Klassifikation, die Sensitivität des Ansatzes lässt jedoch noch wesentlichen Spielraum für zukünftige Optimierungen.

## 1. Einleitung

Aktuell bestehen für Dialogsysteme und Agenten, nicht zuletzt auf Grund der Entwicklungen im Bereich des maschinellen Lernens (ML) sowie des Natural Language Processings (NLP), stark wachsende Möglichkeiten im Bereich der Forschung und wirtschaftsnahen Anwendung. Dieses Forschungsfeld wurde über drei Semester hinweg wissenschaftlich im Rahmen des Lehrkonzeptes *Digital Skills and Products* (Ritter et al. 2019) an der Hochschule Mittweida bearbeitet. Der dabei entstandene Prototyp soll durch die Kombination eines Machine Learning-Modells mit einem Wahrscheinlichkeitsmodell auf Basis der Poisson-Verteilung die automatisierte Detektion von Kundenanfragen mit Bezug zu Softwarefehlern (engl. Bugs) ermöglichen.

Eine Veröffentlichung der Firma *Star Finanz* im August 2022 (Krukemeyer, 2022), zeigt die Ausgangslage des Systems auf. Aktuell können etwa 30% aller Kundenanfragen automatisiert beantwortet werden. Dabei handelt es sich inhaltlich um simple, in der Formulierung klar standardisierte Anliegen wie das Zurücksetzen des Passworts oder vergessener Daten zum Onlinebanking. Bei der Erkennung von entwicklungstechnisch wertvollen Bug-Supportanfragen gibt es noch klaren Spielraum nach oben. Als simple Herangehensweise wird das "Bayes Theorem" angewandt, um die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von Schlüsselwörtern abzuschätzen. Jedoch schwindet die Nutzbarkeit bei einer mangelnden Anzahl von sich wiederholenden Bug-Supportanfragen, ähnlich zu den Erkenntnissen von (Giger et al., 2012). Das Verfahren ermittelt nahezu keine falsch-positiven Treffer (Jalbert und Weimer, 2008), hat aber in Summe keine hinreichende Zuverlässigkeit.



Die Nutzung der von Giger verwendeten Technisch einer in Reihe geschalteten Machine Learning Algorithmusfolge findet sich aber auch in anderen informatischen Anwendungen wieder und bildet daher die Grundidee für unsere Systemarchitektur.

## 2. Methodik

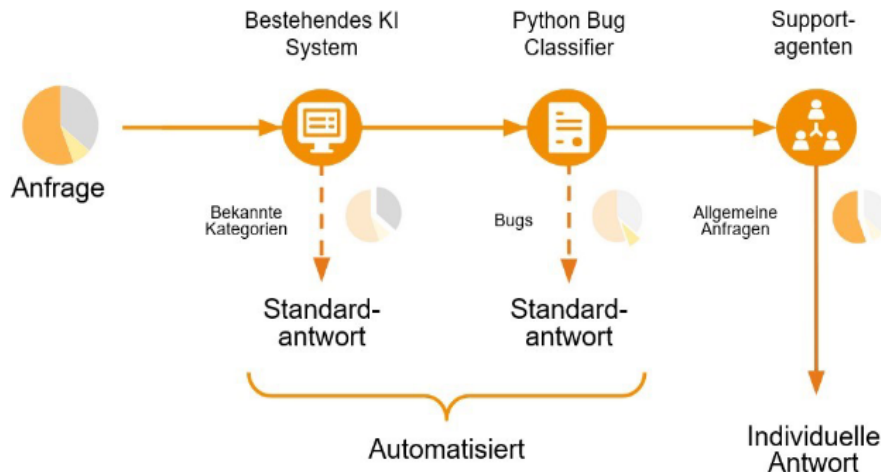


Abbildung 1: Eingliederung des Python Bug Classifiers ins Bestandssystem der Fingentia AG

Grundlage für alle Analysen ist ein Datensatz mit ca. 44.000 anonymisierten Supportanfragen. Diese enthalten neben dem Anfragetext auch Metainformationen wie Einsenddatum und eine intellektuell erstellte Kategorisierung. Der komplette Ablauf der damit stattfindenden Klassifikation ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

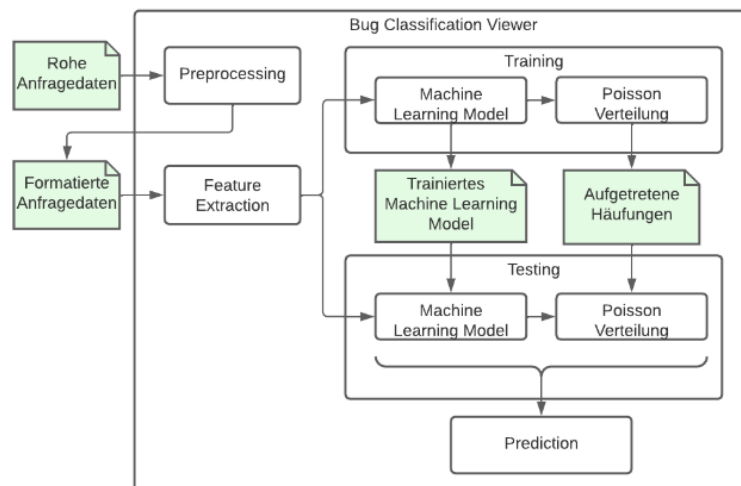


Abbildung 2: Ablauf einer Klassifikation im selbst erstellten Tool „Bug Classification Viewer“

Nach dem Preprocessing (Reduktion auf 28.000 Anfragen) findet die für ML-Prozesse übliche Feature Extraction (hier basierend auf Vorkommenshäufigkeiten mittels Tf-Idf-Vectorizer) statt. Dieser weist jedem in den Anfragetexten vorkommenden Wort eine Relevanz zu, welche später als Feature dient (Beispiel in Abb. 3). Das ML-Model lernt dabei verschiedene Muster in den Kombinationen der Wörter zur späteren Verwendung als Klassifikationsgrundlage.

	Fehler	haben	Tag	ich	Grüße	Pdf	...
Anfrage 1	0,49	0,13	0	0,2	0	0,53	
Anfrage 2	0	0	0,25	0,4	0,19	0	

Abbildung 3: Beispiele für analysierte Anfragen auf Grundlage der vorverarbeiteten Daten

Da in den Ausgangsdaten nur verhältnismäßig wenige echte bugbezogene Anfragen vorhanden sind, wurde ein Algorithmus zur Erstellung syntetischer Anfragen entwickelt, um eine ausführlichere Grundlage für das Training zu schaffen (Beispiele in Abb. 3)

Template	Ich erhalte seit dem letzten Update die Meldung dass ein Fehler in der Datenbank wäre, ich solle die App deinstallieren.
Synthetische Anfrage #1	Guten Tag! Ich erhalte seit dem letztem Aktualisierung die Meldung dass ein Defekt in der Datenlager wäre, ich solle die App deinstallieren. Viele Grüße.
Synthetische Anfrage #2	Hallo Starfinanz-Team, Ich bekomme seit dem gestrigen Aktualisierung die Nachricht dass ein Unbrauchbar in der Datenbank wäre, ich solle die App neu installieren. Vielen Dank!

Abbildung 3: Beispiele für analysierte Anfragen auf Grundlage der vorverarbeiteten Daten

Auf diese Weise wurde die Kategorie „Bug“ um 1.000 Anfragen (28%) vergrößert. Neben dem inhaltlichen Aspekt kann hierbei auch der zeitliche beliebig simuliert werden. Dafür variieren wir den Anfragezeitraum künstlich nach dem Schema einer Poisson-Verteilung mit einem Schwerpunkt auf dem Mittag und dem Nachmittag eines Tages. Die Kombination von Inhalt und Zeitlinie klassifiziert eine Anfrage als „Bug-related“.

Für das Machine Learning Modell wurde der Random-Forest-Klassifikator genutzt. Beim Testen folgen die Daten den Verzweigungen der Bäume bis zu einem Ergebnis. Um die Klassifikation realitätsnaher zu gestalten, wird der Datensatz außerdem in Trainings- und Testdaten unterteilt. Die Klassifikationsergebnisse sind in Abbildung 4 zu sehen.

Aufteilung (Test, Train)	Accuracy	Precision	Recall
50% / 50%	0,871	0,333	0,001
33% / 67%	0,872	0,667	0,001
25% / 75%	0,865	0,125	0,001
20% / 80%	0,854	0,400	0,001

Abbildung 4: Ergebnisse mehrerer Kreuzvalidierungen mit verschiedenen Train-/Test-Aufteilungen

Zur vereinfachten Nutzung aller Prozesse entstand ein Programm mit dem Namen „Bug Classification Viewer“. Es bietet dem nachbereitenden oder forschenden Wissenslogiker bei der Arbeit mit den Daten die Möglichkeit, Training, Tests und Auswertung via grafischem Interface vorzunehmen.

### 3. Technische Evaluation

Um das Klassifizierungsverfahren zu testen, wurde mit einer Gruppe von Probanden eine Evaluation durchgeführt. Hierbei wurde der, für das Projekt entwickelte, Bug Classification Viewer (kurz BCV) benutzt, um den Probanden einen Einblick in den Algorithmus zu geben. Auch wenn die Probanden, nicht alle der Gruppe der Wissenslogiker

zuzuordnen waren, ist das Feedback ähnlicher Zielgruppen für die Weiterentwicklung wichtig. Die ersten Iterationen des algorithmischen Ablaufs bestanden aus drei unterschiedlichen Schritten zur Klassifikation. Durch kontinuierliches, internes Testen der erzielten Ergebnisse wurde das Verfahren stetig verbessert. Die letzte Iteration konnte dadurch eine Treffergenauigkeit von bis zu 86,5% auf den Testdaten erreichen.

Ein Teil der Evaluation betrachtete auch die User-Experience des Classification Viewers. Eine Umfrage mit dem webbasierten Tool *AttrakDiff* ergab, dass das evaluierte Design des Werkzeugs funktional praktisch gut nutzbar, aber optisch noch zu technisch ist.

#### 4. Zusammenfassung

Die in dieser Arbeit vorgestellte Bugarbeitungssoftware besitzt die Fähigkeit, Bug-Supportanfragen von allgemeinen Anfragen mit einer hinreichenden Güte zu trennen. Das Machine Learning Modell trifft mit einer oberen Wahrscheinlichkeit von 86,5% die gewünschte Entscheidung. Der mit synthetischen Anfragen erweiterte Trainingsdatensatz hatte zwar den erhofften positiven Effekt, eine eindeutige Erkennung aller realen Anfragen mit Bezug zu Softwarefehlern ist jedoch noch nicht möglich. Eine Supportanfrage wird nur als Bug-Supportanfrage erkannt, wenn der in ihr enthaltene Anfragetext, als auch die Poisson-Verteilung dies bestätigen.

Das Programm eignet sich demnach zur groben Trennung des Datensatzes. Es filtert die sicheren Bug-Supportanfragen heraus, deren inhaltliche und zeitliche Struktur in den Trainingsdaten erfasst wurde. Jedoch muss ein Wissenslogistiker in der Praxis die Anfragen mit unbekannter Struktur und daher unsicherer Klassifikation weiterhin intellektuell und damit ressourcenaufwändig sichten und kategorisieren.

#### Quellen

- Giger, E., D'Ambros, M., Pinzger, M. & Gall, H. C. (2012). Method-level bug prediction. *In Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement*, Seite 171-180
- Google Cloud. Natural Language AI. <https://cloud.google.com/natural-language>
- Heaven, W. D. (31.5.2021). Diese KI lernt, indem sie sich selbst neuen Herausforderungen stellt, <https://www.heise.de/hintergrund/Diese-KI-lernt-indem-sie-sich-selbst-neuen-Herausforderungen-stellt-6056123.html>
- Heesen, L., Irnich, U., Knoop, J., Dannenberg, N., Döring, S., Prohaska, E. & Orłowski, C. (2022). Künstliche Intelligenz (KI) als Motor für die Transformation im Kundenservice, *Künstliche Intelligenz erfolgreich umsetzen*, S. 181-204
- Jalbert, N. & Weimer, W. (2008). Automated Duplicate Detection for Bug Tracking Systems, *In Proceedings of the International Conference on Dependable Systems & Networks*, Seite 52-61
- Krukemeyer, O. (2022). Algorithmen im Kundenservice: Wie trainiert man eine KI? Fallstudie 'App Sparkasse', <https://www.it-finanzmagazin.de/algorithmus-im-kundenservice-wie-trainiert-man-eine-ki-fallstudie-spar-kasse-app-144325/>
- Natthakul, P., Hideaki, H. & Ken-ichi, M. (2013). Classifying Bug Reports to Bugs and Other Requests Using Topic Modeling, *In Proceedings of the 20th Asia Pacific Software Engineering Conference*, Seite 125-135
- Ritter, M., Roschke, C. & Tolkmit, V. (2019). Finanzmars im Kosmos von Blended Learning. *Beiträge des CARF Luzern 2019*, pages 327-344
- Sinaris, K. (21. Juli 2016). Natural Language API: Google liest auch zwischen den Zeilen, <https://entwickler.de/api/natural-language-api-google-liest-auch-zwischen-den-zeilen>
- User Interface Design GmbH (1998). *AttrakDiff*, <https://www.attrakdiff.de/>

# Eine explorative Studie zur Gesundheitsbewertung und -tracking mit multimodaler Sensorik

Michelle Becher, Anna Friedrich, Xavier Welscher, Serena Clausnitzer, Ronja Hubert, Laura Leske, Paula Beger, Catriona Rendtel, Benjamin Hoffmann, Manuel Heinzig, Anke Schmidt, Kristina Andrä, Christian Roschke, Marc Ritter

Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften  
Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

## Abstract

Besonders im Bereich E-Health trägt die technische Entwicklung zur schnelleren Erkennung von Problemen bei und eröffnet neue digitale Therapiemöglichkeiten (Chen & Yang, 2020). Im Rahmen des Lehrformats "Digital Skills and Products" (Ritter et al., 2019) wurde ein entsprechendes Projekt an der Hochschule Mittweida über drei Semester umgesetzt. Das Ziel bestand in der Entwicklung einer iOS-Applikation, die Informationen zur Körperhaltung eines Menschen erfasst und zu Kontroll- und Verbesserungszwecken verständlich visualisiert. Das entstandene Analyseframework *xPose* extrahiert dazu Skelettdaten aus Bildern und fusioniert sie mit weiteren Vitaldaten. Vor der eigentlichen Evaluation fand ein Vortest statt, um die Wirksamkeit aller beteiligten Geräte zu überprüfen. Anschließend befasste sich eine erste Evaluation mit der Einschätzung des User Interface mittels AttrakDiff. Eine zweite Evaluation diente zur Prüfung der Genauigkeit der automatisch gemessenen Daten im Vergleich mit manuellen Messungen. Die Ergebnisse zeigen, dass die zum Training eingesetzte provibes-Schwingungsplattform tendenziell entspannend wirkt, eine Normalisierung der Gelenkbeweglichkeit erfolgt und die professionell erhobenen Messwerte anteilig mit den semi-automatisierten Messungen von Apples ARKit vergleichbar sind.

## 1. Einleitung

E-Health-Anwendungen können Ärzte, Therapeuten und Pflegepersonal bei der Behandlung unterstützen und Patienten und Sportlern bei der Linderung ihrer Beschwerden helfen (Ara et al., 2021). Die Grundidee unseres Experiments ist die Erkennung von Skelettdaten aus Einzelbildern, um den Zustand von Personen semi-automatisiert einzuschätzen und mit Self-Assessments vor und nach einer Behandlung abzugleichen. Als Use Case dient die Schwingungsplattform *provibes*, die mit einer spiraldynamischen Links-Rechts-Alpha-Wechselschwingung die vertikalen Kräfte auf den Körper verstärkt. Dadurch sollen sich Gelenke lockern und Körperachsen neu ausgerichtet werden (provibes.de, 2023). Es ergibt sich die Forschungsfrage, ob derartige Änderungen der Körperhaltung und Vitaldaten per Applikation am Beispiel des Use Case nachweisbar sind.

## 2. Related Work

Eine Schwingungsplattform kann aufgrund der gleichmäßigen Rotation stimulierend auf die Muskelfasern (DadeMatthews et al., 2022) wirken und kann daher potentiell für Regenerations- und Stabilisierungsübungen genutzt werden. Weiterhin zeigen verschiede-

dene Publikationen die wirksame Verwendung von Apples *ARKit* für die automatische Körpererfassung bei täglichen Trainingsübungen (Reimer et al., 2021). Die Erkennung des Bewegungsumfangs betroffener Gelenke verbleibt jedoch ungenau, was folglich zu einer unausgereiften Erkennung der Körperpose führt (Ara et al., 2021, Liu et al., 2022). Als Referenz für die Grundidee dient dabei eine Publikation, in der der sogenannte *FitMirror* unter Nutzung von AI testet, wie sich die Stimmung der Nutzer durch körperliche Übungen verändert (Besserer et al., 2016).

Auf technischer Seite fand eine *Apple Watch 7* Einsatz, um Puls, Blutsauerstoff, Elektrokardiogramm (EKG) und Herzfrequenzvariabilität (HFV) zu messen. Validität und Verlässlichkeit des Herzratensensors sind bei leichten Aktivitäten wie z.B. Wandern sehr genau, sinkt aber bei steigender Intensität. Dies stellt kein Problem dar, da alle geplanten Experimente den mittleren Aktivitätsbereich ansprechen (Khushhal et al., 2021). Weiterhin wurde das *Muse S Headband* genutzt, um Gehirnströme, Konzentration, Schlaf und Fokus aufzuzeichnen (Muse, 2022). Den Blutdruck ermittelte ein *Withings BPM Connect* Messgerät (Withings, 2022) mit iPhone-Konnektivität.

### 3. Workflow zur Datenerfassung und -bewertung

Eine vorexperimentelle Untersuchung diente dem Test der Möglichkeiten der Schwingungsplattform und der darauf basierenden Entwicklung eines Trainings, das durch die Features der iPhone-Applikation komplementiert wird.

#### 3.1. Vorexperimentelle Untersuchung

Ein Experiment mit neun Probanden an drei Terminen in einem Zeitraum von drei Wochen sollte die Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Hardware zeigen. Menschen in osteosynthetischer Versorgung und mit Gelenkeinschränkungen, frischen Traumata sowie Thrombosen und knöchernen Veränderungen wurden aufgrund nicht klar einschätzbarer Risiken von der Teilnahme ausgeschlossen.

Eine ca. 35 Minuten dauernde Experimentalsession startet jeweils in Phase 1 mit Vitaldatenmessungen, Körpergrößenerfassung und einer Selbsteinschätzung des mentalen Zustands. In Phase 2 steht der Proband zehn Minuten aufrecht auf der mit acht Hertz Frequenz im Spiraldynamischen Links-Rechts-Alpha-Wechselschwingungsmodus betriebenen Plattform.

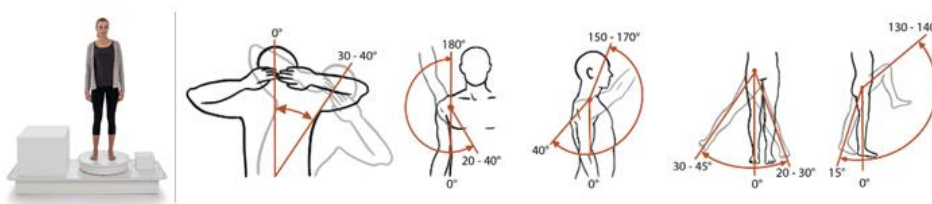


Abbildung 1: Person auf der Schwingungsplattform (links, Bildquelle [www.provibes.de](http://www.provibes.de)) und Darstellung der Bewegungswinkelmaße ausgewählter Körperposen (rechts)

Die anschließende Phase 3 besteht aus einer fünfminütigen Pause, in der eine Herzmeditation mit dem *Muse S Band* stattfindet. Das Experiment schließen zehn weitere Minuten auf der Plattform sowie eine Wiederholung der Messungen und Selbsteinschätzung ab. Vor der ersten und nach der letzten Nutzung der Schwingungsplattform werden von jedem Probanden die Bewegungsausmaße festgelegter Körperposen manuell mittels eines Winkelmessers (vgl. Abb. 3) vermessen.

Die Messungen der Vitalwerte und der Körpergröße erfolgten vor und nach jeder Nutzung der Schwingungsplattform. Mithilfe der *Apple Watch* und des *Withings BPM Connect* wurden Puls, Sauerstoffgehalt im Blut, Herzfrequenzvariabilität und der Blutdruck gemessen und ein EKG erstellt. Zusätzlich erfolgte in Phase 1 vor und nach jeder Nutzung der Schwingungsplattform eine Selbsteinschätzung von Stress, Stimmung und Schmerzempfinden auf einer Skala von 0 bis 100.

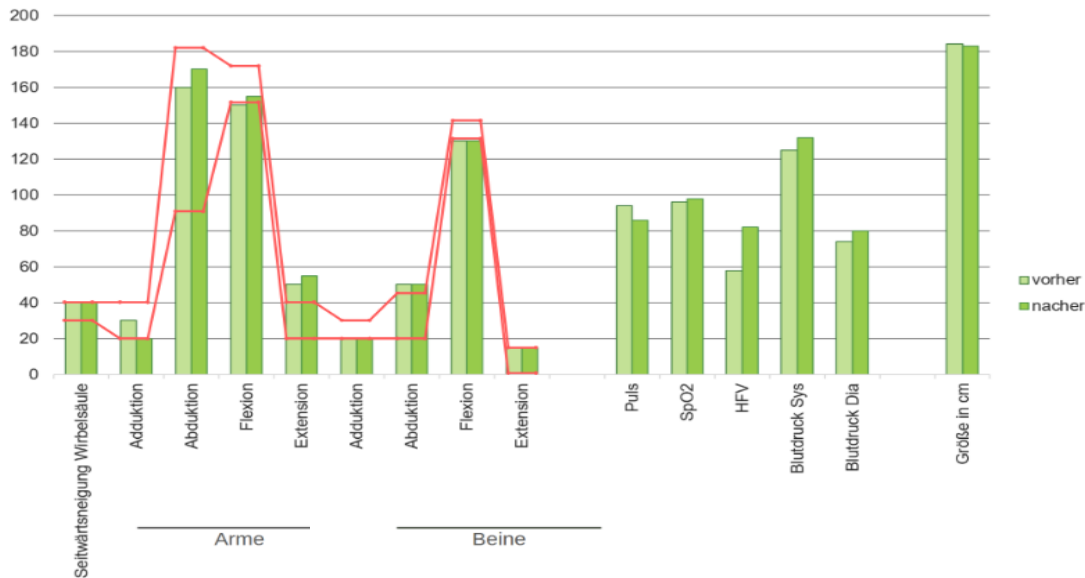


Abbildung 3: Ergebnisse der Messungen der vorexperimentellen Untersuchung

### 3.2. Systemarchitektur und Implementierung

Um eine komplette Messung durchzuführen, müssen folgende drei Schritte ausgeführt werden: Zuerst muss der Benutzer Werte, die das Herz-Kreislauf-System betreffen, in der auf iOS-Geräten vorinstallierten *Health*-App messen. Danach können Schmerz, Stimmung und Stress subjektiv mit verschiedenen Slidern in einem Formular eingetragen werden. Zuletzt werden Ausgangs- und Vergleichshaltung mittels eines Kamerabildes erfasst. Alle Messungen werden lokal mittels SQLite in einer Datenbank gespeichert. Eine komplette Messung setzt sich aus den Resultaten der drei Teilmessungen für Haltung, Blut-Kreislauf und persönliche Einschätzung von Stimmung, Schmerz und Stress zusammen. Dabei werden Herz-Kreislauf-Daten mittels Query aus der *Health*-App in die lokale Datenbank eingelesen. Subjektive Daten, ebenso wie die errechneten Winkel, stehen als einfache Zahlenwerte in der Datenbank.

### 4. Evaluationen

Die Qualität der entstandenen Applikation und des durchgeführten Experimentalablaufs wurde in zwei Evaluationen mit verschiedenen Schwerpunkten überprüft.

Die erste Evaluation (12 Testpersonen) unterteilte sich in folgende Schritte: 1. Funktionstest der Applikation analog zum Vorexperiment. 2. Bewertung der Benutzerfreundlichkeit der xPose-Applikation mittels des Online-Fragebogens *AttrakDiff*. Aus den Ergebnissen lässt sich konstatieren, dass die Applikation bereits wünschenswert stark handlungsorientiert (pragmatische Qualität) ist, die hedonische Qualität allerdings noch verbessert werden könnte (Abb. 4).

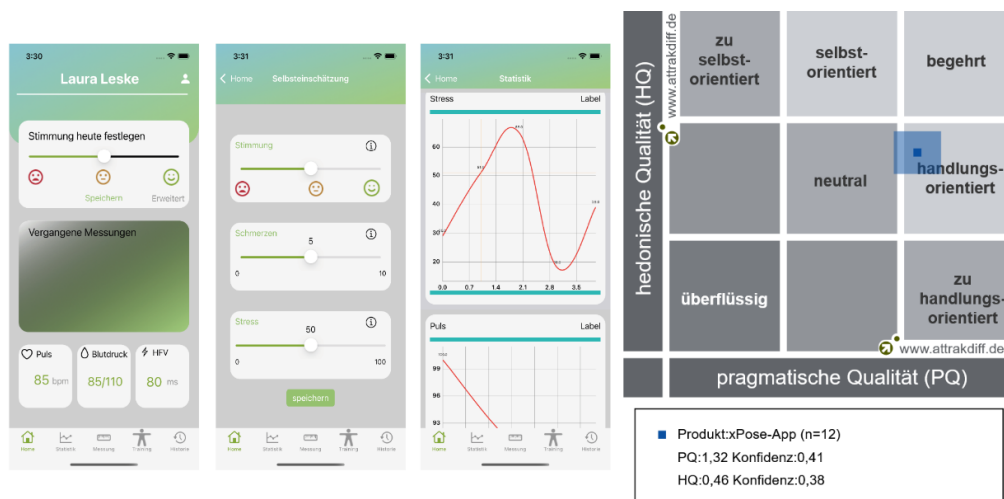


Abbildung 4: Bilder der Applikation (links) und die AttrakDiff-Bewertung zur User Experience (rechts)

Das Ziel der zweiten Evaluation bestand darin, die manuell gemessenen Winkelwerte einer Physiotherapeutin mit denen von ungeschultem Personal und den Messungen der Applikation zu vergleichen. Nach einer initialen Erfassung nutzten die Testpersonen die Plattform für vier Minuten und wiederholten die Messung. In der Auswertung war festzustellen, dass die Daten der Applikation teilweise vergleichbar mit denen eines Physiotherapeuten sind, jedoch bei Winkel über 180 Grad fehleranfällig ist.

## 5. Fazit

Die Selbsteinschätzung der Körperhaltung der Probanden in Zusammenhang mit der Aufnahme der Vitaldaten mittels der Applikation lässt einen positiven Effekt der *provibes* Schwingungsplattform erkennen. Die Ergebnisse wichen dabei zum Teil von den manuell gemessenen Werten ab, korrelierende Tendenzen waren jedoch ableitbar. Nach der Nutzung der Schwingungsplattform ließen sich generell normalisierte Gelenkbewegungen der Probanden erkennen, was eine entspannende Wirkung nahelegt. Weiterhin sei die Firma Gesundheitsversand Andreas Heine GmbH für die Teststellung der Schwingungsplattform bedankt.

## Literatur

- Ara J., Bhuiyan H., Bhyan, S. B. & Bhuiyan, M. I. (2021). *AR-based Modern Healthcare: A Review*. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2101/2101.06364.pdf>, 7-9
- Besserer, D. et al. (2016). FitMirror: A Smart Mirror For Positive Affect in Everyday User Morning Routines, In *Proc. of the Workshop on Multimodal Analyses Enabling Artificial Agents in Human-Machine Interaction*, 48–55
- Chen, S. & Yanger, R. (2020). Correcting Exercise Posture using Pose Estimation, *arXiv:2006.11718 [cs.CV]*
- DadeMatthews, O. O et al. (2022). Systematic review and meta-analyses on the effects of whole-body vibration on bone health, In *Complementary Therapies in Medicine*, Vol. 65
- Khushhal, A. et al. (2017). Validity and Reliability of the Apple Watch for Measuring Heart Rate During Exercise, In *Sports Medicine International Open 2017*, 38(14): 1132-1132
- Reimer, L. M., Weigel, S., Ehrenstorfer, F. & Adikari, M. (2021). Mobile Motion Tracking for Disease Prevention and Rehabilitation Using Apple ARKit. In *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol. 29
- Ritter, M. et al. (2019). Finanzmars im Kosmos von Blended Learning. *Beiträge des CARF Luzern 2019*, 327–344.
- Gesundheitsversand Andreas Heine GmbH. *provibes. Die Schwingungsplattform für Ihren Haltungsapparat*. <https://www.provibes.de/>, abgerufen am 28.1.2023
- Muse Technologies. *Muse Headband*. <https://choosemuse.com/>, abgerufen am 04.10.2022
- Withings. *Withings Blutdruckmessgerät*. <https://www.withings.com/de/de/bpm-connect>, abgerufen am 10.11.2022

# Entwicklung und Evaluation eines gamifizierten Aufgabenmanagementsystem-Designs zur nachhaltigen Steigerung der Mitarbeiterproduktivität und -leistung

Roksolana Pleshkanovska

Harz University of Applied Sciences, Friedrichstraße 57-59

## Einführung

In diesem Paper werden praxisnahe Empfehlungen für Führungskräfte und Mitarbeiter herausgearbeitet, mit deren Hilfe die Mitarbeiterproduktivität und -leistung im produzierenden Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor nachhaltig gesteigert und das Aufgabenmanagement in heutigen digitalisierten Organisationen unterstützt werden kann, ohne dabei Personal einzusparen oder Mitarbeiterbedürfnisse zu vernachlässigen. Auf der Basis dieser Empfehlungen soll ein gamifiziertes Aufgabenmanagementsystem entworfen und evaluiert werden, welches die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter nachhaltig steigern können soll. Um Faktoren, welche die Produktivität und Leistung von Arbeitnehmern beeinflussen, näher zu untersuchen, wurden Forschungsfragen formuliert: Inwieweit können erfolgversprechende Motivations-, IKT- und Gamification-basierte Konzepte im digitalen Informationszeitalter die Produktivität und Leistung der Beschäftigten im Produktions- und Dienstleistungssektor steigern? Inwieweit kann ein gamifiziertes Aufgabenmanagementsystem, welches auf IKT, digital unterstützten Motivationskonzepten und Gamification basiert, die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter erhöhen?

Innovative Produktivitätsmaßnahmen, welche sich auf digitale Kommunikations- und Informationstechnologien stützen, erweisen sich schließlich als vorteilhaft, denn es ist beispielsweise bekannt, dass immer mehr Unternehmen heutzutage mit mangelnder Produktivität und geringer Leistung ihrer Mitarbeiter zu kämpfen haben und erfolgreich implementierte Produktivitätsanstrengungen entscheidend sind für die Verbesserung der Gewinnspannen der Unternehmen. Das Paper beabsichtigt eine solide Grundlage zu schaffen für die Konzeption und systematische Gestaltung zukunftsorientierter betrieblicher Produktivitätskonzepte auf der Basis von IKT-Technologien sowie Motivations- und Gamification-Ansätzen. Das Paper leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Gestaltung moderner Arbeitsplätze mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien. Schließlich steht und fällt alles damit, ob und in welchem Ausmaß zukunftsorientierte Unternehmen aus dem Produktions- und Dienstleistungssektor es langfristig schaffen, von innovativen IKT-Technologien zu profitieren, welche sich besonders dafür eignen, die Arbeitsmotivation und das -engagement der Arbeitnehmer positiv zu beeinflussen, indem diese auf spielerisch-ausgerichtete Arbeitskonzepte und -methoden für die Beschäftigten setzen. Denn der „magische Kreis“ von Spielen wirkt sich positiv auf das Gefühl der Immersion und der Freude der Spieler aus. Heute, im digitalen Zeitalter und vor dem Hintergrund der Digitalisierung und Industrie 4.0, können Spieler jedoch nicht mehr als „innerhalb“ bzw. „außerhalb“ eines „magischen Kreises“



stehend betrachtet werden; vielmehr bewegen sie sich fließend zwischen ihrem „Arbeitsleben“, dem „Alltag“ und der „Spielwelt“. Unternehmen können von der fortschreitenden Ludifizierung der Kultur und den spielerischen Tendenzen in der Gesellschaft nur profitieren.

### **Empfehlungen für Führungskräfte zur Inspiration anderer zu mehr Produktivität**

Mit zukunftsorientierten, ganzheitlichen und ausgereiften IKT-, digital gestützten Motivations- und Gamification-Konzepten können die Führungskräfte in der virtuellen Welt einige der dringendsten Probleme der realen Welt angehen, da die virtuelle Welt es ermöglicht, wertvolles Wissen und Erkenntnisse aus einer Fülle von Daten zu gewinnen, die in den heutigen digitalisierten Organisationen und Arbeitskontexten generiert werden (für weitere Informationen über die Nutzung digitaler Technologien zur Generierung an Wissen und Schaffung an Werten in digitalisierten Volkswirtschaften siehe z. B. North / Maier et al. 2018). Schauen wir uns konkrete Empfehlungen an, welche für Führungskräfte ausgesprochen werden können. Führungskräften kann geraten werden, die Art an Motivation ihrer Mitarbeiter zu fördern, die ihrer moralischen Motivation am nächsten kommt (Rosati 2016). Führungskräfte sollten im Rahmen des Aufgabenmanagements entscheiden, welche Aufgaben, die ihre Mitarbeiter zu bearbeiten haben, in das Aufgabenmanagementsystem eingegeben werden sollen, wobei der Schwerpunkt auf der Einbeziehung intrinsisch motivierender Aufgaben liegen sollte. Führungskräfte sollten ein unmittelbares Feedback zu den durchgeführten Aufgaben an die Mitarbeiter geben. Führungskräfte müssen der Zielgruppe einen eindeutigen Weg zur Bewältigung ihrer Aufgaben vorgeben, indem sie schlanke, leicht zugängliche Wege zu weiteren Erfolgen bieten. Führungskräfte müssen kollaborative als auch wettbewerbsorientierte Aspekte des Aufgabenmanagementsystems ausbalancieren, um die Erfahrung ihrer Mitarbeiter zu verbessern. Weitere Empfehlungen enthalten die Arbeiten von beispielsweise Strohmeier 2013 und Cook 2013.

### **Empfehlungen für Mitarbeiter zur Übernahme von Verantwortung in Bezug auf die Produktivität**

Nicht nur Führungskräfte können die verantwortungsvolle Aufgabe übernehmen, IKT- und Gamification-basierte Produktivitätsinitiativen zur Steigerung der Mitarbeiterproduktivität in Unternehmen einzuführen, auch Mitarbeiter können die Verantwortung für ihre Arbeitsproduktivität übernehmen, indem sie das Design ihres „Arbeitsspiels“ an ihre Bedürfnisse, Arbeitsziele und Erwartungen anpassen, indem sie selbst auferlegte Spielmechanismen implementieren, die ihr Arbeitsverhalten „einschränken“. So können Mitarbeiter das Gefühl einer echten Autonomie am Arbeitsplatz erleben. Dies wiederum führt zur Bildung gewünschter Spieldynamiken, welche in ästhetischen Erfahrungen resultieren, die Mitarbeiter tatsächlich als wünschenswert und wertvoll wahrnehmen (z. B. Bair 2016). Um die langfristige Wirksamkeit von technologiebasierten Produktivitätsinterventionen zu gewährleisten, muss ein Gleichgewicht bestehen zwischen dem, was die Führungskräfte glauben, dass die Mitarbeiter brauchen, um produktiver zu werden („Heteronomie seitens des Unternehmens“), und der Art von ästhetischen Erfahrungen im Arbeitsumfeld, an denen die Mitarbeiter (tatsächlich) interessiert sind („Autonomie seitens der Mitarbeiter“). Heteronomie und Autonomie sollten gleichzeitig in einem gesunden Maß gefördert werden (Engel 1992, S. 91).

## **Erkenntnisse über technologiegestützte Produktivitätsinitiativen und -software**

Führungskräfte müssen technologiebasierte Produktivitätsmaßnahmen gründlich planen, die Technologieziele der Zielgruppe vermitteln und neue Technologien mit organisationsspezifischen Variablen wie Unternehmenskultur integrieren. Technologiebasierte Initiativen sollten systematisch, strategisch durchdacht und nutzerzentriert statt technologiezentriert konzipiert werden, um die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter zu steigern. Nutzerzentrierte IKT- und Gamification-Designs stellen die Bedürfnisse und Präferenzen der Endnutzer in den Mittelpunkt des Systemdesigns, indem sie den Fokus auf die Mitarbeiterbedürfnisse legen (z. B. aus Maslowscher Bedürfnispyramide) und positive Nutzererfahrungen bieten (z. B. durch eine Mischung aus „Zusammenarbeit und Wettbewerb“). Meine empirische Studie hat bestätigt, dass bestimmte Designanforderungen im Kontext von IKT- und Gamification-Designs berücksichtigt werden sollten, um die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter zu steigern: Benutzerfreundlichkeit, Spielbarkeit/Spaß, Mobilität, Lernen, Anpassung an die Benutzergruppe, Einsatz von Belohnungsstrukturen und -plänen anstelle von Bestrafungen und geeignete Gestaltung der Spielelemente. Zudem sollten Führungskräfte als Teil des Spielplans entscheiden, welche Spielmechanik, Dynamik, etc. sie als „Motivationswährungen“ implementieren wollen (Kumar 2013, S. 536). Die falsche Kombination von Spielelementen kann selbst die besten organisatorischen Produktivitätsstrategien und -konzepte unwirksam machen, was Unternehmen wertvolle Ressourcen kostet und zu immensen Produktivitäts- und Leistungseinbußen führt (Schmidt-Kraepelin/ Thiebes et al. (2019)). Laut O'Donnell (2014, S. 31) kann eine unscharfe Unterscheidung zwischen Arbeit und Spiel zu „destruktiven Arbeitspraktiken“ führen. Während die Verwischung der Grenzen Arbeitgebern Möglichkeiten bietet, Mitarbeiter auf neue, ansprechende Weise zu erreichen und ihr Engagement und ihre Bindung an das Unternehmen zu erhöhen, birgt sie auch Gefahren, wenn Arbeitgeber ihre Befugnisse überschreiten und spielerische Aktivitäten dazu nutzen, mehr von den Mitarbeitern zu verlangen, als ursprünglich vereinbart wurde. Innovative und zukunftsweisende IKT- und Gamification-basierte Konzepte und Ansätze zur Steigerung der Produktivität sollten sich daher auf Praktiken der „spielerischen Arbeit“ konzentrieren, die spaßige und lohnende Arbeitserfahrungen bieten, aber die Arbeitnehmer nicht dazu manipulieren, etwas zu tun, was sie nicht tun möchten. In Bezug auf die Gestaltung von Produktivitätssoftware sind folgende Ansätze empfehlenswert: das Softwaredesign muss Spaß machen, indem Gamification-Elemente eingebaut werden, die um ihrer selbst willen Spaß machen; Gamification-Elemente mit einem hohen Spaß- und Interaktionsfaktor zu entwerfen und erst dann die Software mit ihren Zielen um diese Elemente herum aufzubauen; Auswahl an anpassbaren Gamification-Ansätzen, bei denen Gamification-Elemente als optionale Funktionen in das System integriert sind und vom Nutzer je nach Präferenz aktiviert werden. Doch selbst gut gemeinte IKT-, Motivations- und Gamification-Initiativen können schlecht konzipiert sein und Spielmechaniken verwenden, die selten zu einer Spieldynamik führen, die den Spielern wirklich positive ästhetische Erfahrungen garantiert.

## **Erkenntnisse über das Designkonzept eines gamifizierten Aufgabenmanagementsystems**

Ein gamifiziertes Aufgabenmanagementsystem, das auf IKT, digital unterstützten Motivationskonzepten und Gamification-Ansätzen basiert, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter steigern, da zwischen den Variablen

und der Produktivität und Leistung der Mitarbeiter eine überwiegend positive Korrelation, wenn auch keine Kausalität, besteht. Die konkrete Wirkung hängt jedoch von der Berücksichtigung verschiedener Faktoren ab, darunter die Rahmenbedingungen der IKT-Implementierung (z. B. adäquate Infrastruktur), die Rahmenbedingungen für den Aufbau von Mitarbeitermotivation (z. B. Vermeidung des „Motivations-Produktivitäts-Paradoxons“) und die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Gamification am Arbeitsplatz (z. B. Umsetzung eines bedürfnisorientierten Gamification-Designs). Welche weiteren Variablen einen signifikanten Einfluss auf die Produktivität und Leistung der Mitarbeiter im Arbeitskontext haben, müsste in zukünftigen Studien analysiert werden. Die Auswirkungen des Designs eines Aufgabenmanagementsystems auf die Arbeitsergebnisse werden durch die Qualität seiner Implementierung bestimmt. So kann die Diskrepanz zwischen den von den Mitarbeitern erwarteten und den tatsächlich implementierten Systemdesignmerkmalen in Organisationen (künftige) Produktivität und Leistung der Mitarbeiter vorhersagen und den Schulungsbedarf der Mitarbeiter in Bezug auf die Medienkompetenz ermitteln.

### **Literaturverzeichnis**

North, Klaus; Maier, Ronald; Haas, Oliver (2018). Value creation in the digitally enabled knowledge economy. In Knowledge Management in Digital Change (pp. 1-29). Springer, Cham.

Rosati, Connie S. (2016). Moral motivation.

Strohmeier, Robert (2013). News. Gamification: Using play to motivate employees and engage customers. [online] URL: <https://www.pcworld.com/article/2047564/gamification-using-play-to-motivate-employees-and-engage-customers.html> [28.07.2019]

Cook, Whitney (2013). Five Reasons You Can't Ignore Gamification. Published for formerly: [www.CLOmedia.com](http://www.CLOmedia.com), now: Chief Learning Officer Magazine. Chief Learning Officer, 12(5). pp. 46-55.

Bair, Tor (2016). Don't Let Them "Gamify" Your Life. [online] URL: <https://medium.com/the-mission/don-t-let-them-gamify-your-life-91e560f8f6eb> [30.12.2019]

Engel, Antke (1992). Neuerscheinungen: Käte Meyer-Drawe: Illusionen von Autonomie. Diesseits von Ohnmacht und Allmacht des Ich. Die Philosophin, 3(5). pp. 91-94.

Kumar, Janaki (2013). Gamification at Work: Designing Engaging Business Software. In International conference of design, user experience, and usability (pp. 528-537). Springer, Berlin, Heidelberg.

Schmidt-Kraepelin, Manuel; Thiebes, Scott; Sunyaev, Ali (2019). Investigating the Relationship between User Ratings and Gamification – a Review of Mhealth Apps in the Apple App Store and Google Play Store. In 52nd Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 1496-1505). Maui, Hawaii.

O'Donnell, Casey (2014). Developer's Dilemma. The Secret World of Video Game Creators. Cambridge: The MIT Press.

# Industrielle Anwendungen im 5G Living Lab

André Gehrmann<sup>1</sup>, Uwe Heuert<sup>1</sup>, Kevin Saalman<sup>2</sup>, Dominic Seela<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Merseburg, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften, Eberhard-Leibnitz-Str. 2, 06217 Merseburg

<sup>2</sup> exceeding solutions GmbH, Fritz-Haber-Str. 9, 06217 Merseburg

## Abstract

Das 5G Living Lab widmet sich der Umsetzung industrieller 5G-Anwendungen. Es entstand im Kontext des 5G-Förderprojekts POUST und wird aktuell in diesem Rahmen betrieben. Momentan befasst sich das Team um das Living Lab unter anderem mit dem Thema des autonomen Fahrens im 5G-Kontext. Dafür wird eine Miniaturanwendung eines umgebauten Gabelstaplers betrieben. Dieser kann mittels diverser Sensorik (LIDAR, Ultraschall, RGB-Sensor) auf seine äußeren spontanen Einflüsse reagieren. Eine Positionserfassung des Fahrzeugs wird in erster Linie mit einem TDOA-Verfahren realisiert. Im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Hochschule Merseburg wird dieses Projekt von mehreren Masterstudenten unterstützt. Diese Studierenden können Teilgebiete im 5G Living Lab kooperativ mit der Firma exceeding solutions GmbH bearbeiten.

## 1. Das ToE (Gabelstaplermodell)

### 1.1 Datenverarbeitungskonzept

Durch ein Modell können reale Situationen, z.B. in Hochregallagern oder Industrieumgebungen in einer Laborumgebung, erprobt werden. Die gewonnenen Daten des Modells können über die Edge zu Kopfstellen übertragen und dort verarbeitet werden, um Entscheidungen für alle Aktoren innerhalb des Edge-Computing-Netzwerks zu treffen. Es ist von großem Mehrwert eine funkbasierte Vernetzung von Aktoren zu ermöglichen. Die Übertragungsgeschwindigkeit und -rate mithilfe von 5G unterstützt eine hohe bidirektionale Kommunikation zwischen der Edge und einzelnen Aktoren. Somit sind 5G-Campusnetze mittels Segmentierung fast beliebig skalierbar.



Abbildung 1: Autonom fahrender Modellgabelstapler

### 1.2 Aufbau und Umbau

Als Versuchsfahrzeug wird ein Huina 1577 Gabelstapler im Maßstab 1:10 eingesetzt. Dieser wurde mit diversen Sensoren, einem Raspberry Pi 4B (8 GB) und Funkverbindungen für Lokalisierung und Edge-Komm. ausgestattet. Des Weiteren liefern zusätzliche Powerbanks, Step-Up-Converter und ein StromPi V3 Rev 1.1 die notwendige elekt-

rische Energie. Mittels dieser Erweiterungen ist eine autonome Fahrweise nach definierten Bedingungen und Fernsteuerung, z.B. über eine CLI oder Funkfernbedienung, möglich.

## 2. Kopfstelle

### 2.1 Grid-Skalierung

Auf Basis von TDOA und den bekannten Positionen der Funktürme ist es möglich ein Grid von Wegpunkten zu definieren. Dieses wird zwischen den Funktürmen aufgespannt und dient als Referenz für die Fahrwege der autonomen Fahrzeuge. Das Grid basiert auf gleichen Abständen und Wiederholungen der Wegpunkte und ist somit beliebig erweiterbar und anpassbar. Damit diese Anpassung funktionieren kann, wird ein Basisgrid einmalig definiert. Aus diesem können weitere Sekundärgrids definiert werden, um beispielsweise Sperrflächen oder feststehende Hindernisse zu erfassen.

### 2.2 Soll-Ist-Auswertung

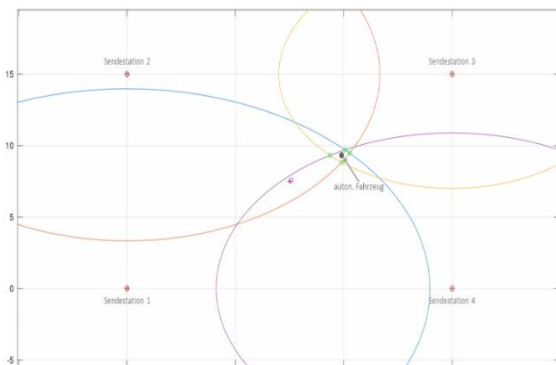


Abbildung 2: Positionsbestimmung des ToE

In realen Umgebungen, z.B. von Industrieanlagen mit Hochregallagern, müssen die Funkwellen durch inhomogene Massen wandern. Teilweise gibt es auch voll verschattete Zonen. Hier bieten bereits vorher gesammelte Informationen eine Basis für vorausberechnete Ereignisse. Somit ist es möglich Soll-Werte kontinuierlich zu berechnen und diese mit den Ist-Werten der Fahrzeugpositionen zu vergleichen. Die maßgebliche Grundlage bilden dabei die

zur Kopfstelle gesendeten Zeitstempel. Um dies mit einer möglichst schnellen Übertragung zu realisieren, wird eine auf 5G-Funkverbindung gesetzt.

### 2.3 Fahrweg

Der aktuelle Positionspunkt und der Zielpunkt im 5G-Funk-Grid bilden die grundlegenden Punkte für die Wegfindung des autonomen Fahrzeuges. Zusätzlich ist es durch einen aktuellen Richtungsvektor möglich, der Kopfstelle einen Überschleifradius (ausgehend vom nächsten Wegpunkt) vorzugeben, welchem das Fahrzeug versucht zu folgen. Durch einen Überschleifradius ist ein Einschwingverhalten auf eine exakte Wegstrecke effektiver umsetzbar als ein „stetiges Pendeln“. Die Eigenschaften, wie Wenderadius oder Geschwindigkeit, sind der Kopfstelle aus den Fahreigenschaften bekannt.

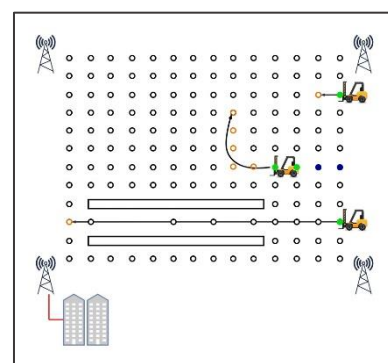


Abbildung 3: Griddefinition und Fahrwege

Im Fahrweg können Bereiche vorkommen, in denen die Funkverbindung zu mindestens einem Funkturm nicht mehr möglich ist. Auf Grundlage von approximierten Fahrwerten kann dafür ein Ausgleich geschaffen werden. Ist ein Fahrzeug aufgrund eines unbekanntes Hindernisses nicht in der Lage sein Ziel zu erreichen und besteht keine aktive

Verbindung zur 5G-Edge, wechselt das Fahrzeug unter bestimmten Bedingungen in den Wegfindungs-Modus bzw. führt eine Orientierung auf Grundlage seiner Sensorik durch.

### 3. Indoor-Funksystem

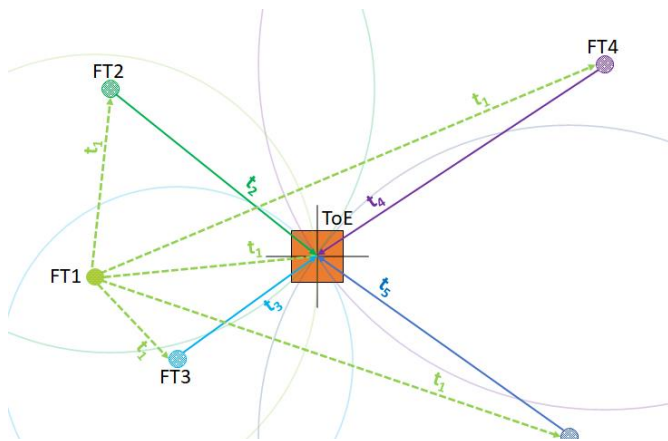


Abbildung 4: Signalstrecken

Die Basis für die Indoor-Lokalisierung eines Objektes bildet hier ein TDOA-Verfahren (Time Difference of Arrival).

Abbildung 4 zeigt dabei einen konzeptionellen Aufbau eines Funknetzes in dem sich ein ToE bewegt. Zur Lokalisierung ist eine Mindestanzahl von 3 Funkturmeinheiten notwendig und je nach Einsatzzweck beliebig erweiterbar.

Abbildung 5 beschreibt den Aufbau zur Bestimmung der Signallaufzeiten, bestehend aus Mastersendeinheit (FT1), Funkturm (FT2) und dem ToE. Das Prinzip besteht im Wesentlichen aus 2 Schritten. Im ersten Schritt (Abb. 6) wird ein Initialimpuls, ausgehend vom Master (FT1), an das ToE gesendet. Das Eintreffen des Signals wird mit einem Zeitstempel ( $TS_{ToE,1}$ ) versehen (B). Infolgedessen sendet das ToE ein Signal an den Master zurück, woraufhin vom Master erneut ein Signal an das ToE gesendet wird. Das zweite Signal erhält ebenfalls einen Zeitstempel ( $TS_{ToE,2}$ ) und bildet den zeitlichen Nullpunkt des Systems. Mit Hilfe der konstanten Rechenzeit des Masters  $t_{FT1,RZ}$  kann die Signallaufzeit vom Master zum Objekt errechnet werden ( $(TS_{ToE,2} - TS_{ToE,1})/2 - t_{RZ,M} = t_{FT1,ToE}$ ). Weiterhin wird das zweite Signal vom ToE an alle weiteren Funktürme gesendet. Dies bildet ihren Initialschritt zum Aussenden ihrer Funksignale, welche an den ToE adressiert sind und von ihm den Zeitstempel erhalten.

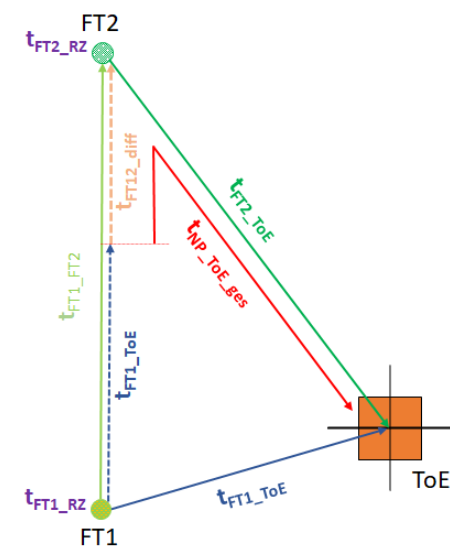


Abbildung 5: Funktionsausschnitt FT1-FT2-ToE

Das zweite Signal erhält ebenfalls einen Zeitstempel ( $TS_{ToE,2}$ ) und bildet den zeitlichen Nullpunkt des Systems. Mit Hilfe der konstanten Rechenzeit des Masters  $t_{FT1,RZ}$  kann die Signallaufzeit vom Master zum Objekt errechnet werden ( $(TS_{ToE,2} - TS_{ToE,1})/2 - t_{RZ,M} = t_{FT1,ToE}$ ). Weiterhin wird das zweite Signal vom ToE an alle weiteren Funktürme gesendet. Dies bildet ihren Initialschritt zum Aussenden ihrer Funksignale, welche an den ToE adressiert sind und von ihm den Zeitstempel erhalten.

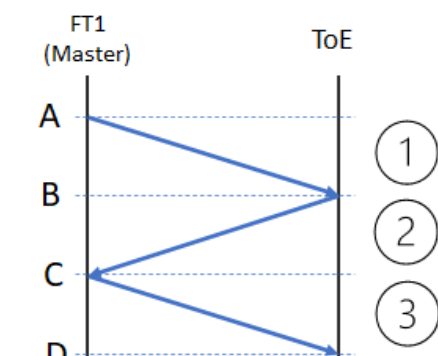


Abbildung 6: Zeitlicher Nullpunkt des Systems

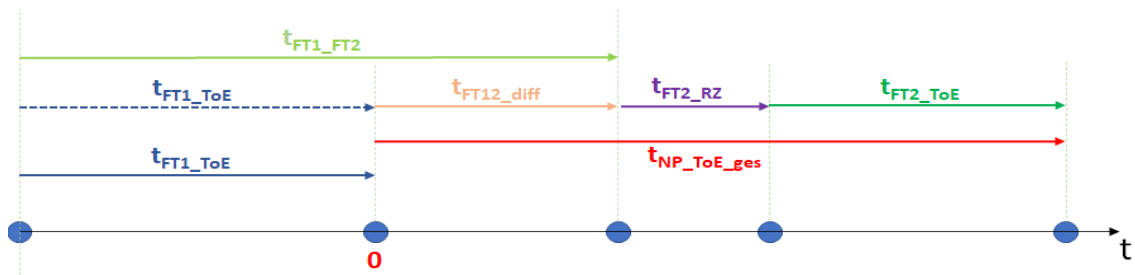


Abbildung 5: Schematische Darstellung der zeitl. Informationskomponenten

Abbildung 7 stellt eine zeitliche und logische Aufreihung der einzelnen Signalkomponenten aus Abbildung 5 dar und steht für den zweiten Schritt der Kommunikationsvariante. Die ausschlaggebende Komponente für einen Ortungsradius um die Funkeinheit FT2 ist hier  $t_{FT2\_ToE}$ . Aufgrund der bekannten Positionen der Funktürme und Schritt 1, lässt sich diese Variable ermitteln. Die letztendliche Lokalisierung wird mittels Kreischnittpunkten erzielt, wobei ein Kreisradius die Signallaufzeit eines Funkturms bedeutet. Zur Positionsbestimmung wird ein kartesisches Koordinatensystem hinterlegt. Die Funkkommunikation der Einheiten basiert auf einem DWM1000 UWB-Transceiver. Das hier gezeigte Prinzip kann auf alle Funkkommunikationsarten angewendet werden.

#### 4. Ausblick

Unter Berücksichtigung verschiedener Aufwände und auch erster Fehlschläge ist es möglich, mittels 5G und TDOA ein Funkgrid aufzubauen, welches für eine exakte Positionsbestimmung mit kleinen Abweichungen nutzbar ist. Dabei ist die Anwendung von 5G-Campusnetzen für unterschiedliche Use-Cases denkbar und realisierbar. Der Laboraufbau mittels UWB und TDOA zeigt Lösungsansätze für die Realisierung. Diese werden später auch mit 5G-PCIe-Karten erprobt.

#### Literatur

- [1] D. Pan, Y. Yu, „Indoor Position System Based in Improved TDOA Algorithm”, IOP Conference, (2019)
- [2] P. Grasso, M. S. Innocente, J. J. Tai, O. Haas, A. M. Dizqah, „Evaluation of 5G Positioning Performance Bases on UTD0A, AoA and Base-Station Selective Exclusion”, MDPI, (2022)

# Virtuelle Rekonstruktion verlorener Orte mit Methoden der Computer Vision

Sebastian Urbanek, Gudrun Görlitz, Matthias Möller

Berliner Hochschule für Technik, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin

## Abstract

Historische Orte sind eng mit der Geschichte verknüpft, die sich einst ebendort abspielte. Oftmals handelt es sich um Gebäude oder Plätze, die zum heutigen Zeitpunkt vollständig oder teilweise nicht mehr vorhanden sind. Materialermüdung, gewollte Zerstörung, Überbauung oder sich veränderte Umweltbedingungen trugen dazu bei, dass geschichtlich bedeutende Gebäude nicht mehr existieren. Immersive Technologien, wie Virtual Reality, haben das Potenzial, verlorene Orte wieder erlebbar zu machen. Das Ziel dieser Arbeit umfasst die Evaluation sowie deren Anwendung von Verfahren hinsichtlich der virtuellen Rekonstruktion. Darüber hinaus wird eruiert, welche Anpassungen und Weiterentwicklungen notwendig sind, um 3D-Modelle aus historischen Aufnahmen nachzubilden und in eine virtuelle Umgebung einzubetten.

## 1. Einleitung

Die Rekonstruktion von nicht mehr existierenden Orten, also verlorenen Orten, für den virtuellen Raum ist ein interdisziplinäres Feld. Es umfasst die Themengebiete der Computergrafik und Computer Vision, weil die Analyse und Interpretation von Bildern und Videos dazu genutzt werden kann, um Geometrien und weitere Farbinformationen aus Bildern oder Videos zu extrahieren. Des Weiteren spielen die Themengebiete Geodäsie und Geografie eine bedeutende Rolle, denn sie tragen dazu bei, die generierten 3D-Modelle an die realen Gegebenheiten anzupassen. So sollen schließlich Gebäude in Größe sowie Lage korrekt dargestellt werden. Zusätzlich gilt es, die erzeugten Modelle in einen geschichtlichen Kontext zu setzen, wodurch der historische Hintergrund gleichermaßen eine gewisse Bedeutung erlangt.

Die Arbeit fokussiert Gebäude, die nach der Bombardierung durch die Alliierten verloren gingen. Gerade die jüngsten Umfragen haben gezeigt, dass insbesondere Jugendliche und junge Erwachsene aus den Niederlanden, wenig bis keine Kenntnisse mehr der Schoa besitzen (Kühn, 2023). Um die Verbrechen der Nationalsozialisten nicht in Vergessenheit geraten zu lassen, hat der Künstler Gunter Demnig bereits 1992 eine Aktion ins Leben gerufen, bei der Stolpersteine an jüdische Leben erinnern sollen (Koordinierungsstelle Stolpersteine Berlin, o. J.). Dieses Forschungsvorhaben wird dazu beitragen, diese Orte in virtueller Form erneut aufleben zu lassen.

## 2. Rekonstruierte Gebäude in der virtuellen Realität

Immersive Technologien, zu denen die Virtual Reality (VR) oder auch die Augmented Reality (AR) zählt, ermöglichen dem Anwender eine maßstabs- und lagetreue Visualisierung von Objekten (Dörner et al., 2019, S. 247-249 & Cruz-Neira, 1993). In Ergänzung kann die Einbettung von interaktiven Elementen in die virtuelle Umgebung einen positiven Einfluss auf den Erkenntnisgewinn haben (Mortara et al., 2014). Bei diesen interaktiven Medien handelt es sich hauptsächlich um Film- oder Bildmaterial. Knoll & Stieglitz (2022) fassten bereits zusammen, dass der Gebrauch von VR und AR



umfassende Einsatzmöglichkeiten vorsieht. Die Visualisierung von komplexen Sachverhalten und die Modellierung von Objekten ist in den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ebenso wie in den Geistes- und Sozialwissenschaften nach den Autoren ein zentrales Element der Wissensvermittlung.

Befindet sich der Anwender in einer virtuellen Umgebung, so muss eine solche VR-Applikation nicht nur die historischen Fakten präsentieren, sondern auch als real wahrgenommen werden. Slate und Wilbur (1997) beschreiben diesen Grad an Involviertheit als Präsenz. Für den Anwender soll der Eindruck entstehen, sich an diesem Ort zu befinden. Eine virtuelle Rekonstruktion erfordert daher, exakte 3D-Modelle dieser Orte zu gestalten und in eine interaktive VR-Umgebung zu implementieren. Neben der Rekonstruktion der Geometrien wird zusätzlich ein lagemäßig einheitlicher Bezug hergestellt. Dies ermöglicht die exakte Positionierung und Einhaltung von Größen und Relationen innerhalb der virtuellen Umgebung.

Die Herausforderung einer realitätsnahen Rekonstruktion liegt jedoch in dem mangelhaften Informationsgehalt über den jeweiligen Ort. Es sind nur wenige Anhaltspunkte vorhanden, die einer Rekonstruktion dienlich sind. Ruinenreste sind nicht zwangsläufig vorliegend und bei einer Überbauung gilt es zu differenzieren, welche Teile eines Gebäudes bereits bestanden beziehungsweise neu hinzukamen. Aus diesem Grund wird historisches Material hinzugezogen, wie z.B. Lagepläne oder Karten, Luftaufnahmen, Fotos, Filmaufnahmen, Zeugenberichte und Skizzen. Mit ihnen ist es möglich, 3D-Modelle zu rekonstruieren und in einer 3D-Umgebung (wie z.B. Blender) einzubetten, wie Kirschke & Wolff (2018) bereits demonstrierten. Des Weiteren zeigte Kersten et al. (2017) mit welchen Methoden sich ein noch existierendes Gebäude für VR-Applikationen vermessen und digital rekonstruieren lässt. Die Umsetzung selbst erfolgt hier mit der Unreal Engine. Dabei handelt es sich um eine Entwicklungsplattform für Videospiele, die zunehmend auch in der Architektur und für anderweitige Visualisierungen genutzt wird. Der Vorteil ist ein wahrnehmbarer Realismusgrad durch eine hochwertige Grafik und physikbasierte Simulation sowie ist ein Prototyping durch eine Verwendung von Blueprints (keine Programmierkenntnisse in C++ benötigt) schnell umsetzbar.

### **3. Computer Vision für 3D-Rekonstruktion**

Durch die sich stets weiter entwickelnden Methoden, im Bereich Photogrammetrie und Computer Vision, ergeben sich neue Möglichkeiten der virtuellen Rekonstruktion mit maschineller Unterstützung. Insbesondere innerhalb der Architektur setzt die Computer Vision seit den 1980er Jahren einen starken Fokus (Szeliski, 2022, S. 833). Obwohl die moderne und digitale Fotografie Metadaten wie GPS-Koordinaten, Objektiv- und Lichtsensoreinstellung zu jedem Bild mitliefert, sind diese bei historischen Dokumenten nicht vorhanden. Eine vorläufige Analyse dieser Bilder und Ermittlung der Kameraparameter ist ein notwendiger Schritt für die technische Durchführung (Vietze et al., 2017). Die Aufnahmen sind nicht hoch aufgelöst, weil sie auch nur analog vorliegen. Des Weiteren sind sie verblasst, haben an Kontrast verloren, und besitzen eine starke Verrauschung. Dies sind Faktoren, die eine direkte Anwendung von CV-Verfahren erschweren. Eine digitale Bildrestaurierung und eventuell Farbrekonstruktion ist hier anzuwenden.

Erst im Anschluss ist eine (teil-)automatisierte Rekonstruktion durch Methoden der Computer Vision möglich. Hier spielen die Structure from Motion-Verfahren eine zentrale

Rolle, ebenso wie die Anwendung von Model-based Reconstruction-Algorithmen sowie Point-based und Surface-Repräsentationen (Szeliski, 2022, S. 835). Stets im Hinblick auf die Umsetzung von adäquaten und georeferenzierten 3D-Modellen für eine virtuelle Umgebung.

In den vergangenen Jahren hat sich der Einsatz von Deep Learning-basierten Ansätzen in der Computer Vision-Forschung etabliert. Dabei werden die prozeduralen Algorithmen teilweise mit Verfahren der künstlichen Intelligenz erweitert oder gar ersetzt. Beide Ansätze haben in spezifischen Gebieten ihre Vor- und Nachteile (Voulodimos et al., 2018). Besonders das 3D-Convolutional Neural Network (CNN) für die Rekonstruktion von dreidimensionalen Geometrien aus Punktwolken ist von Nutzen.

#### **4. Ablauf und Vorhaben**

Der generelle Ablauf sieht vor, dass für die Auswahl von geeigneten Gebäuden (als verllorener Ort) ausreichend historische Aufnahmen und Dokumente vorliegen müssen. **(1)** Dies erfordert eine Auswahl an Gebäuden mit einer gewissen Menge von Bilddokumenten, die das jeweilige Gebäude aus verschiedenen Perspektiven und möglichst vollständig abbilden. Dazu gehört auch ein Digitalisierungsschritt, weil das meiste Bildmaterial noch in analoger Form in den Archiven vorliegt. **(2)** Die Entwicklung einer Pipeline zur Verarbeitung der digitalisierten Bilder für die 3D-Rekonstruktion. Je nach Anwendung und Bildmaterial bedarf es einer oder mehrerer Vorstufen / Analysen, die das Bild für CV-Methoden vorbereiten. Wie beispielsweise eine Bildrestaurierung<sup>1</sup> oder eine Super-Resolution-Technik<sup>2</sup>. **(3)** Das Georeferenzieren von 3D-Modellen erweitert die Modelle mit entsprechenden Lageparametern. **(4)** Das 3D-Modell muss daraufhin für die Integration in die Unreal Engine vorbereitet werden. Alle Informationen bzgl. Geometrie, Textur und Verortung müssen dann vorliegen. **(5)** Entwurf und Entwicklung einer virtuellen Umgebung als VR-Anwendung mithilfe der Unreal Engine. In diese Anwendung werden die 3D-Modelle importiert und weitere Medien sowie Funktionen zur Interaktion und Navigation kommen hinzu. **(6)** Iterativ werden Evaluationen mit Testnutzern durchgeführt, die einerseits die Anwendung und die historische Akkuratess bewerten sollen. Es bedarf hierfür Experten, die bereits technisches oder historisches Wissen mitbringen.

Am Ende soll eine VR-Anwendung entstehen, die ein historisch akkurates und zugleich realistisches Abbild eines Ortes darstellt, welcher nicht mehr existiert und auf Basis von historischen Bild- und Filmaufnahmen (semi-)automatisiert rekonstruiert wurde. Besonders die Kombination von verschiedenen Technologien und Verfahren der Computer Vision und Computergrafik wird dabei aus forschungsorientierter Sicht von Relevanz sein.

#### **5. Diskussion**

Der Fortschritte bei der Umsetzung von VR-Applikationen nimmt besonders im Bildungs- und Weiterbildungsbereich zu. Eine virtuelle Umgebung erlaubt dem Anwender unterschiedlichste Szenarien zu erleben oder auch nur einzelne Situationen zu proben. Das kann sich auf die Vermittlung von Wissen beziehen, die Durchführung von Reparaturen oder das Simulieren von Verkaufsgesprächen. Die virtuelle Rekonstruktion von verlorenen Orten trägt ebenfalls dazu bei, im Zuge dessen bietet sie

---

<sup>1</sup> *Deblurring, Rauschunterdrückung, etc.*

<sup>2</sup> *Ansatz für die Extrapolation von Bildern mit niedrigen Auflösungen in eine hohe Auflösung.*

jedoch Herausforderungen, welche neue Erkenntnisse zu Tage fördern werden.

Beginnend mit der Frage, welche Anforderungen das historische Bildmaterial erfüllen muss, damit die Verfahren der Computer Vision verwendbare Ergebnisse erzielen, die möglichst nah an die Realität reichen. Die Methoden der Computer Vision entwickeln sich stetig weiter und sind primär für aktuelle Aufnahmen und Bilder ausgelegt. Daher ist der Ansatz, diese Methoden mithilfe der Bildaufnahmen aus der Mitte des vergangenen Jahrhunderts anzuwenden, mit weiteren Hindernissen verbunden, die es zu überwinden gilt. Besonders, um Geometrien für eine Rekonstruktion aus ihnen abzuleiten. Weil diese Orte (teilweise) nicht mehr existieren, stellt die Verortung ebenso eine Problematik dar. Wie eingangs erwähnt, wird eine Anwendung entwickelt, die ein realitätsnahes Abbild der Vergangenheit visualisiert, weshalb Abstände, Größen und Relationen exakt sein müssen. Diese Anwendung soll dann von Anwendern über das Internet heruntergeladen und mit einem Head-Mounted-Display in VR erkundet werden können.

## Quellen

Cruz-Neira, C. (1993). Virtual Reality Overview. SIGGRAPH '93 Course Notes.

Dong, C., Loy, C. C., He, K., & Tang, X. (2016). Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(2), 295–307. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2015.2439281>

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (Hrsg.). (2019). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>

Kirschke, T., & Wolff, C. (2018). Virtuelle Rekonstruktion historischer Objekte am Beispiel einer Gedenkstätte des nationalsozialistischen Terrors. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 4/2018, 215–223. <https://doi.org/10.12902/zfv-0215-2018>

Knoll, M., & Stieglitz, S. (2022). Augmented Reality und Virtual Reality – Einsatz im Kontext von Arbeit, Forschung und Lehre. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59(1), 6–22. <https://doi.org/10.1365/s40702-022-00840-5>

Koordinierungsstelle Stolpersteine Berlin. (o. J.). *Stolpersteine in Berlin*. Abgerufen 29. Januar 2023, von <https://www.stolpersteine-berlin.de/de>

Kühn, T. (2023, Januar 26). Holocaust – was ist das? *Jüdische Allgemeine*. <https://www.juedische-allgemeine.de/juedische-welt/holocaust-was-ist-das-2/>

Mortara, M., Catalano, C. E., Bellotti, F., Fiucci, G., Houry-Panchetti, M., & Petridis, P. (2014). Learning cultural heritage by serious games. *Journal of Cultural Heritage*, 15(3), 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.004>

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>

Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>

# Das Data-Leakage-Problem für die prädik- tive Instandhaltung

Martin Patrick Pauli, Martin Golz

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Blechhammer 4, 98573 Schmalkalden

## Abstract

Für eine vibroakustische Zustandsüberwachung von kritischen Filterstufen einer Anlage zur Aufbereitung von Reinstwasser wurden im Rahmen einer Pilotstudie aus den vibroakustischen Sensordaten Merkmalsvektoren extrahiert und anschließend mit einer Gradient-Boosting-Methode analysiert, wie gut sich kritische Filterzustände von intakten diskriminieren lassen. Mit der üblichen zufälligen Kreuzvalidierung gelingt dies mit mittleren Genauigkeiten von  $99,95 \pm 0,01$  % und mit der Kreuzvalidierung mit Partitionierung anhand einer kategorialen Variablen (hier: laufende Nummer eines Filterwechsels) brechen die erreichten Genauigkeiten auf  $85,3 \pm 8,7$  % ein. Wir schlussfolgern, dass die Aufzeichnungen jedes der untersuchten Filtereinsätze individuelle Merkmalsausprägungen aufweisen, die zu einem Data-Leakage-Problem und zu beschränkt generalisierungsfähigen Problemlösungen führen.

## 1. Einleitung

In einer Reinstwasser-Aufbereitungsanlage, die in der Mikroelektronik-Industrie eingesetzt wird, befinden sich mehrere Filterstufen, die dem Hauptaggregat, einem Umkehrosmose-Filter, vorgeschaltet sind. Diese Vorfilter können über mehrere Wochen hinweg eingesetzt werden, bis ein Austausch des Filtereinsatzes erforderlich wird. Leider kommt es aus schwer nachvollziehbaren Gründen immer wieder dazu, dass seit längerem eingesetzte Filter sich binnen kurzer Zeit rapide zusetzen, sodass die erforderliche Flussmenge unterschritten wird und aufgrund der hohen Druckdifferenzen, die Förderpumpe abschaltet. Der Vorratstank wird folglich nicht mehr ausreichend befüllt und im schlechtesten Fall kann es zu einer Produktionsunterbrechung kommen mit erheblichen



Abbildung 1: Ausschnitt der Aufbereitungsanlage mit Vorfilterstufe und applizierten Sensoren.

finanziellen Verlusten. Mit einer vorausschauenden Wartung basierend auf automatischer Überwachung und Zustandsprognose soll dieses Problem gelöst werden. Hier wird ein Konzept mit vibroakustischen Sensoren vorgestellt [1], die außen an den Filtergehäusen befestigt wurden. Diese Sensoren haben den Vorteil, sensitiv zu sein und einen hohen dynamischen Bereich abzudecken. Sie messen im Wesentlichen die Strömungsgeräusche des Wassers im Inneren des Rohrleitungssystems. Aber auch andersorts eingekoppelter Körperschall wird gemessen, da sich der Körperschall mit relativ geringer Dämpfung auf den Edelstahl-Bauteilen ausbreitet. Noch nicht untersucht wurde, wie gut sich auch frei Schallwellen aus der Umgebung einkoppeln und zu vibroakustischen Störsignalen werden [2].

## 2. Material und Methoden

Mit zwei vibroakustischen Sensoren wurde der Körperschall vor und nach den Vorfilterstufen mit einer Abtastrate von 16kHz aufgezeichnet. Zur Auswertung wurde ein Zeitraum von 48h vor bis 48h nach einem Filterwechsel ausgewählt. Die Musterbeispiele für die Klasse -1 (degenerierter Filterzustand) entstammen dem ersten Zeitraum, der mit einem Filterwechsel endet. Der zweite Zeitraum ist durch einen neuen Filtereinsatz gekennzeichnet und enthält somit Musterbeispiele für die Klasse +1 (intakter Filterzustand). Insgesamt lagen Aufzeichnungen zu fünf Filterwechseln vor. Durch Segmentierung der beiden 48h-Intervalle in 60s-Segmente konnten für jede Klasse jeweils 2.880 Signalsegmente analysiert werden. Aus jedem Segment wurden folgende Merkmale extrahiert:

- Perzentile der Amplitudenverteilung
- Momentanfrequenz
- Entropie-Maße und fraktale Dimensionen
- Entropie-Maße über Koeffizientenfolgen der diskreten Wavelet-Transformation
- Logarithmierte spektrale Leistungsdichten (LogPSD)

Diese Merkmale wurden unskaliert durch eine Gradient-Boosting-Methode zur Klassifikationsanalyse weiterverarbeitet. Es wurden parallel dazu folgende drei Skalierungsvarianten empirisch geprüft, ob sie zu höheren Klassifikationsgenauigkeiten führen:

- Minimum-Maximum-Skalierung
- Z-Skalierung
- Quantil-Transformation

Für das Gradient Boosting wurde LightGBM, eine rechenzeiteffiziente Implementierung von Microsoft Research, eingesetzt [3]. Die im nachfolgend präsentierten Ergebnisse wurden auf Basis einer Kreuzvalidierung vom Typ der wiederholten zufälligen Partitionierung in Trainings- und Validierungsmengen ermittelt (Partitionierungsverhältnis 4:1, 5 Wiederholungen). Die Leave-One-Subject-Out-Kreuzvalidierung (LOSO-CV) [4] wurde alternativ verwendet, bei der die Datenmenge ein und derselben Kategorie (subject) aus dem Training herausgehalten und nur zum Validieren genutzt wird; die anderen Datenmengen werden zum Training verwendet. Hier ist die laufende Nummer eines Filterwechsels die kategoriale Variable, sodass die aufgezeichneten Sensordaten von -48 h bis 0 h vor dem Filterwechsel der Klasse -1 (Filter degeneriert) und die Aufzeichnungen von 0 h bis +48 h nach einem Filterwechsel der Klasse +1 (Filter intakt) zugeordnet werden. Die Daten vor und nach einem Filterwechsel bilden somit die Validierungsmenge

und die Daten vor und nach allen anderen vier Filterwechseln bilden die Trainingsmenge. Dies wird wiederholt, sodass jede Kategorie einmal die Validierungsmenge festlegt.

Zur Merkmalsreduktion wurden LogPSD-Variablen, die in äquidistanten Frequenzintervallen liegen, gemittelt (sogenannte Bandmittelung). Die Parameter dieser Methode sind die untere Grenzfrequenz (Start-Frequenz), die obere Grenzfrequenz (Stop-Frequenz) und die Intervallbreite (Schrittweite). Diese Parameter wurden empirisch optimiert.

### 3. Ergebnisse

In den ersten Analysen zeigte sich, dass die LogPSD-Merkmale zu den höchsten mittleren Genauigkeiten an Validierungsmengen führen, sodass die anderen Merkmalstypen nicht weiter untersucht wurden. Durch empirische Optimierung der drei oben genannten Bandmittelungs-Parameter wurde die Genauigkeit von 79,84% auf 85,30% gesteigert (Abb. 2). Die Ergebnisse wurden mit LOSO-CV ermittelt, wobei über alle fünf Kategorien (Filterwechsel) gemittelt wurde.

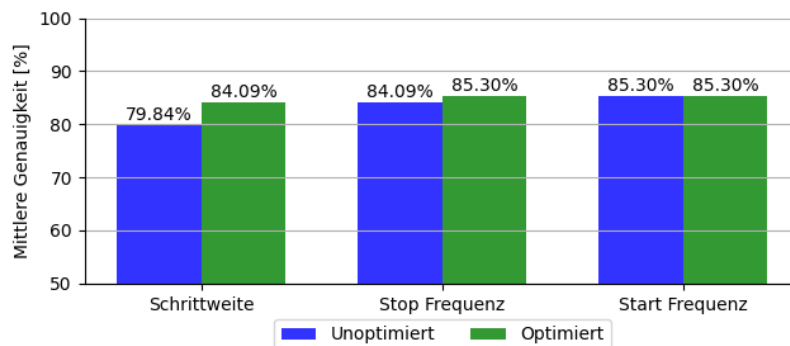


Abbildung 2: Mittlere Klassifikationsgenauigkeiten an Validierungsmengen vor und nach der empirischen Parameteroptimierung.

Die Ergebnisse der Parameteroptimierungen streuen relativ stark, wenn man auf die zuletzt genannte Mittelung verzichtet und somit für jeden individuellen Filtereinsatz die Ergebnisse analysiert (Abb. 3). Kategorie 2, 3 und 4 führen zu relativ hohen Genauigkeiten, wogegen Kategorie 1 und 5 deutlich schlechter zu klassifizieren sind. Die Parameteroptimierungen wurden für alle Kategorien einheitlich durchgeführt, sodass der Effekt auch negativ sein kann, wie man bei Kategorie 3 erkennen kann, wo durch die Optimierung die mittlere Genauigkeit um 0,16% geringer wurde.

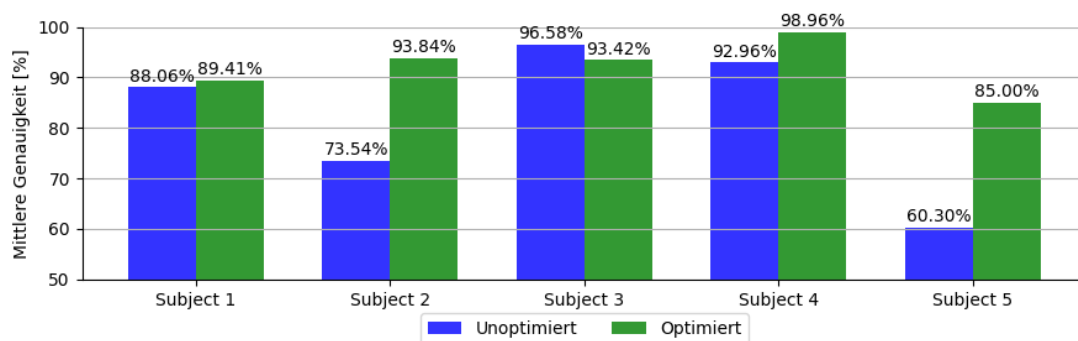


Abbildung 3: Mittlere Klassifikationsgenauigkeiten an Validierungsmengen vor und nach der empirischen Parameteroptimierung für jeden einzelnen Filterwechsel (subject).

Bei der üblichen Kreuzvalidierung der wiederholten zufälligen Partitionierung ergeben sich deutlich höhere Genauigkeiten (Tabelle 1) und niedrigere Standardabweichungen.

Kreuzvalidierung	Klassifikationsgenauigkeit
Wiederholte zufällige Partitionierung	99,95 ± 0,01 %
Leave-One-Subject-Out	85,3 ± 8,7 %

*Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Validierungsgenauigkeit für zwei verschiedene Kreuzvalidierungsmethoden. Die Trainingsgenauigkeit lag stets bei 100%.*

#### 4. Diskussion

Die Nutzung von Daten aller Kategorien in den Trainingsmengen führt zu einem Data-Leakage-Problem, einem der zehn größten Fehler im Data Mining [5]. Es liegt vor, wenn Informationen über die Zielvariable eines Klassifikations- oder Regressionsproblems eingebracht werden, die nicht legitim verfügbar sein sollten [6]. Zwei mögliche Quellen dieses Problems sind Merkmale und Trainingsbeispiele. Hier handelt es sich um Letzteres. Wenn das Ziel darin besteht, kategorienunabhängige Modelle abzuleiten, dann dürfen nicht alle Kategorien in der Trainingsmenge vertreten sein, weil stets die Validierungsmenge statistisch unabhängig bzgl. der Trainingsmenge sein muss. Kategorien, die während des Trainings verfügbar sind, müssen von der Validierung ausgeschlossen werden.

Bei der wiederholten zufälligen Partitionierung werden Kategorien innerhalb des Datensatzes nicht berücksichtigt. Dagegen wird bei der LOSO-CV hingegen eine Teilmenge aus dem Training herausgehalten und nur zum Validieren genutzt wird. Dadurch erhält man hier eine Schätzung der wahren Klassifikationsgenauigkeit, die nicht verzerrt ist durch den Einfluss dieser Kategorie.

Die erreichten hohen mittleren Klassifikationsgenauigkeiten bei der wiederholten zufälligen Partitionierung sind optimistisch verzerrt, denn sowohl in der Trainingsmenge als auch in der Validierungsmenge waren Beispiele aus allen fünf Kategorien. Die um ca. 15% geringere mittlere Klassifikationsgenauigkeit bei der LOSO-CV zeigt, dass klassenbedingte Verteilungsdichteunterschiede zwischen den Kategorien vorliegen und dass es nicht möglich ist, eine kategorienunabhängige Abbildung mit hoher mittlerer Genauigkeit zu finden, obwohl mit der Klassifikationsmethode LightGBM im Training stets eine Abbildung mit hoher Genauigkeit für die Trainingsmenge gefunden werden konnte.

Mit der LOSO-CV simuliert man, dass zukünftige unbekannte Datensätze hinzukommen, die zu bisher nicht bekannten Kategorien, hier Filtern, gehören. Der relativ hohe Genauigkeitsverlust von ca. 15% mit Vergleich zur wiederholten zufälligen Kreuzvalidierung unterstreicht die hohe Bedeutung von umfassenden Validierungen. Trainings- und Validierungsmengen müssen statistisch unabhängig sein, um valide Aussagen zum Risiko der Klassifikation zu erhalten. Bei hohen inter-kategorialen Streuungen der Merkmalsausprägungen ist eine zufällige wiederholte Kreuzvalidierung optimistisch verzerrt. Nur eine Kreuzvalidierung mit Heraushalten einzelner Kategorien aus dem Trainingsprozess deckt die Verzerrung der Ergebnisse auf und führt zu einer Schätzung, wie genau ein Modell ist, das unabhängig von einzelnen Kategorien sein soll [6].

Es ist nicht auszuschließen, dass auch andere Einflüsse den Trainingsprozess beeinflussen haben. Es könnten weitere kategoriale Variablen existieren, die einen Einfluss auf

den Datenentstehungsprozess und folglich eventuell auch auf die Merkmalsausprägungen haben. Deshalb ist eine erweiterte Validierung sinnvoll, wo dieser Einfluss bezüglich der kategorialen Variable untersucht wird und mit LOSO-CV das Ausmaß des Einflusses auf die Validierungsgenauigkeit geschätzt wird. Solche Einflussvariablen sind vielfältig; sie könnten bspw. in der Jahres-, Wochen-, Tageszeit oder auch in örtlichen Abhängigkeiten gefunden werden. Dies erfordert allerdings eine umfassende Aufzeichnung aller begleitenden Umstände des zu untersuchenden Prozesses und steht damit im Einklang mit der Vision der umfassenden Datafizierung (datafication) aller wichtigen Prozesse in Wirtschaft, Behörden und weiteren gesellschaftlichen Bereichen [7].

## Quellen

- [1] Martini A, Troncossi M, Rivola A (2017) Vibroacoustic Measurements for Detecting Water Leaks in Buried Small-Diameter Plastic Pipes. *J Pipeline Syst Engin Pract* 8(4): 04017022.
- [2] Siba M, Wanmahmood W, Nuawi MZ, Rasani R, Nassir M (2016) Flow-induced vibration in pipes: Challengess and solutions-A review. *J Engin Scie Technol* 11(3):362-382.
- [3] Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, et al. (2017) LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Adv Neural Inf Proc Syst*; 30:3146-54.
- [4] Xu G, Huang JZ (2012) Asymptotic optimality and efficient computation of the leave-subject-out cross-validation. *The Annals of Statistics*; 40(6):3003-30.
- [5] Nisbet R, Elder J, Miner G (2009) *Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications*. Academic Press.
- [6] Kaufman S, Rosset S, Perlich C, Stitelman O (2012) Leakage in data mining: Formulation, detection, and avoidance. *ACM Trans Knowl Discov Data (TKDD)*; 6(4):1-21.
- [7] Cukier K, Mayer-Schoenberger V (2013). The rise of big data: How it's changing the way we think about the world. *Foreign Aff* (92):28.



# Einsatz eines VR-Szenarios im Bereich Elektronik-Lehre

Caroline Schon<sup>1</sup>, Olaf Ueberschär<sup>2</sup>, Johannes Tümler<sup>3</sup>

1 Hochschule Anhalt, Bernburger Str. 57, 06366 Köthen (Anhalt)

2 Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg, Institut für Angewandte Trainingswissenschaft, Marschnerstraße 29, 04109 Leipzig

3 Hochschule Anhalt, Bernburger Str. 57, 06366 Köthen (Anhalt)

## Abstract

In der vorliegenden Arbeit wird qualitativ untersucht, ob eine sinnvolle Nutzung von xR in alltäglichen Lernsituationen möglich ist. Dabei werden Lernende vor und nach der Nutzung von Virtual Reality befragt. Für einen Vergleich wird eine Kohorte zwei Aufgaben bearbeiten: Eine in Virtual Reality, die andere mit einem Desktop-Programm. Es zeigt sich, dass technische Voraussetzungen für eine reguläre Nutzung noch nicht gegeben sind, es aber eine willkommene Abwechslung in der Lernsituation darstellt.

## 1. Motivation und Einführung

Seit August 2021 wird im Rahmen des geförderten Projektes praxwerk<sup>1</sup> interdisziplinär an allen Fachbereichen der Hochschule Anhalt zur digitalisierten Lehre geforscht. Ziel des Projektes ist es, fachspezifische Lehrkonzepte zu entwickeln und diese in eine Praxisvermittlung durch digitalisierte Werkstätten zu transferieren. Dabei stehen partizipative Arbeitsweisen im Vordergrund. Technisch wird das Projekt unter anderem durch Augmented und Virtual Reality (AR, VR) unterstützt. Damit dies erreicht wird, werden mit Praxispartner\*innen gemeinsame Projekte umgesetzt, die neben der Hochschule auch den Unterricht an Schulen einbeziehen.

Digital unterstütztes Lernen wird von verschiedenen Begriffen geprägt, beispielsweise Blended Learning. Es soll eine Lehre in Präsenz durch digitale Tools und Möglichkeiten ergänzen (Lilligreen & Wiebel, 2019). In diesem Konzept werden verfügbare Möglichkeiten der Digitalisierung mit klassischen Lernmethoden sinnvoll verknüpft (Sauter et al., 2003). Lilligreen und Wiebel setzen in ihrem Versuchsaufbau Blended Learning in regulären Präsenzveranstaltungen und spezifischen Praktika mit Hilfe von Augmented Reality um. Resultierend wird eine viel aktivere Teilnahme an der Veranstaltung verzeichnet. Dennoch ist die Aktivierung bei einigen Studierenden durch den Kontrast des vertrauten Frontalunterrichts mühsamer (Lilligreen & Wiebel, 2019). In einer Studie von Allcoat und von Mühlönen wurde untersucht, ob Effekte beim Lernen in VR vorhanden sind. So schneiden Proband\*innen, welche in VR lernen, signifikant besser ab als Proband\*innen unter klassischen Konditionen. Beurteilt wurden dabei Faktoren wie Erinnern und Verstehen. Zusätzlich zeigt sich, dass VR einen positiven Einfluss auf die Stimmung und damit auf das Lernen hat (Allcoat & von Mühlönen, 2018). Diese positiven Effekte treten jedoch nicht in jedem Fall auf (Odame & Tümler, 2022).

Das Virtual Dimension Center (VDC) Fellbach hat mit Hilfe einer Expert\*innengruppe bestehend aus Hochschullehrpersonen sowie Industrieexperten die benötigten Kenntnisse zum Themenfeld xR sowie den aktuellen Zustand der xR in Forschung, Industrie

---

<sup>1</sup> <https://www.hs-anhalt.de/praxwerk>

und Lehre erfasst. Daraus kann erschlossen werden, dass die xR-Technik erlebt und ausprobiert werden muss, um sie zu verstehen und sinnvoll in Lehre und Praxis einsetzen zu können. Die Interaktion mit dieser Technologie erfordert Erfahrung und muss durch dritte Lernorte gefördert werden. Diese können sich in Technologiezentren oder Metaversen wiederfinden (Beisheim et al, 2022).

Folgende Leitfragen (LF) sollen im vorliegenden Beitrag bearbeitet werden:

LF1: Wie ist der aktuelle Stand der Digitalisierung in Bildungseinrichtungen?

LF2: Warum ist xR bisher kein Bestandteil im Klassenraum?

LF3: Wie beeinflusst xR die Teilnahme der Lernenden in Lernsituationen?

## 2. Methodik

Es wurden zwei verschiedene Bildungseinrichtungen einbezogen:

- 12.-Klässler\*innen eines gymnasialen Physikkurses einer Köthener Schule und
- ein Grundlagenkurs der Studiengänge Medientechnik und Biomedizintechnik des dritten Bachelorsemesters der Hochschule Anhalt

Die Aufgabe der Lernenden sollte es sein, eine elektronische Schaltung in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden zu realisieren. Von den Proband\*innen des Gymnasiums sind drei männlich und sieben weiblich, von der Hochschule sind vier weiblich und 13 männlich. Es wurde ein Between-Subject-Forschungsdesign gewählt mit einer Gruppendiskussion vor und einer nach der Testphase der Anwendung. Zusätzlich wurde das Verhalten der Proband\*innen während des Versuchs beobachtet und dokumentiert. Die unabhängige Variable stellt dabei die Art der Anwendung dar.

In der VR-Bedingung sollten Vorteile von VR genutzt werden, Lerninhalte aus anderen Perspektiven und unrealistischen Verhältnissen erleben zu können. Dafür wurde keine geeignete existierende VR-Software gefunden und diese daher vom Projektteam eigenständig erstellt. Die Lerninhalte wurden nach Absprache der jeweiligen Lehrkraft angepasst. In Abbildung 1 (links) zeigt eine Beispiel-Schaltung in VR. An der Schule wurde die HTC VIVE Focus 3, an der Hochschule wurde die HP Reverb G2 und HP Reverb eingesetzt (Abbildung 1 rechts). Als Vergleichssoftware wurde am Desktop PC die Website <https://www.falstad.com/circuit/> verwendet.

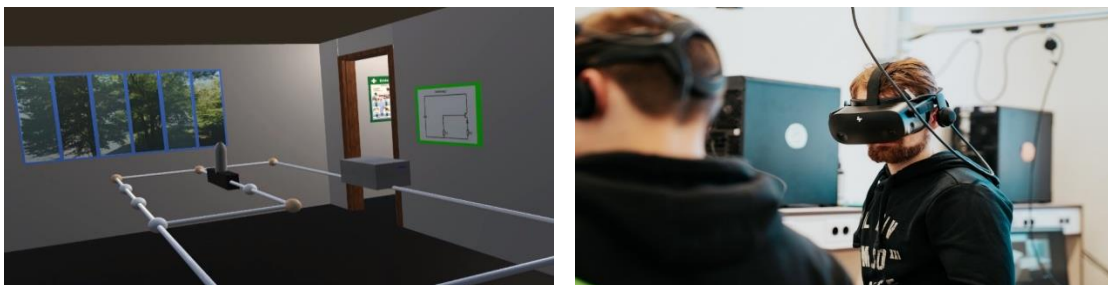


Abbildung 1: Beispielschaltung in der VR Anwendung (links) und Proband in der Hochschule (rechts)

Vor der Versuchsdurchführung fand eine Gruppendiskussion statt. Für die anschließende Einordnung der Versuchsgruppen wurde eine stratifizierte Randomisierung, zunächst nach Geschlecht, gewählt. Nach dem Ausführen der Aufgabe gab es eine Abschlussdiskussion. Für die Desktopanwendungen wurden in beiden Versuchen die Computer der Bildungseinrichtungen genutzt und. Die Nutzung der VR-Anwendung fand in einem Klassenraum beziehungsweise in einem xR-Labor statt.

### 3. Ergebnisse

Für die Auswertung wurde das Transkriptionstool f4transkript verwendet.

LF1: Die aktuelle Gestaltung der Lehre wird von den Befragten als „schon okay“ empfunden. Dabei wird mit Medien, bevorzugt Videos, gearbeitet und Computern, um beispielsweise Simulationen nachzuvollziehen. Die Nutzung von Overhead-Projektoren wird als weniger gut eingeschätzt. Der Einsatz von Digitalisierung und deren didaktischer Umsetzung ist abhängig vom Alter der Lehrkräfte. Laut Aussage der Schüler\*innen werden sie lieber mit Methoden unterrichtet, in denen sich die Lehrkräfte wohlfühlen, da diese dann besser Wissen vermitteln. Beispielsweise setzen Informatiklehrkräfte vermehrt Smartboards und andere digitale Hilfsmittel ein. Besonders wird von den Lernenden ein Methodenmix im Unterricht geschätzt. Zu der Frage, wie die Lehre der Zukunft aussehen kann, berichtet eine Lernende, es sei „Schwer zu beantworten, weil man halt nur begrenzte Möglichkeiten kennt.“ In der Diskussion über die Lehre der Zukunft wird von den Lernenden AR / VR nicht genannt.

LF2: Auf die spezifische Nachfrage, warum AR / VR noch nicht in der Lehre genutzt wird, ist Finanzierung, insbesondere Kosten der Anschaffung, Verwaltung und Software, das meistgenannte Argument der Lehrenden. Schüler\*innen nannten fehlende Modernisierung als weiteren entscheidenden Grund. Für die Nutzung im Unterricht würden die technischen Voraussetzungen fehlen, unter anderem zuverlässiges Internet. Eine Probandin berichtete, „dass die Mentalität bei den meisten Lehrern noch nicht so weit ist, beziehungsweise auch von den Schülern“. Abschließend fassen die Proband\*innen zusammen, was gegen die Nutzung im täglichen Unterricht spricht. Genannt werden der Zeitaufwand und die Anzahl der Geräte, die man braucht, damit jeder Lernende es nutzen kann. Ebenfalls relevant sind die Sicherstellung und Überwachung der Lernenden in VR sowie der Schutz der Brillen vor fahrlässigem Verhalten. Allerdings finden sich Ideen für Anwendung beispielsweise für Messen und Infostände, um für die Thematik und den Studiengang zu werben. Schüler\*innen würden VR gerne in Geografie, Geschichte und Chemie anwenden.

LF3: Zuletzt zeigte sich, dass die Nutzung der VR-Brille als aufregender und spaßiger eingeschätzt wird. Den Proband\*innen fällt positiv auf, dass sie „direkt loslegen“ können. Die Testzeit von 25 Minuten empfindet die VR-Gruppe als ausreichend, während die Gruppe in der Desktopanwendung gerne mehr Zeit hätte. Die Proband\*innen mögen, dass sie in VR nichts beschädigen können. „Ich persönlich habe mich freier gefühlt“, sagt eine Probandin. Durch die vergrößerten Proportionen in VR (vgl. Abb. 1 links) fand ein Perspektivwechsel statt. Die Desktopanwendung wird am Gymnasium als sehr unintuitiv und schwierig eingeschätzt, während die Proband\*innen an der Hochschule den Detailgrad schätzen. Die Lehrkräfte kannten das Simulationsprogramm vorher nicht, möchten es aber zukünftig nutzen. Während der Nutzung der Desktopanwendung

konnte beobachtet werden, dass die Proband\*innen miteinander tuscheln und sich gegenseitig helfen. Im Raum mit den VR-Anwender\*innen wird lauter gesprochen, aber es ist nicht unruhig. Nach der Techniknutzung wird sich darüber unterhalten, was in der Anwendung gemacht wurde.

#### 4. Diskussion

LF1: Die Frage soll als erster Schritt verstanden werden, um einen IST-Stand an ausgewählten Bildungseinrichtungen zu erfragen. Da sich gezeigt hat, dass ein Methodenmix von den Lernenden als wünschenswert gesehen wird, muss eine Methodik erarbeitet werden, analoge oder digitale Hilfsmittel für die jeweils richtigen Anwendungen zu identifizieren. Die bisher geringe Nutzung digitaler Medien kann am Mangel von Zeit und der Erarbeitung neuer Konzepte liegen, sowie daran, dass einige Lehrende sich mit neueren Medien nicht wohlfühlen. Workshops, um Lehrenden technisch-didaktische Möglichkeiten vorzustellen, ist potenzieller ein Lösungsansatz.

LF2: Für die Nutzung in der Lehre müssen fertig ausgearbeitete Methoden und Anwendungen bereitgestellt werden. Diese müssen vorher didaktisch ausgearbeitet und dann methodisch sinnvoll in Lehrsituationen eingesetzt werden. Es bedarf nicht nur Forschung zum Einsatz im Unterricht, sondern auch zur Didaktik in der Anwendung.

LF3: Die Lernenden fühlen sich in VR wohl, empfinden es als eine Auflockerung des Lernalltages und werden durch den Einsatz der Technik an die Aufarbeitung und Vertiefung des Themas erinnert. Ein Problem für VR im Lernszenario stellt die Umgebung dar, da der Platz im Klassenzimmer mit den Proband\*innen ausgereizt war. Allerdings haben die Proband\*innen neben der thematischen Vertiefung eine neue Technologie kennen gelernt, was einen zusätzlichen Nutzen darstellt.

Virtual Reality wird von diesen beiden Kohorten derzeit noch nicht als alltägliches Lernmedium eingeschätzt, welches die Desktopanwendung ablöst. Allerdings fokussierten sich die Lernenden auf andere Details des Lernthemas, sodass VR mindestens als ergänzende Methode gedacht werden sollte. Hierbei ist jedoch eine didaktisch saubere Eingliederung in den Lernprozess nötig.

#### Quellen

Allcoat, D. & von Mühlengen, A. (2018). Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in learning technology*, 26. 1-13.  
<https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2140>

Lilligreen, G. & Wiebel, A. (2019). Augmented Reality in Vorlesungen und Übungen: Lehre und Interaktion neu gedacht. In T. Barton, C. Seel & C. A. Müller (Hrsg.), *Hochschulen in Zeiten der Digitalisierung. Lehre, Forschung und Organisation* (S. 221–238). Springer.

Odame, A. & Tümler, J. (2022). Is Off-the-Shelf VR Software Ready for Medical Teaching? *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Design and Development*, 224–237.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-05939-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05939-1_15)

Sauter, A., Sauter, W. & Bender, H. (2003). *Blended Learning: Effiziente Integration von E-Learning und Präsenztraining* (2., überarb. u. erw. Aufl.). Hermann Luchterhand Verlag.

Beisheim, N., Bellalouna, F., Benölken, P., Eltrich, W., Fussan, C., Gebhard, U., Hess-Mohr, N., Kauz, L., Klein-Wiele, J., Kloos, U., Lindner, T., Lückemeyer, G., Magg, R., Meixner, G., Rädle, M., Reichwald, J., Reina, G., Runde, C., Schäfer, P., Tümler, J., Weber, D., Wenzel, G., Wössner, U., Zimmermann, M. (2022). Imsimity GmbH: XR-Bildung hinkt Bedarfen hinterher. *Positionspapier*. VDC Fellbach

# Anforderungen und Konzepte bei Identitätsbeständigkeit und Identitätsmapping

Sebastian Karius<sup>1</sup>, Marlies Gollnick<sup>2</sup>, Robin Kopitz<sup>3</sup>, Meiko Lips<sup>4</sup>, Hermann Strack<sup>5</sup>

1 Hochschule Harz, skarius@hs-harz.de

2 Hochschule Harz, mgollnick@hs-harz.de

3 Hochschule Harz, rkopitz@hs-harz.de

4 Hochschule Harz, mlips@hs-harz.de

5 Hochschule Harz, hstrack@hs-harz.de

## Abstract

Die Digitalisierung im Bildungswesen erfordert zunehmend die Verknüpfung verschiedenster Identitäts- und Serviceprovider. Im Nationale Bildungsplattform (NBP)-Infrastrukturprojekt „Kommunikation, Open Source, lebenslanges Lernen in Bildungseinrichtungen durch rechtssichere Integration – KOLIBRI“ (BMBF-Förderung) wurde u.a. die Verknüpfung verschiedenen Identitätsprovider von Schulen und Hochschulen mit verschiedenen Serviceprovidern praktisch demonstriert. Dabei wurden verschiedene Anforderungen und mögliche Lösungskonzepte zur Weitergabe, Beständigkeit und dem Mapping von Identitäten zwischen verschiedenen Identitätsprovidern untersucht und evaluiert. Besondere Anforderungen ergaben sich im Bezug zu eID gestützten Identitäten.

## 1. Einleitung

Digitalisierung in verschiedenen Bereichen wie dem Bildungswesen, der öffentlichen Verwaltung, dem Gesundheitswesen und in der Wirtschaft erfordern digitale Identitäten. Dabei gibt es verschiedene Verfahren um die eigene Identität nachzuweisen. Immer häufiger werden dabei sichere Verfahren wie zertifikatsbasierte- oder eID-Authentifizierungsverfahren (eID-Online-Ausweisfunktion des Personalausweises) nach eIDAS-Verordnung verwendet. Eine Person erhält so im Laufe ihres Lebens verschieden Identitäten mit verschiedenen Authentisierungsmethoden und entsprechenden Merkmalen. In vielen Fällen, insbesondere der Weitergabe von Dokumenten oder bestätigten personenbezogenen Daten, ist ein Mapping der Identitäten sinnvoll.

Im NBP-Infrastrukturprojekt „KOLIBRI“ für die Entwicklung eines Prototypen für eine Metaplattform zur Verbindung verschiedenen Bildungsnutzenden und Bildungsanbietern über eine zentrale „Verbindungsplattform“, gefördert im Rahmen von Forschungsprojekten zur Nationalen Bildungsplattform (BMBF-Förderung im Rahmen des BIRD Projektes) (Strack, 2022a, 2022b) wurden verschiedenen Authentisierungsmethoden, bis hin zu eID, implementiert und u.a. Anforderungen und Konzepte für das Mapping von Identitäten untersucht.

## 2. Anforderungen an Indentitätsmanagement und –mapping

Das NBP-Infrastrukturprojekt „KOLIBRI“ hat einen Plattform-Prototyp für die NBP in Deutschland implementiert. Diese Plattform ermöglicht, die Verbindung verschiedener Arten von Bildungseinrichtungen. Ein zentraler Bestandteil ist ein Identity Provider (IDP) der Satellitensysteme der Bildungsträger ermöglicht. Die entwickelte Plattform bietet

den Nutzenden die Möglichkeit nach einer Anmeldung verschiedene Dienste der angeschlossenen Bildungsanbieter zu nutzen ohne sich hierbei für jeden Bildungsanbieter neu anmelden zu müssen, ein sogenanntes Single Sign-On (SSO). Eine weitere Aufgabe war die Anbindung von sogenannten User Wallets zur Verwaltung selbstbestimmter Identitäten (Self-Sovereign Identity, SSI) sowie die Kopplung zu Bildungsträgersystemen mittels sogenannter Metadaten-Konnektoren, wobei Wallets und Metadatenkonnektoren vom BMBF-Projekt BIRD zur Verfügung gestellt wurden.

Durch die beschriebenen Anforderungen und das Anwendungsgebiet selbst ergaben sich Fragestellungen zur Identitätsbeständigkeit und zum Identitätsmapping. Eine Person kann im Laufe ihres Lebens verschiedenste Bildungsinstitute besuchen. Dabei wird üblicher Weise eine eigene Identität für diese Person in jedem Bildungsinstitut erstellt. Beispielsweise erhält man an Hochschulen eine Matrikelnummer. In den seltensten Fällen ist es möglich die Identität von einem Bildungsinstitut an ein anderes zu übergeben und so ohne zusätzlichen Nachweis der eigenen Person dort Bildungsangebote wahrzunehmen. Um dies zu ermöglichen ist entweder die Weitergabe, das Mapping oder eine externe vertrauenswürdige Anmeldung notwendig. Bei der Weitergabe werden die personenbezogenen Daten einer Person von einem Bildungsinstitut an ein anderes, mit der Zustimmung der Person, übergeben. Das Mapping von Identitäten ist notwendig, falls beide Bildungsinstitute bereits eine Identität angelegt haben, oder eine externe Identität wie die eID zum Abgleich personenbezogener Daten verwendet werden soll. Dabei muss die Person nachweisen, dass beide Identitäten zu dieser Person gehören, anschließend werden die Identität verknüpft. Bei externen Anmeldungen, auch SSO, wird der Anmeldung an einer externen Identitätsverwaltung vertraut und die benötigten personenbezogenen Daten weitergegeben.

Die Weitergabe von personenbezogenen Daten zu einem weiteren Identitätsprovider stellt technisch keine Herausforderung dar. Protokolle und Standards wie SAML 2.0 (OASIS, 2008), OIDC oder OAuth (OpenID Foundation, o. D.), ermöglichen SSO und sind praktisch bereits weit verbreitet, und auch im Rahmen des NBP-Infrastrukturprojekts „KOLIBRI“, eingesetzt wurden.

Die Verknüpfung verschiedener Identitäten stellt, besonders im Rahmen des NBP-Infrastrukturprojekts „KOLIBRI“ eine Herausforderung dar. Das grundlegende Problem besteht darin, dass verschiedene IDPs verschiedenen Identitätsmerkmale verwenden. Beispielsweise kann eine Identität durch den vollständigen Namen, die E-Mail-Adresse, einen Nutzernamen, ein Pseudonym oder bei Hochschulen durch eine Matrikelnummer dargestellt werden. Diese Identifikationsattribute können in zwei Klassen aufgeteilt werden, personenbezogene und providerspezifische erzeugte Attribute. Beide Klassen haben Vor- und Nachteile. Die personenbezogenen Attribute sind direkt einer Person zuzuordnen, das hat den Vorteil, dass über verschiedenen IDPs hinweg die gleiche Person die gleichen Identifikationsattribute besitzt, allerdings wird die Person dadurch nachverfolgbar, was dem Datenschutz entgegensteht. Providerspezifisch erzeugte Attribute haben den Vorteil, dass sie üblicher Weise von jedem IDP unabhängig erzeugt werden und daher die identifizierte Person nicht nachverfolgbar ist, was jedoch das Mapping über die IDPs hinweg erschwert.

Neben den beiden Klassen von Identifikationsattributen gibt es zwei grundlegend verschiedene Ansätze Identitäten zu verwalten. Die erste ist die Identität bei einem IDP zu hinterlegen und sich gegenüber diesem zu authentisieren, um die eigene Identität einem

Serviceanbieter (SP) bereitzustellen. Die zweite Variante beruht auf einer Wallet. Dabei verwaltet der Nutzende seine Identitätsdaten selbstsouverän, auf einem von ihm kontrollierten Gerät, nachdem diese von einem IDP in die Wallet übertragen wurden. Die Identitätsdaten können dann direkt vom Gerät zum SP übertragen, die Authentisierung erfolgt dabei durch den Nachweis des Besitzes und des Zugriffs auf das Gerät. Diese Variante wird u.a. im Rahmen des BMWi Fördervorhaben „Schaufenster Sichere Digitale Identitäten“, unter dem Namen ID-Wallet, untersucht. Wobei die ID-Wallet auf Standards und Konzepte des eIDAS 2.0 setzt (Schwalm et al., 2022). Diese Art der Identitätsverwaltung wird mit Self Sovereign Identity (SSI) bezeichnet. (Preukschat & Reed, 2021)

Weiter kann eine Person bei verschiedenen IDPs verschiedene Klassen von Identitäten haben und verwalten. Dies erschwert zusätzlich das Weiterreichen oder Mapping dieser Identitäten. Daraus ergibt sich die hauptsächliche Anforderung an Identitätsmapping: Für eine Person muss nachgewiesen werden, dass jede der zu mappenden Identitäten Identitäten dieser Person sind. Dabei ist darauf zu achten nur notwendige Daten, und wenn nur vertraulich, zu übertragen.

### **3. Mapping von Identitäten zwischen IDPs**

Um das Mapping von Identitäten zu ermöglichen wird eine Vertrauensbasis zwischen den beiden IDP Systemen benötigt. Dies kann entweder direkt gegenseitiges Vertrauen sein, oder das Vertrauen in eine dritte Instanz. Diese Vertrauensverhältnisse müssen für ein digitales Identitätsmapping auch digital abgebildet werden. Direktes Vertrauen zwischen IDP Systemen wird beispielsweise bei SAML2.0 oder OAuth durch das Hinterlegen von Zertifikaten oder Token ausgedrückt. (Hühnlein et al., 2020) Hier wird für ein System ein Zertifikat oder Token erzeugt, welches in einem anderen als vertrauenswürdig hinterlegt wird. Die Abbildung von indirekten Vertrauensverhältnissen kann z.B. durch qualifizierte elektronische Signaturen (QeS) (Europäisches Parlament, 2014) erfolgen. Ist eine Vertrauensbasis geschaffen, können Identitätsdaten vertraulich und integritätsgeschützt ausgetauscht und abgeglichen werden, was die grundlegende Voraussetzung für das Mapping von Identitäten ist.

Eine Person kann in der EU eindeutig per Vor- und Nachname, Geburtsname, Geburtsort, Geburtstag, aktueller Wohnort und Geschlecht identifiziert werden. Sind diese Informationen in beiden IDPs vorhanden, können Personen eindeutig gemapped werden. Haben beispielsweise zwei Bildungsträger diese Identitätsdaten, können Identitäten, die bei verschiedenen Bildungsträgern vorhanden sind anhand dieser Identitätsdaten automatisch gemapped werden, wobei eben genannte Daten notwendiger Weise übertragen werden müssen.

Per eID erhaltene Identitätsdaten, unterliegen jedoch besonderem Schutz, sie dürfen explizit nur in der Domain verwendet werden, in der sie abgefragt wurden. Damit können sie nicht für ein automatisches Mapping wie eben beschrieben verwendet werden. Auch falls nicht alle Daten um eine Person eindeutig zu identifizieren vorhanden sind, ist ein automatisches Mapping nicht zweifelsfrei möglich. Dieser Fall kann durch ein Nutzermanuelles Mapping gelöst werden. Dabei muss sich die Person mit beiden Identitäten, bei beiden IDPs, anmelden die gemapped werden sollen. Technisch muss sich die Person zunächst bei einem IDP authentisieren, dieser wird mappender IDP genannt. Danach wird die Person an einen zweiten IDP weitergeleitet und muss sich dort ebenfalls



authentisieren, dieser wird bereitstellender IDP genannt. Nach der Authentisierung erzeugt der bereitstellende IDP einen Bereitstellungstoken das den Nachweis der Authentisierung und ein eindeutiges Identifikationsmerkmal der Person enthält und leitet den Nutzer zurück zum mappenden IDP. Dieser prüft den Bereitstellungstoken und extrahiert das Identifikationsmerkmal. Der mappende IDP kann nun der Person das Identifikationsmerkmal des bereitstellenden IDP zuordnen.

Das Nutzer-manuelle Mapping hat einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem automatischen Mapping: Das vom bereitstellenden IDP übergebene Identifikationsmerkmal muss nicht dem intern genutzten Identifikationsmerkmal entsprechen. Das ermöglicht ein Vorgehen vergleichbar mit dem Pseudonymprinzip der eID. Dabei wird für jede eID-Domain, bei der sich eine Person per eID anmeldet ein neues Pseudonym erzeugt, so dass eine Wiedererkennung zwischen Anwendungen behindert bzw. zumindest erschwert wird. Im Mapping Fall, kann der bereitstellende IDP für jeden mappenden IDP ein eigenes neues Pseudonym für die Person erzeugen. Im Falle eines zentralen IDP, ist es einer Person mit dieser Vorgehensweise möglich, alle Identitäten zentral zu verwalten und SSO wird ermöglicht. Im Falle von SSI, kann eine Person verschiedenen Identitäten in der eigenen Wallet „sammeln“ und sich so gegenüber verschiedenen SP selbstsouverän authentisieren.

## **Fazit**

Durch den Einsatz von eID- und anderen zentralen, wenn auch weniger gesicherten, Authentisierungsverfahren, den Einsatz von Wallets steigt die Zahl der Identitäten, die eine Person besitzt. Das Mapping von Identitäten ist technisch möglich, es sind jedoch die organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten, die spezielle Vorgehensweisen wie bspw. das Verwenden von Pseudonymen erforderlich machen.

## **Quellen**

- Strack, H., Gollnick, M., Karius, S., Lips, M., Wefel, S., Altschaffel, R., Bacharach, G., Gottlieb, M., Pongratz, H., Radenbach, W. & Waßmann, A. (2022). Digitization of (Higher) Education Processes: Innovations, Security and Standards. EPiC Series in Computing, 86, 22–29. <https://doi.org/10.29007/rrg4>
- Strack, H., Karius, S., Gollnick, M., Lips, M., Wefel, S. & Altschaffel, R. (2022). Preservation of (higher) Trustworthiness in IAM for distributed workflows and systems based on eIDAS. 1617-5468. [https://doi.org/10.18420/OID2022\\_11](https://doi.org/10.18420/OID2022_11)
- Strack, H., Gollnick, M., Karius, S., Lips, M. (to be published 2023). Schlussbericht für das Teilvorhaben „Gesicherte Hochschul- und Bildungsdigitalisierung mittels Identitäten und Trust Services (eIDAS)“ der Hochschule Harz im Rahmen der Initiative Nationale Bildungsplattform
- OASIS. Security Assertion Markup Language (SAML) V2.0 Technical Overview. OASIS. <http://docs.oasis-open.org/security/saml/Post2.0/sstc-saml-tech-overview-2.0.html>
- OpenID Foundation. OpenID Connect specifications. OpenID Foundation. <https://openid.net/developers/specs/>
- Schwalm, S., Albrecht, D. & Alamillo, I., (2022). eIDAS 2.0: Challenges, perspectives and proposals to avoid contradictions between eIDAS 2.0 and SSI. In: Roßnagel, H., Schunck, C. H. & Mödersheim, S. (Hrsg.), Open Identity Summit 2022. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 63-74). DOI: 10.18420/OID2022\_05
- Preukschat, A. & Reed, D. (2021). Self-Sovereign Identity. Manning Publications.

Europäisches Parlament. (2014). Verordnung (EU) Nr. 910/2014 (eIDAS-Verordnung).  
<http://data.europa.eu/eli/reg/2014/910/oj>

Hühnlein, D., Hühnlein, T., Hornung, G. & Strack, H. (2020). Towards Universal Login. In  
Open Identity Summit 2020 (S. 193–200). Gesellschaft für Informatik e.V.  
[https://doi.org/10.18420/ois2020\\_18](https://doi.org/10.18420/ois2020_18)

# The CELSIUZ Interaction Room: the Vision of a Decision Theatre from an IT Perspective

Andreas Schulz<sup>1</sup>, Michal Dostál<sup>2</sup>, Jörg Lässig<sup>1,3</sup>

1 University of Applied Sciences Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau, Germany

2 Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Czech Republic

3 Fraunhofer IOSB AST, Wilhelmsplatz 11, 02826 Görlitz, Germany

## Abstract

We present our previous and current work for the CELSIUZ Interaction Room, which aims to provide a technology-enabled space for Co-Creation. We describe the established keyboard video mouse (KVM) setup, the associated challenges in terms of the chosen technology as well as possible usage scenarios, and outline our current plus prospective further solutions to improve the setup towards a vibrant and prolific work and collaboration environment, to enable simulation, presentation, training, and teaching use cases and supporting decision-making processes, among others.

## 1. The CELSIUZ Interaction Room

The CELSIUZ is a transfer laboratory of the University of Applied Sciences Zittau/Görlitz and a Co-Creation space located in Zittau, which intention is to serve the exchange and transfer of research with business and society. As part of the CELSIUZ, the so-called Interaction Room was planned, among other things, which intends to promote and support this exchange with its technical equipment. It is designed to help sketch, simulate, and validate ideas but also to present, teach, and train.



Figure 1: The CELSIUZ Co-Creation Lab with its Co-Creation area (left) and the Interaction Room (right) (photographer: Martin Kunack).

The Interaction Room (see: Figure 1 right) consists of six desks with two monitors each and a display wall consisting of six monitors (3x2 arrangement). Linked to this in a separate server room are six computers, five of which provide two graphics outputs each, and a more powerful computer with six graphics outputs. The link between monitors and computers is the KVM technology, consisting of input and output modules, which are responsible for converting the KVM signals into network packets and converting them back. In between is a KVM router that enables the free switching of inputs to outputs. On the one hand, this enables the spatial decoupling of monitors and computers and, on the other hand, any graphics output of this setup can be switched to any

monitor, whereby signals can also be output to several monitors without any problems. In the opposite direction, control signals (i.e., keyboard and mouse signals) are passed on from the desks to the computers. This enables, for example, several workstations to control the same computer. Thus, this hardware equipment supports the desire to promote cooperation and exchange between the actors and to work together on solutions in a goal-oriented manner, thus offering Co-Creation a place to flourish.

## **2. Usage scenarios**

The CELSIUZ was established as a central point for the topic of supply infrastructures for all Saxon universities of applied sciences as part of the Saxony5 joint project (Smart University Grid - Wissenströme intelligent vernetzen). In the follow-up project Saxony5 2.0 (Sustained University Grid), the focus is broadened to include more aspects of sustainability and the environment. A research focus of the University of Applied Sciences Zittau / Görlitz deals with energy technologies as part of its research profile *Energy and the Environment*. Energy supply and infrastructure operators, e.g. in the area of critical infrastructures (KRITIS), often have elaborate control centers consisting of large display walls and are equipped with just such KVM hardware. The simulation of such control centers was the main motivation for using the KVM technology. The objective was to be able to reproduce and simulate such control rooms. Furthermore, the Decision Theatre at Arizona State University, as described in (Edsall & Larson, 2006) and (Miller, 2019) served as a model for the vision of making suitable content available and being able to discuss and even edit it cooperatively.

In addition, the use in teaching or for presentations should benefit as much as possible from the great flexibility. The technology of the Interaction Room can be used in different configurations for this very presentation, but also for collaborative work on content. The display wall can be operated in different modes (e.g. six separate displays, a 4+2 setup, where four screens are combined into one big picture and next to it are two small screens or, as a whole, with one joined content over the entire display wall) or content can also be played out over the workstations. Different models of interaction can also be realized (e.g. front-of-class, mutual exchange, and joint editing of content by working together from multiple workstations). The Interaction Room should support as many cases as possible and facilitate the necessary interaction with as little disruption as possible.

## **3. Challenges of the KVM setup**

Unfortunately, the reality in the face of the high degree of desired flexibility looks different. Classical hardware KVM's typically provide an on-screen display (OSD) and the possibility to configure shortcuts for interaction. Both options are not easily accessible and entail considerable limitations in their interaction with the associated KVM technology. The KVM solution used in the Interaction Room at the CELSIUZ is provided by hardware by HETEC GmbH, specifically the V-Switch-Compact. The KVM switch provides a configuration interface in the form of an OSD that is accessible by a specific keyboard shortcut entered on any workstation connected to this switch. From there, the user can perform switching operations of input and output connections. However, this workflow is complicated and cumbersome and implies a steep learning curve.

The number of definable shortcuts is usually quite limited (e.g., 12 or 24 shortcuts maximum) and thus only offers an option for predictable switching scenarios. The shortcuts

need to be preconfigured for predefined scenarios - and due to the limited number, are also limited to these. However, this presupposes that the number of scenarios can be defined in advance. This restriction is not practicable, especially not for our desire for high flexibility in the application scenarios.

The OSD, on the other hand, is not suitable for ad hoc switching of several screens in our specific case but only allows individual switching one after the other. This inevitably leads to unacceptable switching times. Moreover, the general switching times of the KVM in our concrete setup are not insignificant (up to about one to two seconds). This is only suitable to a limited extent for particularly dynamic content changes and increases the desire for more seamless content orchestration.

The obstacles to mastering the OSD and the shortcuts are high. However, with their concrete restrictions, they also limit the user in the flexibility to distribute and place content. In addition, the KVM technology does support interaction, in that specific computers can be controlled from several workstations. But even these possibilities are quite limited due to the technical conditions of the KVM (only one user at a given time and again not insignificant switching times between user changes).

#### 4. Current and prospective solutions

The hardware-technical solution results in several limitations and challenges, which we have tried to counteract and solve with the conception and realization of software-technical solutions. These include two mobile apps that ease control and use, as well as a prototype that is intended to facilitate the distributed playout of content and the interactive editing of this content. These solutions are briefly outlined below.

To achieve greater flexibility in working with the KVM technology, we have used an existing API interface of the KVM switch and made it available via a service. Based on this interface, we have developed two mobile apps (a Progressive Web App (PWA) and an Android app) to control our premises. With the help of these apps, the user is made free from the classic control options and, due to the flexibility gained, has more degrees of freedom in the individual control of the specific technology.



Figure 2: The Interaction Room in action: (left, photographer: Stephan Flad) the display wall used for presentation and discussions and (right) while development of the control apps, showing the LeitstandsApp PWA on a touch table in the back of the Interaction Room, from which the whole setup can be controlled.

In doing so, the PWA enables easier switching of KVM technology without having to rely on OSD or shortcuts, provides greater flexibility in configuring scenarios and extends

the possibilities with specialized Virtual Desktop (VD) switching, and enables even more powerful switching by integrating and coupling these possibilities with classic KVM switching, in a so-called presentation mode. The user benefits from greater flexibility and more intuitive use. In addition, a second Android app offers the possibility to control the Interaction Room with the hardware buttons of a standard mobile phone, just like a PowerPoint presentation can be controlled with a standard remote presenter and thus frees the user from the complexity of the technology and allows him to focus on the presentation of his or her content.

The possibilities of KVM technology and virtual desktop switching are flexible but still insufficient for particular application scenarios. It requires additional concepts that enable control of the content on several computers, for example, if one wants to use all 18 monitors as an output surface for presentation purposes, e.g., in a showroom setup.

Furthermore, the current setup does support the shared control of a computer (and thus the connected screens) over several workstations. However, the control using the KVM capabilities is competing. This restricts truly cross-device interaction. There is a need to allow more complex forms of interaction where multiple users can interact simultaneously and with each other rather than just split mouse and keyboard control. Software KVMs as alternative approaches do not offer a serious solution for either problem in their current form, as they only address partial problems. Web-based distributed user interfaces (DUI), on the other hand, promise more flexible delivery of web-based content to any output device (Monroe & Dugan, 2015) and, in combination with techniques of web-based collaborative software, also more flexible possibilities for interaction.

As part of the work on the Interaction Room, we have developed a proof of concept web-based DUI that makes the playout of content using web technologies more flexible and enables collaborative interaction on this content. The possible decoupling of the workstations could be further enhanced by connecting external locations and thus enable location-independent collaboration or even remote control of the KVM technology. This offers possible solutions for the challenges described above, even without the need for cost-intensive IP-based hardware KVMs.

The two mobile apps, including the VD switching and the presentation mode as well as the DUI prototype, create new possibilities that were previously not adequately realizable with pure KVM technology. The tools created thus expand and complement the range of applications of the infrastructure created. In addition, we developed further ideas to improve and enhance the interaction capabilities within the CELSIUZ Interaction Room.

## **Quellen**

Edsall, R., & Larson, K. L. (2006). Decision making in a virtual environment: Effectiveness of a semi-immersive “decision theater” in understanding and assessing human-environment interactions. *Proceedings of AutoCarto, 6*, 25–28.

Miller, & others., J. ., Salla, R. ., Amresh, A. ., Smith, H. ., Kandala, S. ., Hinrichs, M. ., Gorantla, R. ., Sokteva, E. ., Wei, F. ., Hirsch, K. (2019). *The Decision Theater: Collaborative Research Methodology* (DOE-SLC-6903-1). Arizona State University.

Monroe, M., & Dugan, C. (2015). Disperse: Enabling Web-Based Visualization in Multi-screen and Multi-user Environments. In J. Abascal, S. Barbosa, M. Fetter, T. Gross, P. Palanque, & M. Winckler (Hrsg.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015* (S. 418–435). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9_29)

# Verarbeitung strafrechtlich relevanter Daten in öffentlichen Cloud-Umgebungen – Ist das möglich?

Martin Morgenstern

Hochschule Stralsund, Zur Schwedenschanze 15 18435 Stralsund

## Zusammenfassung

Forensiker übersetzen zur Aufklärung von Straftaten regelmäßig rechtliche Fragestellungen in wissenschaftliche Fragen. Dazu ist es notwendig, Spuren – zunehmend auch digitale Spuren – zu sichern, die einen Tathergang stützen oder widerlegen können. Damit Spuren gerichtlich verwertbar sind, müssen sowohl die Integrität als auch die Authentizität der Spuren nachgewiesen werden. Unter Integrität ist zu verstehen, dass die Spur weder durch die Sicherung noch danach verändert wurde. Die Authentizität einer Spur besagt, dass diese auch tatsächlich die ihr zugesprochene Beweiskraft hat. (Dewald & Freiling, 2015)

In dieser Arbeit wird der Bereich der Digitalen Forensik betrachtet, der oft auch als Computer-Forensik bezeichnet wird. Hierbei könnte die Nutzung von öffentlichen Cloud-Diensten ein ortsunabhängiges und zeitsparendes kollaboratives Arbeiten ermöglichen, sodass keine Datenträger vorgehalten oder versendet werden müssten. Es soll untersucht werden, unter welchen Voraussetzungen digitale Beweismittel gerichtsverwertbar direkt in eine öffentliche Cloud-Umgebung gespeichert werden und verarbeitet werden können, ohne die Integrität und Authentizität zu verlieren.

## 1. Ausgangssituation

Die Akquise von digitalen Beweismitteln in Strafverfahren hat in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung zugenommen. Gleichzeitig sind auch die Datenmengen gestiegen. Seit Jahren ist in der Fachwelt die Notwendigkeit bekannt, Cloud- bzw. Big-Data-Lösungen für IT-Forensik zu nutzen, um die permanent steigende Datenmenge und Fallzahlen effizient bearbeiten zu können. (Tabona & Blyth, 2016) (Hack, 2021) (Jordaan, 2021)

Durch die Nutzung öffentlicher Cloud-Anbieter – wie etwa Amazon AWS und Microsoft Azure – zur Sicherung und Analyse digitaler Beweismittel könnten Ressourcen skalierbar und flexibel genutzt werden. Bisher müssen Forensik-Dienstleister eine große Anzahl an Datenträgern für forensische Sicherungen vorhalten, da diese im Ernstfall sofort verfügbar sein müssen. Eine langfristige Planung, Vorhaltung und Bereitstellung von Datenträgern würde bei der Nutzung öffentlicher Cloud-Anbieter entfallen, da notwendige Ressourcen in wenigen Sekunden hochskaliert werden könnten. Die Nutzung öffentlicher Cloud-Anbieter für die Sicherung und Analyse digitaler Beweismittel scheint in der Fachwelt bisher jedoch aufgrund rechtlich nicht geklärter Fragestellungen oder aufgrund sonstiger Vorbehalte quasi ausgeschlossen zu sein.



Eine denkbare Lösung ist nach Ansicht des Autors die Entwicklung einer Cloud-in-Cloud-Software inklusive entsprechender Upload-Clients, wie in Abbildung 1 dargestellt. In der zu entwickelnden Lösung müssten alle noch zu erhebenden Anforderungen zur Erhaltung der gerichtlichen Verwertbarkeit digitaler Spuren umgesetzt werden.

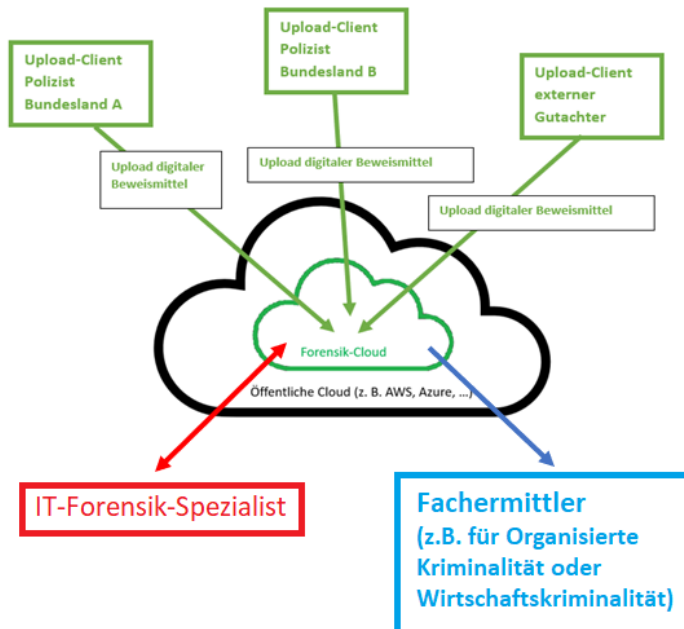


Abbildung 1 Darstellung Forensik-Cloud

## 2. Relevanz

Für eine effiziente Analyse digitaler Beweismittel ist es notwendig, dass kurzfristig auf geänderte Anforderungen reagiert werden kann. Dies ist schon aus vergaberechtlichen Gründen derzeit eine große Herausforderung für die Polizei. Durch die Nutzung einer öffentlichen Cloud-Infrastruktur kann der momentan vorhandene Bedarf kurzfristiger Anpassungsmöglichkeiten von Auswertumgebungen in kurzer Zeit realisiert werden.

Der Bedarf an IT-Forensik ist auch außerhalb der Strafverfolgungsbehörden permanent steigend. Beispielsweise hat die kassenärztliche Bundesvereinigung im Januar 2023 Dienstleistungen im Bereich Incident-Response und IT-Forensik im geschätzten Umfang von 500 TEUR für einen Zeitraum von 48 Monaten ausgeschrieben. (Kassenärztliche Bundesvereinigung K. d. ö. R., 2022)

IT-Forensik hat sich in den letzten Jahren zu einem wichtigen Geschäftsfeld privater Unternehmen entwickelt. Aufgrund der zunehmenden Zahl an IT-Forensik-Experten, ist absehbar, dass die Zahl von privaten Forensik-Dienstleistern in den nächsten Jahren zunehmen wird. Gerade für kleine Forensik-Firmen ist die Beschaffung von leistungsfähiger Hard- und Software jedoch eine große Hürde. Durch die Bereitstellung von Cloud-Lösungen für die IT-Forensik, die nicht nur Analyse-Tools, sondern die nahezu die komplett benötigte Infrastruktur, beginnend bei der forensischen Sicherung von Daten, umfasst, kann die Einstiegshürde in die Selbstständigkeit für IT-Forensiker deutlich gesenkt werden.

In der IT-Forensik gibt es viele Spezialgebiete, deren Anzahl permanent steigend ist. Neben der Quantität an Daten nimmt jährlich auch die Anzahl möglicher Datenquellen zu (Morgenstern et al., 2022). Dies hat dazu geführt, dass gerade kleinere Forensik-Dienstleister sich häufig auf einen Bereich der Computerforensik spezialisiert haben. Hierbei kann es sich um Spezialisten für die Auswertung bestimmter Datenarten, z.B. Multimedia-Forensik (Böhme et al., 2009), aber auch um Spezialisten für bestimmte Datenquellen handeln wie etwa KFZ-Forensik (Hansen, 2021). Die zu entwickelnde Forensik-Cloud soll eine anbieterunabhängige Möglichkeit zur Zusammenarbeit verschiedenster IT-Forensik-Spezialisten ermöglichen.

### **3. Methodik**

Zur Schaffung eines ersten Überblicks der Thematik wurde ein Scoping-Review durchgeführt. Basierend auf den Erkenntnissen des Scoping-Reviews werden Experten-Interviews nach Helfferich vorbereitet. (Helfferich, 2014)

Als Experten werden Personen mit langjähriger Erfahrung im Bereich Computerforensik oder Cybercrime-Ermittlungen interviewt. Weitere Auswahlkriterien für die Experten sind:

- Prozesserfahrung der Experten
- Verschiedene Rollen der Experten (z. B. externe Gutachter und polizeiliche Ermittler)
- Verfügbarkeit der Experten im geplanten Befragungszeitraum

Insgesamt sollen vier oder fünf Experten befragt werden. Die Interviews werden im April und Mai 2023 durchgeführt und mit einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet (Mayring, 2016). Die Ergebnisse der Interviews sowie der sonstigen Recherchen werden genutzt, um Anforderungen an eine Forensik-Cloud zu definieren. Die definierten Anforderungen werden in verschiedene Kategorien – etwa rechtliche und funktionale Anforderungen – unterteilt. Im nächsten Schritt soll eine Prioritätenliste der Anforderungen erstellt werden. Dabei werden die Anforderungen in unverzichtbare und optionale Anforderungen eingeteilt; erstere werden bei der Priorisierung höher bewertet.

Als Ergebnis des Projekts soll ein Demonstrator entwickelt werden, der sowohl die Server- als auch die Clientsoftware enthält. Die Entwicklung soll agil und im ständigen Austausch mit der Fachwelt erfolgen. Mögliche Organisationsformen sind Scrum oder Kanban.

### **4. Zwischenergebnisse und Ausblick**

Es wurde dargelegt, dass aufgrund permanent steigender Quantität und Komplexität von Daten deren Akquise und Auswertung mit traditionellen Methoden bereits heute kaum noch umsetzbar sind. Es gibt bereits Lösungsansätze und Produkte mit denen Daten in Cloud-Umgebungen bzw. einer klassischen Client-Server-Architektur gesichert und analysiert werden können. Die bisherigen Lösungen sind jedoch herstellerabhängig.

Ein primäres Ziel des Forschungsprojekts ist es, eine gerichtsfeste Sicherung digitaler Beweismittel direkt in Cloud-Umgebungen für jedermann zu ermöglichen, unabhängig

ob es sich dabei um Polizisten oder Privatpersonen handelt, die Opfer eines Cyberangriffs geworden sind. Dies ist mit bisherigen Lösungen nach Ansicht des Autors nicht möglich, da sowohl technisches Spezialwissen als auch häufig die Konfiguration einer Client-Software notwendig sind.

Im geplanten Forschungsvorhaben liegt der Fokus bei der Speicherung und gemeinsamen Analyse strafrechtlich relevanter Daten in öffentlichen Cloud-Umgebungen. In einem möglichen Folgeprojekt kann untersucht werden, wie ein rechtssicherer Zugriff von Justiz und Anwälten auf relevante Verfahrensdaten umgesetzt werden kann.

## 5. Literaturverzeichnis

- Böhme, R., Freiling, F., Gloe, T., & Kirchner, M. (2009). *Multimedia-Forensik als Teildisziplin der digitalen Forensik* [Aufsatz]. <https://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings154/gi-proc-154-115.pdf>
- Dewald, A., & Freiling, F. C. (Hrsg.). (2015). *Forensische Informatik* (2. Auflage). BoD - Books on Demand.
- Hack, U. (2021, September 8). What's the real story behind the explosive growth of data? *Redgate*. <https://www.red-gate.com/blog/database-development/whats-the-real-story-behind-the-explosive-growth-of-data>
- Hansen, S. (2021, Dezember 23). *Car-Forensiker: Wie werden eigentlich Daten aus den Autos analysiert?* [Heise online]. c't Magazin. <https://www.heise.de/news/Car-Forensiker-Wie-werden-eigentlich-Daten-aus-den-Autos-analysiert-6292428.html>
- Helfferrich, C. (2014). Leitfaden- und Experteninterviews. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 559–574). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_39)
- Jordaan, J. (2021). *2021 SANS Digital Forensics Survey: Digital Forensic Essentials and Why Foundations Matter*. <https://www.sans.org/white-papers/40420/>
- Kassenärztliche Bundesvereinigung K. d. ö. R. (2022, Dezember 16). *Öffentliche Ausschreibung Berlin 2022 Rahmenvertrag digitale Forensik und Incident-Response 2022-12-16*. Öffentliche Ausschreibungen Deutschland. [https://ausschreibungen-deutschland.de/1002019\\_Rahmenvertrag\\_digitale\\_Forensik\\_und\\_Incident-Response\\_2022\\_Berlin](https://ausschreibungen-deutschland.de/1002019_Rahmenvertrag_digitale_Forensik_und_Incident-Response_2022_Berlin)
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken* (6., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Morgenstern, M., Fähndrich, J., & Honekamp, W. (2022). *Ontology in the Digital Forensics Domain: A Scoping Review*. Gesellschaft für Informatik, Bonn. [https://doi.org/10.18420/inf2022\\_05](https://doi.org/10.18420/inf2022_05)
- Tabona, O., & Blyth, A. (2016). A forensic cloud environment to address the big data challenge in digital forensics. *2016 SAI Computing Conference (SAI)*, 579–584. <https://doi.org/10.1109/SAI.2016.7556039>

# Multi-Klassen-Erkennung mit tiefen Lernarchitekturen des Typs VGG-19

Joshua Oppel, Martin Patrick Pauli, Martin Golz

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Blechhammer 4, 98573 Schmalkalden

## Abstract

Tiefe Faltungsnetze gehören neben den tiefen rekurrenten Netzen zu den Methoden der computerbasierten Intelligenz, die in den letzten zehn Jahren zu bahnbrechenden Erfolgen in der Bild- und Audiosignalverarbeitung geführt haben. In diesem Beitrag werden Faltungsnetze vom Typ VGG-19 eingesetzt und es wird der Frage nachgegangen, wie gut computergrafisch generierte Objekte klassifiziert werden können, die in relativ hoher Anzahl und in verschiedenen Projektionen erzeugt wurden. Je Objektklasse wurden 9.072 Beispiele generiert und es wurde untersucht, wie stark die Klassifikationsgenauigkeit von der Anzahl der Objektklassen abhängen. An drei balancierten Datensätzen mit 19, 119 und 219 verschiedenen Objektklassen wurden Klassifikationsgenauigkeiten von 97,7%, 92,5% bzw. 86,7% erreicht. Es werden mögliche Gründe für diese Tendenz diskutiert.

## 1. Einleitung

Tiefe Faltungsnetze (CNN, convolutional neural networks) [1] erreichen seit dem Jahr 2012 bahnbrechende Erfolge in der Bildanalyse und Mustererkennung [2]. Aufgrund der tiefen hierarchischen Anordnung von adaptiven digitalen Filtern mit schwacher Nichtlinearität erreichen diese Netze hohe Klassifikationsgenauigkeiten, ohne dass besondere Maßnahmen in der Signalerfassung, der Datenvorverarbeitung oder der Merkmalsextraktion getroffen werden müssen. CNN verarbeiten Rohdaten und benötigen allerdings hohe Rechenkapazitäten und mächtige Stichproben, um ihr Potential voll entfalten zu können. Wichtige Anwendungsgebiete sind vor allem die Bild- und Videoverarbeitung, die Verarbeitung natürlicher Sprache, Gehirn-Computer-Schnittstellen und die Analyse finanzieller Zeitreihen. Die Erfolge wurden nicht nur wegen der besonderen Architektur und umfassenderen Spektrums an Trainingsalgorithmen ermöglicht, sondern insbesondere auch wegen der entstandenen sehr großen, öffentlich zugänglichen Bilddatenbanken, wie zum Beispiel die ImageNet-Daten [3], und wegen der Hochleistungs-Computersysteme, unter anderem begründet durch Fortschritte in der GPU-Technologie und durch groß angelegte verteilte Systeme. Ein Meilenstein in der Entwicklung tiefer Faltungsnetze war das Netz VGG-19, der Visual Geometry Group der Universität Oxford, das aus 19 neuronalen Schichten besteht [4].

## 2. Material und Methoden

Mit dem Echtzeit-3D-Betrachter LDView wurden Bilder von Klemm-Bausteinen des dänischen Spielzeugherstellers LEGO® computergrafisch generiert [5]. Diese quelloffene Software wird von einer Entwicklungsgemeinschaft stetig weiterentwickelt und enthielt im Jahre 2022 14.782 Modelle von Lego-Bausteinen. Es wurden pro Klasse (Bausteinart) 9.072 Trainingsbeispiele und 1.890 Validierungsbeispiele (82,8% / 17,2%) erzeugt. Die Beispiele unterscheiden sich bzgl. der Rotationsmatrix des Objektes. Es wurden Dre-

hungen um 7 fixierte Achsen und je Achse eine 360°-Drehung in 5°-Schritten ausgeführt. Dies führt zu einer Anzahl an Rotationen von  $7 \cdot 72 = 504$ . Zudem wurde die Richtung des Beleuchtungsvektors in 9 festgelegten Varianten verändert. Eine weitere Variation wurde durch Ein- und Ausschalten der Kontourlinien (Umrandung um das Modell) ausgeführt. Damit entstand pro Klasse eine Gesamtmenge von  $7 \cdot 72 \cdot 2 \cdot 9 = 9.072$  Bildern. Mit zufällig gewählten Parametern der Rotationsmatrizen und des Beleuchtungsvektors wurden die 1.890 Elemente der Validierungsmenge generiert. Alle Bilder wurden als RGB-Tensor im Format  $224 \times 224 \times 3$  gespeichert. Im verlustfrei komprimierten Rastergrafik-Bildtyp PNG lag die Speichermenge bei nur 11,1 KB/Bild. Durch die Wahl von bis zu 219 verschiedenen Klassen und  $9.072 + 1.890$  Beispielen pro Klasse lag der Speicherumfang des Datensatzes bei 26,65GB. Alle Bilder hatten einen einfarbigen Hintergrund und enthielten keine weiteren Objekte. Hier wurden drei verschiedene Datensätze mit 19, 119 und 219 Klassen erzeugt, um den Einfluss der Klassenanzahl untersuchen zu können.



Abbildung 1: Beispiele der generierten Bilder von Klemm-Bausteinen, wie sie für das Training verwendet wurden.

Die so generierten RGB-Tensoren waren die Eingangsdaten des Faltungsnetzes vom Typ VGG-19 [4]. Dieses Netz ist dadurch charakterisiert, dass es in allen Faltungsschichten mit sehr kleinen Kernmatrix-Formatparametern von  $3 \times 3$  arbeitet. Nach zwei oder vier hintereinander angeordneten Faltungsschichten liegt eine Bündelungsschicht (maximum pooling), die die Breite und Höhe der nächsten Faltungsschicht halbiert. Im Gegenzug wird die Tiefe der Schicht verdoppelt. Durch dieses Prinzip hat bspw. die erste Faltungsschicht ein Format von  $224 \times 224 \times 64$ . Nach der ersten, zweiten und dritten Bündelung beträgt das Format  $112 \times 112 \times 128$  bzw.  $56 \times 56 \times 256$  bzw.  $28 \times 28 \times 512$ ; nach der fünften Bündelung liegt es bei  $7 \times 7 \times 512$ , da die Autoren festgelegt hatten, ab der vierten und fünften Bündelung die Tiefe nicht mehr zu verdoppeln, sondern konstant zu lassen. Danach folgen drei vollständig verbundene Schichten mit 4096, 4096 und 1000 Neuronen. Die letzte Zahl war durch den Datensatz vorgegeben, da er 1000 Klassen enthielt. Hier wurde dieser Parameter abgeändert auf die jeweils gegebene Klassenanzahl (19, 119, 219) und das Netz wurde nachtrainiert nach dem Prinzip des Transfer-Lernens. Um die erforderliche Trainingszeit zu reduzieren, wurde eine zwanzigste Faltungsschicht eingefügt mit anschließender Bündelung (average pooling), sodass die nachfolgenden vollständig verbundenen Schichten auf je 256 Neuronen begrenzt werden konnten und die letzte Schicht enthielt für jede Klasse ein Neuron, um mit der Soft-

Max-Aktivierungsfunktion [6] die klassenbedingte Wahrscheinlichkeitsschätzung ausgeben zu können. Die Anzahl der zu trainierenden Parameter lag bei  $\approx 1,23 \cdot 10^8$ , während sie beim ursprünglichen VGG19-Netz bei  $\approx 1,44 \cdot 10^8$  lag.

Für die numerischen Untersuchungen diente ein moderner Arbeitsplatz-Computer mit GPU-Subsystem (NVIDIA RTX 2070). Die Bildgenerierung erforderte ca. 23 Tage Rechenzeit, während das Nachlernen und die Validierung ca. 15 bzw. 0,5 Tage benötigte.

### 3. Ergebnisse

Die Objekte einiger Klassen wiesen nur geringfügige Unterschiede in ihrer Form auf. Einige waren sogar identisch und unterschieden sich nur durch einen Aufdruck. Diese Objekte waren relativ flach. Solche Objektklassen lassen sich nur schwer unterscheiden.

Die Software LDView zum Erstellen fotorealistischer Bilder der Objekte aus unterschiedlichen Perspektiven stellte sich als nicht gänzlich fehlerfrei heraus. Aufgrund einer mangelhaften Clipping-Prozedur konnte es in seltenen Fällen vorkommen, dass die Kamera innerhalb des Objektes lag und somit die generierten Bilder unrealistisch waren.

Für den ersten Datensatz (19 Klassen) wurden mittlere Top-1- und Top-5-Genauigkeiten von 97,71% bzw. 99,99% an der Validierungsmenge erreicht. Die Klasse mit der geringsten Top-1-Genauigkeit lag bei 89,26%. Für den zweiten Datensatz (119 Klassen) wurden mittlere Top-1- und Top-5-Genauigkeiten von 86,38% bzw. 98,28% erzielt. Beim dritten Datensatz (219 Klassen) lag die Top-1-Genauigkeit bei 86,68%.

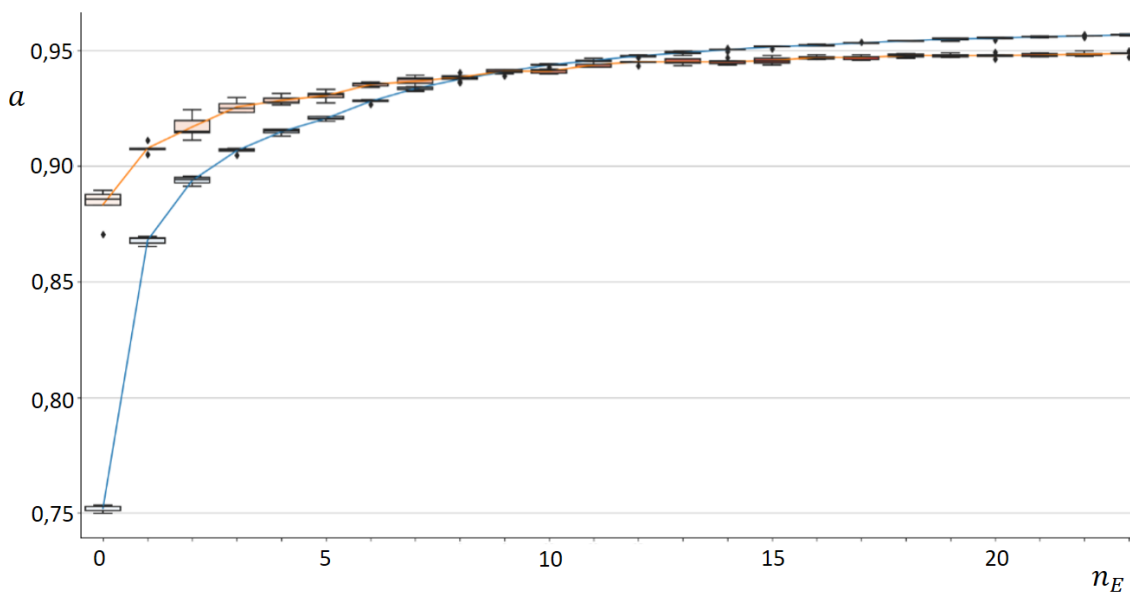


Abbildung 2: Perzentile der Klassifikationsgenauigkeiten an Trainings- (blau) und Validierungsmengen (orange) über der Anzahl der Trainingsepochen für den größten Datensatz mit 19 Objektklassen und ca. 1,9 und 0,41 Millionen Trainings- bzw. Validierungsbeispielen.

Die Zwischenergebnisse der fünffachen Kreuzvalidierung im Trainingsverlauf wurden für den ersten Datensatz gespeichert, sodass die Perzentile der Genauigkeitsverteilung als Kastengrafik über der Epochenanzahl dargestellt werden können (Abbildung 1). Die Kästen werden durch das untere und obere Quartil begrenzt und enthalten das mittlere

Quartil (Median). Während die Trainingsgenauigkeit anfangs geringer ist als die Validierungsgenauigkeit, kommt es ab Epoche 9 zu umgekehrter Relation beider. Das Training wurde nach 23 Epochen abgebrochen, obwohl die Trainingsgenauigkeit noch eine leicht steigende Tendenz hat, die aufgrund der sehr geringen Streuung noch signifikant ist. Aber die Validierungsgenauigkeit befindet sich seit Epoche 16 auf einem Plateau und es sind keine signifikanten Steigerungen mehr nachweisbar.

#### **4. Diskussion**

Mit erhöhter Anzahl der Klassen von 19 auf 119 und auf 219 verringerte sich die Validierungsgenauigkeit, obwohl der Stichprobenumfang proportional anwuchs, denn stets wurden 9.072 Beispiele pro Klasse generiert. Die Ursache scheint in der begrenzten Kapazität der Hypothesenklasse des verwendeten Faltungsnetzes zu liegen. Offenbar waren die von uns vorgenommenen Modifikationen durch Hinzufügen einer weiteren Faltungsschicht mit Bündelung und die sich ergebende Verringerung der Größe der vollständig verbundenen Schichten zu kräftig, um die erhöhte Diversität der Trainingsmenge beherrschen zu können. Diese ersten Untersuchungen müssen fortgesetzt werden und es sollte ermittelt werden, welche Architekturänderungen die Validierungsgenauigkeit bei hoher Klassenanzahl signifikant anheben. Dazu sind allerdings erheblich größere Berechnungs-Ressourcen erforderlich.

#### **Quellen**

- [1] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT press.
- [2] Hinton GE, Krizhevsky A, & Sutskever I (2012) Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural information processing systems 25(1):1106-14
- [3] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L. J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. Proc. IEEE Conf Computer Vision Pattern Recognition: 248-255
- [4] Simonyan K & Zisserman A (2014) Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint:1409.1556
- [5] Ldraw.org; Parts & Tools: Latest Parts, 2022.  
online verfügbar: <https://www.ldraw.org/parts/latest-parts.html>
- [6] Aggarwal, C. C. (2018). Neural networks and deep learning: A textbook. Springer.

**Teil 4**

**Ingenieurwissenschaften**



# Merkmalsextraktion mit TSFresh zur lernfähigen prädiktiven Wartung einer Reinstwasser-Aufbereitungsanlage

Tim Trostmann, Martin Patrick Pauli, Martin Golz

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Blechhammer 4, 98573 Schmalkalden

## Abstract

TSFresh ist eine frei verfügbare Python-Funktionsbibliothek, um aus gespeicherten Signalen eine umfassende Anzahl von Merkmalen zu extrahieren. Sie enthält auch skalierbare Hypothesentests, um Merkmale zu selektieren. Dies wurde auf vibroakustische Signale für die prädiktive Instandhaltung angewendet, um eine vorerst binäre Klassifikationsaufgabe zu lösen: die Diskrimination von degenerierten von neuwertigen Filtern. Es zeigte sich, dass TSFresh nicht performant genug war, um den vollständigen Datensatz in angemessener Abarbeitungszeit zu analysieren. Zudem war die Merkmalsselektion nicht so erfolgreich, wie eine selbst erstellte Methodik basierend auf zwei Kriterien, die die Gradient-Boosting-Methode LightGBM zur Verfügung stellt. Mit ihr konnten mittlere Genauigkeiten von 99,4% erzielt werden. Mit der LOSO-CV (leave one subject out cross-validation) wurden Probleme der interindividuellen Variabilität im Datensatz aufgedeckt.

## 1. Einleitung

Die Instandhaltungskosten nehmen einen großen Anteil an den Gesamtbetriebskosten eines produzierenden Unternehmens ein. Je nach Branche können die Instandhaltungskosten zwischen 15% und 30% der Produktionskosten ausmachen. Von einigen Autoren wurde beispielsweise für die Lebensmittelindustrie der durchschnittliche relative Anteil der Instandhaltungskosten mit etwa 15% angegeben, während sie in der Eisen- und Stahlindustrie, der Zellstoff- und Papierindustrie und anderen rohstoffverarbeitenden Industrien bei bis zu 60% liegen [1,2]. Eine Strategie, diesen Kostenanteil zu senken, besteht in der Abkehr von der regelmäßigen Wartung, teils auch nicht verschlissener Bauteile, hin zur prädiktiven Wartung, bei der kritische Bauteile überwacht werden (condition based monitoring) und die verbleibende sinnvolle Betriebszeit (RUL, Remaining useful life) prädiziert wird. Mit fortschreitender Digitalisierung der industriellen Prozesse (Industrie 4.0) werden immer umfassender Daten gesammelt und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Prozessen analysiert, sodass die Wartungsprädiktion durch diese Einbettungsdaten und durch zustandsbezogene Überwachung von systemkritischen Teilen gelöst werden kann.

Datensätze der prädiktiven Wartung sollten möglichst mächtig sein, denn dies ist ein entscheidender Erfolgsfaktor des statistischen Lernens, das immer dann zum Einsatz kommt, wenn eine Modellbildung des zu untersuchenden Prozesses zu schwierig ist. Da die Beobachtungen, meist Sensorsignale, vielen Einflüssen unterliegen, sind die Nutzsignale von den überlagerten Zufallsanteilen schwer zu separieren, so dass optimale Merkmale extrahiert und selektiert werden sollten. Dadurch erreicht man eine beträchtliche Reduktion der Dimensionalität der Eingangsvariablen für das statistische Lernen. Diese Lernverfahren wiederum müssen optimiert werden, sodass es weder zu

Über- noch zu Untereinpassungen des intrinsischen Modells an die gegebene Verteilung des Eingangsvariablen kommt.

In diesem Beitrag soll demonstriert werden, wie aus einem Datensatz der prädiktiven Wartung mit einer aktuell verfügbaren Funktionsbibliothek automatisch eine umfangreiche Menge diverser Merkmale extrahiert werden kann und wie diese angewendet werden können, um eine generalisierungsfähige Abbildung der Merkmalsvektoren auf die Zielvariablen zu erzielen. Der Einfachheit halber soll die Zielvariable binär sein, d.h. inaktiver oder degenerierter Zustand eines kritischen Bauteils.

## 2. Material und Methoden

Bei den Daten, welche zum Trainieren und Validieren der statistischen Lernmethode verwendet wurden, handelt es sich um Signalaufzeichnungen, welche direkt für das Ziel der prädiktiven Instandhaltung (predictive maintenance) aufgenommen wurden. Erfasst wurden diese an einer Anlage zur Filterung von Reinwasser auf Reinstwasserniveau. Wie in jedem Filtersystem degeneriert der Filter zunehmend, bis er schließlich so hohen Strömungswiderstand aufweist, dass Pumpen wegen thermischer Überlastung abschalten müssen. Es wurden Strömungsgeräusche indirekt als Körperschall an Außenflächen diverser Bauteile der Filteranlage (Rohre, Vorfilter, Umkehrosmose-Aggregat) mithilfe von Universal-Beschleunigungssensoren (KS78B100, Firma: Metra Mess- & Frequenztechnik e.K., Radebeul, Deutschland) gemessen. Für beide Klassen wurde ein Zeitraum von 48 Stunden Pumpenlaufzeit jeweils vor und nach einem Filterwechsel gewählt. Insgesamt lagen Aufzeichnungen von fünf Filterwechseln vor. Die Sensoren erfassen Schwingungen im vibroakustischen Bereich, der unterhalb von 1Hz beginnt und über 100 kHz endet. Hier wurde aus Aufwandsgründen mit einer Abtastfrequenz von 16 kHz und passenden Anti-Aliasing-Tiefpass-Filtern aufgezeichnet und somit die obere Grenzfrequenz auf 8 kHz beschränkt. Bei 240 Stunden Aufnahmezeit entspricht dies ca. 13,8 Milliarden Abtastwerten. Diese Signale werden später in 60 Sekunden lange Signalsegmente unterteilt, um möglichst viele Beispiele für das statistische Lernen zu erhalten. Die damit verbundene Einschränkung der unteren Grenzfrequenz wird als unkritisch erachtet, weil Schwingungen mit Periodendauern von mehr als 60s als irrelevant angenommen werden.

Die Merkmalsextraktion wurde mit der offen zugänglichen Python-Bibliothek TSFresh automatisiert durchgeführt [3]. Diese Bibliothek ist in Version 0.19.0 in der Lage, 77 verschiedene Merkmalstypen zu extrahieren. Da viele Merkmalstypen mehrdimensional sind, können durchaus Dimensionalitäten der entstehenden Merkmalsvektoren von über 1.000 entstehen. Beispielsweise sind folgende Merkmalstypen enthalten: Momente und Perzentile der Amplitudenverteilung, Signalenergie, Entropie, approximative Entropie, diskrete Fourier-Transformation, spektrale Leistungsdichten, Cepstrum-Koeffizienten, Hilbert-Transformation, Zustandsraum-Variablen und diskrete Wavelet-Transformation.

Im Anschluss wurden die erzeugten Merkmale mit manueller und automatischer Relevanzbestimmung selektiert. Die automatische Relevanzbestimmung erfolgt simultan zum Trainingsprozess, der mit der Gradient-Boosting-Methode LightGBM [4] durchgeführt wurde. Im Ergebnis des Trainings entsteht eine kontinuierliche Abbildung, die beliebige Merkmalsvektoren auf eine binäre Klassennummer zuordnet.

Es wurden zwei Kreuzvalidierungsverfahren verwendet. Zum einen die RRSS-CV (repeated random subsampling) sowie die LOSO-CV (leave-one-subject-out). Die RRSS-CV untergliedert sich im Wesentlichen in folgende sechs Schritte (Abbildung 1):

- 1.) Der Datenindex wird zufällig permutiert, um zu gewährleisten, dass die Trainingsbeispiele während des Trainings in zufälliger Reihenfolge verarbeitet werden.
- 2.) Der Datensatz wird in einem definierten Verhältnis in Trainings- und Validierungsmenge aufgeteilt, z. B. 80:20, 90:10, 95:5. Hier wurde 80:20 gewählt.
- 3.) Das Training der Klassifikationsmethode LightGBM wird ausschließlich am Trainingsatz durchgeführt.
- 4.) Statistische Schätzung der Genauigkeiten an Trainings- und Validierungsmenge
- 5.)  $M$ -malige Wiederholung von Schritt 1 an.  $M$  kann frei gewählt werden. Hier wurde mit  $M = 5$  ein relativ kleiner Wert gewählt aufgrund der begrenzt verfügbaren Rechenzeiten.
- 6.) Finale Schätzung von Mittelwert und Standardabweichung der Trainings- und Validierungsgenauigkeit über den  $M$  Wiederholungen des Schrittes 4.).

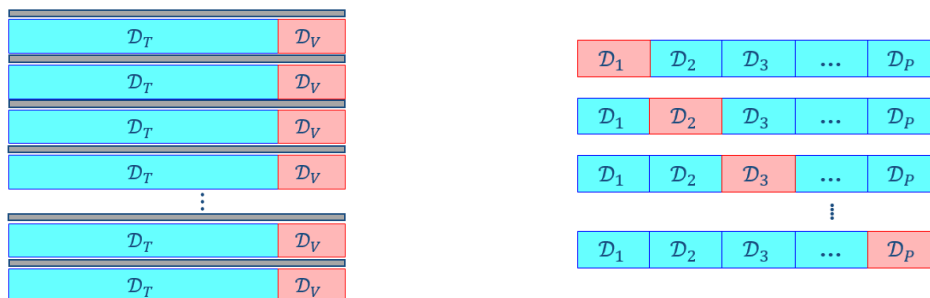


Abbildung 1: Links: Kreuzvalidierung durch wiederholte zufällige Partitionierung (RRSS-CV; repeated random subsampling cross-validation). Rechts: Leave-One-Subject-Out-Kreuzvalidierung (LOSO-CV). Bei RRSS-CV wird nach zufälliger Permutation des Datenindex (horizontale graue Balken) der Datensatz  $\mathcal{D}$  in eine Trainingsmenge  $\mathcal{D}_T$  und eine Testmenge  $\mathcal{D}_V$  aufgeteilt. Bei LOSO-CV wird  $\mathcal{D}$  anhand einer kategorialen Variable  $p = 1, 2, \dots, P$  in Trainingsmenge (blau) und Validierungsmenge (rot) aufgeteilt.

Bei der LOSO-CV sind folgende Schritte auszuführen (Abbildung 1):

- 1.) Eine Gruppe bildet die Validierungsmenge, alle anderen Gruppen bilden die Trainingsmenge.
- 2.) Das Training der Klassifikationsmethode LightGBM wird ausschließlich am Trainingsatz durchgeführt.
- 3.) Statistische Schätzung der Genauigkeiten an Trainings- und Validierungsmenge
- 4.)  $P$ -malige Wiederholung von Schritt 1 an.  $P$  ist die Anzahl der Gruppen.
- 5.) Finale Schätzung von Mittelwert und Standardabweichung der Trainings- und Validierungsgenauigkeit über den  $P$  Wiederholungen des Schrittes 3.).

Bei RRSS-CV werden Kategorien, hier sind es die individuellen Filter, innerhalb des Datensatzes nicht berücksichtigt. Dadurch kann an Beispielen aller Filter trainiert werden und anschließend wird auch an Beispielen aller Filter validiert. Die Validierungsgenauigkeiten sind allerdings optimistisch verzerrt. Bei der LOSO-CV wird kategorienbezogen eine Teilmenge aus dem Training herausgehalten und nur zum Validieren genutzt wird. Die sich statistisch zu schätzende Validierungsgenauigkeit ist dadurch nicht mehr durch den Einfluss der Kategorien verzerrt. Man erreicht so besser eine Abbildung finden, die unabhängig von der kategorialen Variable ist, und umgeht das sogenannte Data-Leakage-Problem [5].

Die Qualität der Merkmalsselektion durch TSFresh wurde abschließend mit einer selbst entwickelten Methode verglichen. Sie basiert auf den Validierungsergebnissen mit der Klassifikationsmethode LightGBM. Zuerst wurde eine Merkmalsextraktion mit TSFresh durchgeführt, die zu 789 Merkmalen führte. Im LightGBM-Trainingsprozess wurde ein Vektor berechnet, der für jedes Merkmal den Gewinn (gain) und den Teilungszähler (split count) beinhaltet. Der Gewinnwert ist gleich der Veränderung der Verlustfunktion bei Hinzunahme des Merkmals zu den Trainings-Eingangsdaten. Der Teilungszähler zeigt hingegen, wie oft ein Merkmal bei der Generierung des Entscheidungsbaumes eingesetzt wurde. Beide Werte sind Maße für die Relevanz eines Merkmals. Mit Schwellwerten können Merkmale selektiert werden, die entweder häufig genug zu Entscheidungen (splits) oder zur Genauigkeitssteigerung (gain) beigetragen haben. Die maximum-normierten Schwellwerte können bspw. auf 10% fixiert werden.

### 3. Ergebnisse

Während mit RRSS-CV (repeated random sub-sampling cross-validation) eine mittlere Klassifikationsgenauigkeit von  $99,4 \pm 0,6$  % erzielt wurde, schwankte die Klassifikationsgenauigkeit stark bei LOSO-CV (leave one subject out cross-validation). Die LOSO-CV ist die praxishere Methode, denn sie simuliert den Fall, dass zukünftig neu hinzukommende Datensätze durch eine Methode klassifiziert werden müssen, die nicht mehr trainiert wird, sondern deren Abbildung (Modell) fixiert ist. Dies entspricht dem Abruf-Betrieb nach beendetem Trainings- und Optimierungsprozess.

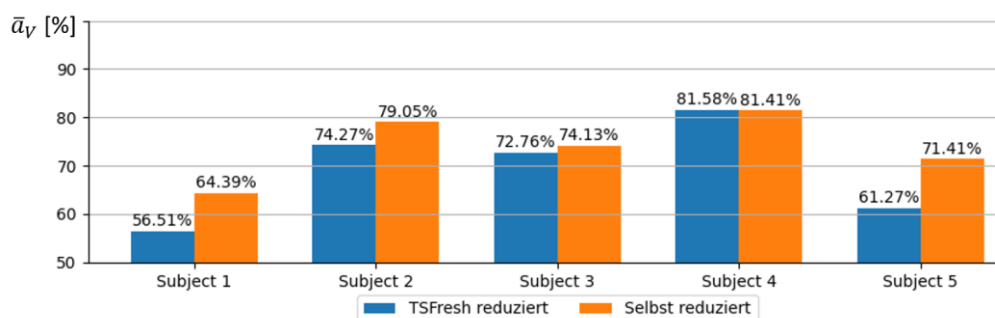


Abbildung 2: Mittelwerte der Klassifikationsgenauigkeit an Validierungsmengen (Ordinate) für fünf individuelle Filterwechsel (Abszisse). Die als Eingangsvariablen verwendeten Merkmale wurden einerseits durch TSFresh (blau) und andererseits durch eine eigene Methodik selektiert (orange).

Es zeigte sich im Weiteren, dass weder die vollständigen noch die reduzierten Merkmalsvektoren die Diskrepanz der LOSO-CV-Ergebnisse bzgl. der RRSS-CV-Ergebnisse verringern können. Mit den Merkmalsvektoren, die selbst reduziert wurden, konnte die Klassifikationsaufgabe am genauesten erfüllt werden (Abbildung 2). Der finale Vergleich

zeigt für jeden einzelnen Filterwechsel, dass die mithilfe von TSFresh selektierten Merkmale (blau) zu geringeren mittleren Klassifikationsgenauigkeiten führen im Vergleich zur selbst entwickelten Methodik (orange); die Unterschiede betragen bis zu 10,2%. Allerdings waren die Verbesserungen nicht einheitlich und liegen dennoch unterhalb der RRSS-CV, die bei Klassifikationsgenauigkeiten von durchschnittlich 99,4% endete.

#### 4. Diskussion

Die durch TSFresh mögliche Reduzierung der Merkmale anhand Hypothesentests hatte bei dem hier gegebenen Datensatz nur einen mäßigen Erfolg; ein Filterwechsel konnte nur mit 56,5% Genauigkeit validiert werden, sodass das entwickelte und trainierte Modell nur 6,5% über der Zufallsentscheidung liegt. Die eigene Merkmalsselektionsmethode erzielte Genauigkeiten zwischen 64,4% und 84,4%. Diese Ergebnisse liegen weit unterhalb der mit RRSS-CV erzielten mittleren Genauigkeit von 99,4%. Letzteres zeigt, dass die Merkmale prinzipiell gut geeignet sind für die Diskrimination der beiden Klassen des intakten und des degenerierten Filters.

Die Verschlechterungen bei LOSO-CV könnten folgende Gründe haben.

##### 1. Qualität der Daten

Es ist nichts Näheres über die Zeitintervalle der Filterwechsel bekannt. Die Filter wurden innerhalb regelmäßiger Wartungsroutinen ausgetauscht, wobei es keine fixierten Kriterien und keine exakten Intervalle gab. Deshalb ist nicht auszuschließen, dass manchmal Filter ausgetauscht wurden, obwohl sie noch nicht stark degeneriert waren. Dies würde allerdings die Klassifikationsaufgabe erheblich beeinträchtigen, weil die Zuverlässigkeit der Zielvariable (hier: Klassennummer 0/1) eine wichtige Voraussetzung ist. Ebenfalls sind zusätzliche Schallquellen an der Anlage nicht auszuschließen, die in manchen Zeiträumen aktiv waren und in anderen nicht. Diese würden ebenfalls die LOSO-CV aber nicht die RRSS-CV beeinträchtigen. Das Gleiche gilt für Änderungen an der Anlage und für langzeitliche Schwankungen der Wasserqualität. Jegliche Änderung des Gesamtprozesses zwischen den Filterwechseln könnte für die reduzierte mittlere Genauigkeit der LOSO-CV verantwortlich sein.

##### 2. Reduzierung des Datenumfangs

Die mit 16 kHz aufgenommenen vibroakustischen Messungen erwiesen sich für einen einzigen Rechner als zu umfangreich, um diese mit TSFresh in akzeptabler Rechenzeit zu berechnen. Selbst das Einteilen in unterschiedliche Segmentlängen verbesserte die Berechnungszeit ab einer gewissen Größe nicht mehr wesentlich. Deshalb musste die Datenrate von 16 kHz auf mindestens 160 Hz reduziert werden, damit eine vollständige Merkmalsextraktion durchgeführt werden konnte. Damit ist eine drastische Reduktion der oberen Grenzfrequenz verbunden und für einige Merkmalsextraktionsmethoden (bspw. Entropie-Schätzungen) eine Verringerung des Stichprobenumfangs um Faktor 100. Diese Limitierung zeigt, dass TSFresh noch nicht ausreichend performant für größere Signalanalyse-Projekte ist.

##### 3. Spezialisierung an Untermengen

Trotz der TSFresh-internen Hypothesentests zur Bewertung der Merkmalsrelevanz verblieben in der Analyse viele Merkmale, die zu geringe Relevanz bezüglich der Genauigkeit an Validierungsmengen haben. So könnte sich die Gradient-Boosting-Methode auf

Besonderheiten in der Verteilung irrelevanter Merkmale zu sehr spezialisiert haben, die für einzelne Filter von Vorteil sind, aber nicht für alle. Die LOSO-CV dient der Aufdeckung solcher individuellen Überanpassungen.

Für zukünftige Arbeiten ist ein wesentlich erhöhter Umfang an Filterwechseln erforderlich, um die interindividuellen Streuungen der Merkmalsvektoren eingehender studieren zu können.

### **Quellen**

- [1] Mobley RK (2002) An introduction to predictive maintenance. Elsevier
- [2] Ringfeder Power Transmission GmbH (2016) Zahlen und Fakten zu Wartung und Instandhaltung. Online available: <https://blog.ringfeder.com/de/wartung-instandhaltung-zahlen-und-fakten>
- [3] Christ M, Braun N, Neuffer J, Kempa-Liehr AW (2018) Time series feature extraction on basis of scalable hypothesis tests. *Neurocomputing* 307:72-77
- [4] Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, et al. (2017) LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Adv Neural Inf Proc Syst* 30:3146-54
- [5] Kaufman S, Rosset S, Perlich C, Stitelman O (2012) Leakage in data mining: Formulation, detection, and avoidance. *ACM Trans Knowl Discov Data (TKDD)* 6(4):1-21

# Konzepte für Mehrwertdienste in der Schifffahrt unter Nutzung des Kommunikationsstandard 5G

Jan Schmidt, Christian Bunse

Hochschule Stralsund, Zur Schwedenschanze 15, 18437 Stralsund

## Abstract

In diesem Artikel sollen verschiedene Konzepte für Dienste vorgestellt werden, die mithilfe der 5G-Technologie einen Mehrwert für die wasserseitige Personenbeförderung sowie Wirtschaftshäfen schaffen können. Dabei wird beleuchtet, welche Vorteile die 5G-Technologie im Vergleich zu seinen Vorgängern hat und welche dieser Vorteile konkret von den Diensten genutzt werden sollen.

## 1. Einleitung

Eine verlässliche Datenübertragung von Schiffsdaten stellt eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Durch die Anzahl an Komponenten und Geräten an Bord eines Schiffes kommt hier eine große Rohdatenmenge zusammen. Dies wird umso deutlicher, wenn auf Basis dieser Daten Berechnungen gemacht oder diese in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden sollen. Durch das 5G-Port Projekt, welches im Zuge des 5G-Innovationsprogramm des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr entstand, soll gezeigt werden, dass unter Nutzung des 5G Kommunikationsstandard eine verlässliche und latenzarme Übertragung von Daten auch über größere Distanzen möglich ist. Des Weiteren soll das Potenzial für Wirtschaftshäfen und die gesamte Logistik-, Transport- und Organisationsstruktur innerhalb dieser aufgezeigt werden. Auf Grundlage dieser Daten können Dienste zur autonomen Steuerung und aktiven Gefahrenkontrolle implementiert und durch spätere Analyse und Aufbereitung der Daten weitere Systeme im Bereich der vorausschauenden Wartung oder im Tourismussektor erstellt werden.

## 2. Der 5G Kommunikationsstandard

Mit LTE setzte zu seiner Zeit schon eine kleine Revolution im Mobilfunksektor ein. So wird der Standard zum Beispiel ausschließlich für die Datenübertragung genutzt und schaffte einen weltweit einheitlichen Standard. Weitere Optimierungen fanden in der genutzten Kanalbandbreite und der genutzten Protokolle statt. Während bei GSM und UMTS-Kanalbreiten von nur 200 kHz bzw. 5 MHz üblichen sind, kann LTE mit einer maximalen Breite von 20 MHz und über Carrier Aggregation sogar mit bis zu 80MHz betrieben werden. Durch diese können maximale Downloadgeschwindigkeiten von bis zu 2 Gbit/s erreicht werden (Sauter, 2022). Diese Datenraten sind in der Praxis jedoch kaum zu beobachten. Daher wurde schnell ein neuer Standard vorgestellt. Mit 5G sollten viele Bereiche von LTE weiter verbessert werden. So wurden bestimmte Frequenzbereiche auf ihre jeweiligen Anforderungen hin optimiert. Besonders bei der Nutzung von hochfrequenten Bereichen (z. B. 3.6 GHz) werden viele Antennen benötigt, weshalb gerade im ländlichen Bereich eher Frequenzen im Bereich von 700 MHz genutzt werden. Grundsätzlich verspricht die 3GPP, das Komitee, welches die Standards verfasst, eine

Downloadrate von bis zu 20 Gbit/s und eine Latenz von unter 1ms. Zudem soll die Abdeckung weiter verbessert werden, da für den 5G Standard kleinere und effizientere Antennen genutzt werden (Brückner, 2022).

Für das 5G-Port Projekt wird ein mobiles 5G-Campusnetz am Seeliner See auf der Insel Rügen errichtet. Dieses wird mindestens den Anforderungen gemäß „3GPP TR 21.915 Release 17“ entsprechen und im 3.7 - 3.8 GHz-Bereich funken. Das Netz wird sich im hochfrequenten Bereich befinden, weshalb nicht mit der maximalen Bandbreite zu rechnen ist. Allerdings liegt der Fokus des Projekts eher auf einer zuverlässigen Verbindung mit niedriger Latenz. Jede 5G-Funkzelle muss dennoch eine Mindestdownloadrate von 1Gbit/s, vorzugsweise sogar 10Gbit/s unterstützen. Die typische Downloadrate soll pro Endgerät bei 500 Mbit/s liegen, wobei im Antennenbereich eine minimale Downloadrate von 250 Mbit/s garantiert werden muss. Am fernsten Punkt eine minimale Downloadrate von 25 Mbit/s (entspricht 10 %) zur Verfügung stehen. Bei Latenzen soll das Netz zuverlässige Verbindungen bei gleichzeitig sehr kurzen Latenzen ermöglichen (uRLLC). Faktisch sollen Ende-zu-Ende Latenzen von kleiner als 20 ms realisiert werden. Für besondere Bereiche des Projektes sollen zudem Latenzen von kleiner 5 ms möglich sein.

### **3. Mehrwertkonzepte**

Das 5G-Port Projekt besteht aus drei Teilprojekten, die ersten beiden Teilprojekte beschäftigen sich dabei mit der Implementierung von Assistenzsystemen zur Unterstützung der Schiffsführung einer Personenfähre sowie die Konzeptionierung und Umsetzung einer automatisierten Hafenlogistik. Mithilfe der anfallenden Daten der ersten beiden Projekte, sowie weiteren Parametern der Personenfähre sollen im dritten Teilprojekte Mehrwertdienste erstellt werden. Hierbei wurden zunächst sechs Umsetzungskandidaten erarbeitet. Diese sind projektspezifisch so ausgelegt, dass sie die Vorteile vom 5G-Netz so gut wie möglich ausreizen. Die Umsetzungskandidaten können grob in zwei Kategorien unterteilt werden: publikumswirksame und technische Dienste. Zur ersten Kategorie gehören das Fahrgastinformationssystem sowie die virtuelle Brücke. Zur zweiten die Konzepte für eine Kraftstoffampel, eine Vibrationsüberwachung im Rumpf, ein Remote Diagnose-Stecker sowie ein Wassertiefenmonitoring. Schlussendlich wurde in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner entschieden, dass die Priorität des Teilprojekts auf den beiden publikumswirksamen Diensten, sowie dem Wassertiefenmonitoring liegen soll, weshalb diese fokussiert werden.

#### **3.1 Fahrgastinformationssystem**

Das Fahrgastinformationssystem umfasst eine Art Dashboard, welches statische, aggregierte, aber auch Echtzeit-Informationen anzeigen soll. Zudem verfügt das System über eine Art Mitteilungssystem, welches über Unwetter oder besondere Hinweise zielgerichtet informiert. Hierbei ist es besonders wichtig gewesen, dass das Projekt auch für den Industriepartner und die beteiligten Städte und Gemeinden einen Mehrwert bietet. Folglich wird das Fahrgastinformationssystem in mehrere Bereiche aufgeteilt. Die Städte und Gemeinden setzen dabei eher auf statische Informationen. Dies umfasst das Anzeigen von Veranstaltungen oder Werbung für lokale Sehenswürdigkeiten. Der zweite Bereich konzentriert sich verstärkt auf allgemeine Informationen, die für Touristen vom Vorteil sein könnten. Dazu gehören das vorher angesprochene Mitteilungssystem, welches über einen Wetterdienst, einen Forecast für den restlichen Tag sowie Gefahrenmeldungen, die mithilfe der NINA-API abgerufen werden, ausgibt. Der zweite Teil



der allgemeinen Informationen betrifft die verkehrstechnischen Verbindungen am jeweiligen Standort. Sie informieren über Anschlussverbindungen per Bus und Bahn, sowie über Verspätungen der Fähre. Der letzte Bereich soll medienwirksam Schiffsparameter darstellen. Hierbei werden zunächst nur aggregierte Daten dargestellt. Diese werden zum Teil von der auf dem Schiff befindlichen Auswertungseinheit eines Partners ausgegeben, aber auch aus Echtzeitdaten vom Schiff aggregiert. Abbildung 1 zeigt zwei Beispiel Mockups des zukünftigen Systems.



Abbildung 1: Beispiele, wie verschiedene Bereiche des Fahrgastinformationssystems aussehen könnten.

Um dem Anspruch gerecht zu werden, das 5G-Netz mit all seinen Vorteilen zu nutzen, sollen alle Bereiche um einen weiteren Layer erweitert werden. Mithilfe eines Outdoor-Touch-Displays erfolgt die Anzeige des Fahrgastinformationssystems, wodurch mit dem System interagiert werden kann. Diese Möglichkeit der Interaktion wird genutzt, um eine weitere Detailebene in das System zu integrieren. Diese zweite Ebene soll Funktionalitäten hinzufügen, die gemäß dem Projekt verstärkt auf das 5G-Netz setzen. Am Beispiel der Anschlussverbindungen, wird bei Berührung der Kachel eine Karte des Seeliner See geöffnet, welche die Position der Fähre in Echtzeit darstellt. Ähnlich ist es für die Schiffsdaten geplant. Zeigt das Fahrgastinformationssystem zunächst nur aggregierte oder Durchschnittswerte an, so kann durch Berühren ein Ebene aufgerufen werden, welche aktuelle Schiffsdaten in Echtzeit darstellt. Die Echtzeitdarstellung der Daten kann dabei nur durch die niedrige Latenz des 5G-Netzes erreicht werden. Doch auch die Bandbreite spielt für das System eine große Rolle. Die Position des Schiffes kann zwar mit wenig Daten dargestellt werden, doch speziell bei den Schiffsdaten wird eine größere Menge an Daten anfallen, da bis zu 40 Parameter abgefragt werden können. Das Fahrgastinformationssystem wird hardwaretechnisch aus drei Hauptkomponenten bestehen: das Outdoor-Touch-Display mit Ausführungseinheit, eine Recheneinheit auf dem Schiff und eine Serverstruktur auf dem Land. Die Ausführungseinheit im Display soll dabei ausschließlich für die Anzeige der Daten genutzt werden. Alle notwendigen Berechnungen finden auf dem Schiff oder auf dem Server statt. Auch die effektive Speicherung der Daten erfolgt auf dem Server. Dies ist ein weiterer Punkt, der durch das 5G-Netz ermöglicht wird. Da die Aufzeichnungseinheit auf dem Schiff bisher keine direkte Verbindung zum Internet hat, kann diese nur eine begrenzte Anzahl an Daten vorhalten. Die Daten müssen dann entweder manuell oder beim Anlegen per WLAN heruntergeladen werden. Durch das 5G-Netz wäre das Schiff in der Lage während der gesamten Fahrt Daten an einen Endpunkt zu senden. Umgesetzt wird das

Fahrgastinformationssystem dabei ausschließlich mit Webtechnologien, um eine einfache Integration des Systems in andere Displays oder Anzeigeelemente zu ermöglichen. So besitzt jedes Schiff des Industriepartners einen Monitor, über den später ausgewählte Bereiche des Dashboards angezeigt werden können.

### 3.2. Virtuelle Brücke

Die virtuelle Brücke ist der zweite Mehrwertdienst, der innerhalb des Projektes umgesetzt werden soll. Es handelt sich auch hierbei um ein auf Webtechnologien basierendes System. Die Anzeige des Echtzeit-Videostream vom Schiff erfolgt hierbei auf dem schon erwähnten Outdoor-Touch-Display. Über diesen Videostream soll zusätzlich ein 3D-Modell der Schiffsinstrumente gerendert werden. Im Kern besteht die virtuelle Brücke also aus zwei Komponenten, dem Videostream vom Schiff und dem 3D-Overlay. Der Videostream wird durch eine Weitwinkelkamera direkt an der Frontscheibe des Schiffs realisiert. Die Kamera wird direkt mit einer Recheneinheit auf dem Schiff verbunden und nimmt die Videodaten auf. Anschließend werden diese via WebRTC an das Display gestreamt. WebRTC bietet hierbei eine einfache und schnelle Möglichkeit, Videostream in Echtzeit auf Endgeräten anzuzeigen. Das 3D-Overlay soll ein realitätsnahes Abbild der Instrumente des Schiffes sein. Zusätzlich sollen die einzelnen Elemente des 3D-Modells in Echtzeit die Parameter des Schiffes anzeigen. Jeder Knopf und jede Hebelstellung soll dabei so genau wie möglich die Realität wiedergeben.

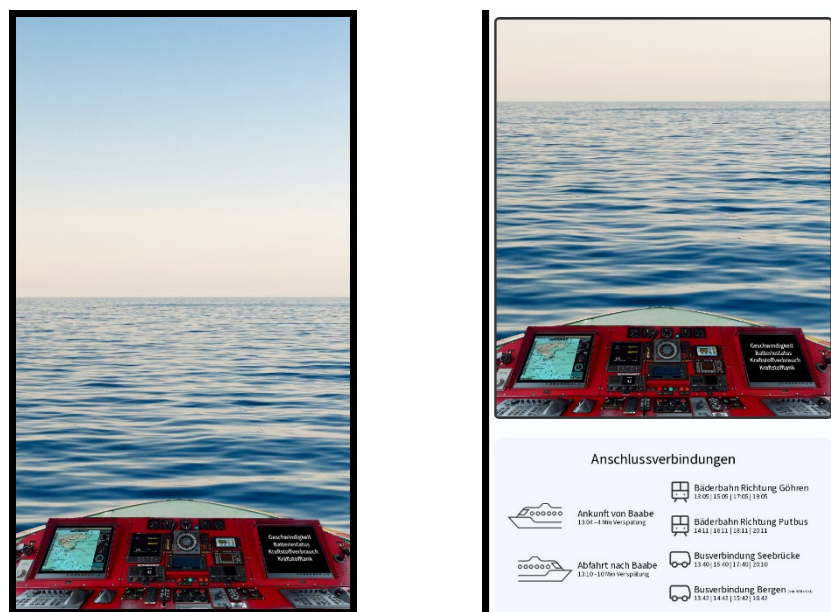


Abbildung 2: Virtuelle Brücke als Vollbild (links) und in Kombination mit Fahrgastinformationssystem (rechts)

Abbildung 2 zeigt die beiden möglichen Einsatzmodis. Die virtuelle Brücke und das Fahrgastinformationssystem sind unabhängige Dienste, um einen separaten Betrieb zu gewährleisten. Trotzdem soll die Möglichkeit bestehen, beide in Kombination anzuzeigen. Dadurch ist es möglich, die virtuelle Brücke im Vollbild auszuführen, was für die spätere weitere Nutzung noch von Bedeutung sein könnte. Zunächst wird sich für das Projekt die Ansicht auf die zweite Variante beschränkt. Hier werden die Anschlussverbindungen und das Mitteilungssystem des Fahrgastinformationssystems jederzeit angezeigt. Bei der virtuellen Brücke wird das gesamte Potenzial von 5G ausgeschöpft. Um ein klares und flüssiges Bild in Echtzeit zu erhalten, sind sowohl die

hohe Bandbreite, als auch die zuverlässige Verbindung mit niedriger Latenz besonders wichtig. Aufgrund des Parallelbetriebs von Fahrgastinformationssystem und virtueller Brücke können mit alternativer Funktechnik nicht mehr die gewünschten Ziele erreicht werden.

### **3.3. Wassertiefenmonitoring und Vibrationsanalyse Rumpf**

Bei diesen beiden Diensten handelt es sich zwar um verschiedene Ansätze, jedoch nutzen sie grundsätzlich die gleichen Methoden und haben ähnliche Ziele. Die Mehrwertdienste beziehen sich hierbei eher auf die nachträgliche Auswertung der Daten als auf die Datensammlung selbst. Beim Wassertiefenmonitoring erfolgt eine Abtastung des Meeresbodens mittels Sonars. Der Service sieht vor, dass eine Prozedur entwickelt wird, die es ermöglicht, die aufgenommenen Sonardaten relativ einfach in Unterwasserkarten zu überführen. Folglich sollen Hinweise über Untiefen und Sandbänke erlangt werden, um mögliche Kollisionen vorzubeugen. Mithilfe von Kontaktmikrofonen an im Rumpf und an kritischen sich bewegenden Teilen (Pumpen, Motoren, etc.), werden entstehende Vibrationen aufgenommen und eine Vibrationsanalyse durchgeführt. Diese sollen, wie schon beim Wassertiefenmonitoring erwähnt, vorzugsweise automatisiert, analysiert werden und könnten so Hinweise auf Verschleiß oder Kollisionen am Rumpf geben. Die Analyse nutzt dabei die Fourier-Transformation, welche es ermöglicht, auch kleinste Abweichungen im Frequenzband ausfindig zu machen. Zunächst wird eine Grundvibration aufgenommen, welche mit späteren Aufnahmen verglichen wird. Im Sinne der vorausschauenden Wartung können so Ausfallzeiten und größere Schäden minimiert werden. Im Gegensatz zum Fahrgastinformationssystem und der virtuellen Brücke spielt hier besonders die Bandbreite eine große Rolle. Durch das Sonar und die Mikrofone werden eine Vielzahl von Daten gesammelt, welche es beim Anlegen in Gänze zu übertragen gilt. Das Wassertiefenmonitoring wird auch innerhalb des Projektes umgesetzt. Der Dienst wird dabei jedoch federführend durch einen weiteren Industriepartner übernommen.

### **3.4. Kraftstoffampel**

Das Konzept der Kraftstoffampel trifft ein sehr aktuelles Thema. Der Treibstoffverbrauch bei dieselbetriebenen Schiffen macht einen erheblichen Kostenfaktor aus. Dieser Dienst ist besonders für die Anwendung mit mehreren Schiffen konzipiert. Die Kraftstoffampel sieht vor, dass aufgrund von zuvor ermittelten idealen, orts- und richtungsbezogenen Routenprofilen das aktuelle Fahrverhalten des Schiffsführers analysiert und dieser per Ampelsystem auf seine Fahrweise hingewiesen wird. Über einen zusätzlichen Monitor soll der Schiffsführer zunächst die zu fahrende Route wählen und erhält anschließend die aktuellen Soll-Ist-Werte, Differenzen sowie die aktuelle Ampelfarbe. Da die ermittelten Profile jedoch idealisiert sind, gehen diese weder auf Windrichtung, Windstärke noch auf den Pegelstand o. Ä. ein. Diese Parameter sind jedoch wichtig, um das aktuelle Fahrverhalten ausreichend zu bewerten. Die Sollwerte der Profile müssen somit ständig auf die äußeren Einflüsse angepasst werden. Die Berechnung erfolgt während der Fahrt, da eine vorherige Berechnung für alle möglichen äußeren Einflüsse nicht praktikabel ist. Aufgrund der nötigen Rechenpower und dem begrenzten Platz bzw. der notwendigen Anzahl an Beschaffungen kommen keine Recheneinheiten auf den Schiffen in Frage. Die Berechnung soll daher zentral auf einer Serverstruktur ausgeführt werden. Das 5G-Netz spielt für die Übertragung der Daten wieder eine tragende Rolle. Zwar ist die Latenz in diesem Bereich nicht von Priorität, jedoch ist diese auf keinen Fall zu vernachlässigen.

Besonders wichtig ist in diesem Fall die Bandbreite, im Speziellen die minimale Bandbreite an Positionen im Netz, die weit entfernt von der nächsten Antenne sind. Um die Zuverlässigkeit des Systems zu gewährleisten, ist eine stetige Verbindung mit ausreichender Bandbreite zum Server unabdingbar.

### **3.5. Remote Diagnose-Stecker**

Die im Projekt eingesetzten Schiffe verfügen derzeit über Diagnosesysteme von Iveco und Volvo. Die Verbindung mit diesen muss aufgrund von Latenzanforderungen zurzeit von einem Techniker am Liegeplatz des Schiffes geschehen. Somit muss jeder Techniker auch bei Ausfällen zum Ort des Schiffes reisen, um dort eine Analyse der Bordsysteme durchzuführen. Dieser Dienst soll es ermöglichen, durch die geringe Latenz des 5G-Netzes die Steckerverbindung zu virtualisieren. Somit wären die Techniker in der Lage, sich von einer zentralen Basis auf verschiedene Schiffe einzuwählen. Dies könnte, je nach Abdeckung des 5G-Netzes, auch während der Fahrt geschehen.

## **4. Evaluation**

Ziel des Projekts ist die Evaluierung von 5G-Technologie, bspw. in Form von Campus-Netzen, in maritimen Anwendungsszenarien. Die Evaluation umfasst zum einen die Messung von netzspezifischen Qualitätskriterien, wie Bandbreite, Latenz oder Reichweite, sowie die Untersuchung von Technologien, wie Beamforming oder „Open Radio Access Network“ (OpenRAN), in diesem Kontext. Dazu werden, nach Errichtung der Campusnetze direkte Messungen vorgenommen. Erfasst werden dazu Werte zu Eigenschaften wie bspw. Signalstärke, UVP, RSRQ, SINR, Zellen-ID und physische Zellen-ID etc. Ziel ist dabei zum einen die Prüfung der Einhaltung der Netz-Spezifikation und zum anderen der Zustand des Netzes im Lastbetrieb.

Der Lastbetrieb betrifft die Prüfung der Übertragungsqualität und Geschwindigkeit in Bezug auf die spezifizierten Anwendungsszenarien. Dies sind bspw. im Bereich der Mehrwertdienste die Übertragung von Live-Videodaten, der Bulk-Versand von Diagnosedaten zu den Liegezeiten im Hafen oder aber auch der Betrieb der virtuellen Brücke unter Echtzeit-Bedingungen. Diese Messungen sind erforderlich, da 5G-Campusnetze unter idealisierten Bedingungen konzipiert und spezifiziert werden. Variable Einflussfaktoren, wie Wetter sowie andere technische- sowie Umwelteinflüsse, müssen für praxisnahe Ergebnisse im laufenden Betrieb überwacht, analysiert und evaluiert werden. Speziell die Latenzen bei der virtuellen Brücke und die Downloadrate beim Wassertiefenmonitoring sind hierbei von besonderem Interesse. Grundsätzlich erfolgt eine Überwachung der Latenz und der Downloadrate bei allen Diensten. Bei Performanceeinbrüchen oder schlechten Verbindungen sollen bestimmte Dienste in der Lage sein, auf diese gezielt zu reagieren.

Die Evaluation der Effektivität der implementierten Mehrwertdienste ist ein Schwerpunkt des Projekts. Im Zentrum der Evaluation stehen die folgenden Forschungsfragen:

- Verbessert sich der Nutzen und die Qualität der Mehrwertdienste durch den Einsatz von 5G-Technologie?
- Wie hoch ist der (quantitative/qualitative) Mehrwert?
- Werden die Mehrwertdienste vom Benutzer verstanden und angenommen (Akzeptanz)?

- Gibt es eine (weitere) Verbesserung durch Kombination der Dienste mit 5G-Technologie?

Zusammengefasst werden alle im Rahmen des Projekts entwickelten Technologien, und insbesondere die Mehrwertdienste umfassend sowohl auf Netzbasis als auch mit Methoden der ingenieurmäßigen Software-Entwicklung direkt am Benutzer selbst evaluiert. Auf Ebene des Gesamtprojekts soll zusätzlich der Mehrwert von 5G in maritimen Anwendungsszenarien untersucht und somit eine Nutzungs- bzw. Handlungsempfehlung entwickelt werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Dienste zeigen sehr gut, dass es viele Möglichkeiten gibt, die 5G-Technologie in Wirtschaftshäfen zu nutzen. Die Ausarbeitung technischer- als auch publikumswirksamer Konzepte gibt Hinweis darauf, dass großes Potenzial in der Verwendung von 5G im Schiffsverkehr liegt. Dies ist besonders dann interessant, wenn der finanzielle Aspekt mitbetrachtet wird. Bis auf das Wassertiefenmonitoring, können den Diensten mehr oder weniger große finanzielle Nutzen zugeschrieben werden. Diese sind zum Teil indirekt, wie bei den publikumswirksamen Diensten, die eher als Marketing zu sehen sind. Aber auch direkte Einsparungen von Kosten, wie bei der Rumpfanalyse, der Kraftstoffampel und dem Diagnose-Stecker sind möglich. Auf lange Sicht zählt hier auch die virtuelle Brücke dazu, die im Ausblick auf die Zukunft bidirektional aufgebaut werden kann und somit einen ersten Schritt für die Fernsteuerung von Schiffen ermöglicht. Weiterhin können durch die Erkenntnisse der virtuellen Brücke ähnliche 3D Systeme für die Schiffsdaten im Fahrgastinformationssystem und den für den Diagnose-Stecker erstellt werden. Hier könnte eine 3D-Modell des Schiffes alle wichtigen Parameter dort anzeigen, wo sie auch in der Realität auftreten. Diese Szenarien sind bereits aus der Autoindustrie bekannt, dies wird jedoch nur lokal auf dem Auto ausgeführt, wodurch keine Interaktion von außen möglich ist. Schlussendlich können die gesammelten Erkenntnisse auch in andere Bereiche übertragen werden. Hierbei bietet sich der öffentliche Personennahverkehr besonders als weitere Testgruppe an.

## Quellen

Sauter, M. (2022). *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme: 5G New Radio und Kernnetz, LTE-Advanced Pro, GSM, Wireless LAN und Bluetooth*. Springer Vieweg.

Brückner, V. (2022). *Globale Kommunikationsnetze: über Digitalisierung, elektromagnetische Wellen, Glasfasern und Internet*. Springer Vieweg.

# Ein optisch-sensorisches Verfahren zur Bewertung der Fallgewichtsverdichtung im Modellversuch

Vanessa Fock, Bénédicte Löwe, Felix Oertel, Ralf Thiele

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

## 1. Abstract

Fallgewichtsverdichtung (FGV) ist eine Methode zur Bodenverdichtung, bei der ein 5-30 Tonnen schweres Gewicht aus 10-30 m Höhe wiederholt fallen gelassen wird. Diese Technik wird weltweit zur Verbesserung der Tragfähigkeit und Konsolidierung von Böden eingesetzt. Die Effektivität wird von verschiedenen Parametern beeinflusst. Die Planung und Ausführung von FGV-Maßnahmen stellt in der Praxis eine Herausforderung dar. Der vorgestellte methodische Ansatz kombiniert skalierte 1g-Modellversuche und numerische Simulationen, um die Verdichtungsleistung während des Bauprozesses zu bewerten. Die Ergebnisse tragen zum besseren Verständnis des Energieumwandlungsprozesses bei Aufprall und zur Verbesserung der Effektivität und Effizienz der FGV bei.

## 2. Einführung

Die Fallgewichtsverdichtung (FGV) ist ein dynamisches Bodenverdichtungsverfahren. Sie wird zur Vorwegnahme von Setzungen, zur Erhöhung der Tragfähigkeit und der Reduzierung des Verflüssigungspotentials im Baugrund eingesetzt. In Verbindung mit einer auf dem verbesserten Boden aufbauenden Flachgründung kann sie im Vergleich mit anderen geotechnischen Verfahren eine kosteneffiziente und nachhaltige Alternative darstellen. Die Anwendungsbereiche der FGV reichen von grobkörnigen bis zu gemischtkörnigen Böden. Sie wird zudem zur Abfallverdichtung auf Deponien sowie bei der Renaturierung der Bergbaufolgelandschaften eingesetzt (Lukas, 1995).

1970 wurde das Prinzip durch Louis Ménard als „dynamische Konsolidation“ in der Bautechnik eingeführt (Ménard & Broise, 1975). Das Wissen zur FGV wurde seitdem um die Anwendungsbereiche in sedimentären Böden (Feng et al., 2011), künstlichen Auffüllungen (Rollins & Kim, 2010) und Abfall (van Impe & Bouazza, 1996) erweitert. Bautechnisch basiert das Verfahren auf Fallgewichten (FG) die mit einer Masse von 5 bis 30 Tonnen aus Höhen bis zu 30 m an Verdichtungspunkten in einem definierten Raster mehrfach fallen gelassen werden (Mayne et al., 1984). Als Trägergeräte für die FG werden Seilbagger mit Freifallwinden eingesetzt. Die Vorbemessung erfolgt unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften nach analytischen Methoden (Lukas, 1995). Die relevanten Parameter Fallhöhe, Masse, Schlaganzahl und Verdichtungs raster werden auf Probefeldern insitu kalibriert. Zur Kontrolle der Wirksamkeit werden geotechnische Sondierverfahren (z. B. Ménard-Pressiometrie oder Drucksondierungen), Setzungsmessungen sowie Hebungs-Setzungs-Tests durchgeführt (Massarsch, 2019).

Das Verdichtungsprinzip beruht auf der Umwandlung der kinetischen Energie des fallenden Gewichtes in innere Energie des Bodensystems, welche als plastische und elastische Dehnungen, als Körperschall, sowie als Wärme auftritt (Souza & Pasqual, 2021).

Die plastischen Dehnungen können überwiegend auf eine Reduzierung des Porenanteils in der Kornmatrix des Bodens zurückgeführt werden, welche zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften führt (Jia et al., 2021). An der Bodenoberfläche können um das FG lokal Auflockerungen in Form von Hebungen durch dilatantes Bodenverhalten auftreten (Jia et al., 2018). In der phänomenologischen Betrachtung bleibt am Auftreffpunkt des FG ein Verdichtungskrater zurück (Souza & Pasqual, 2021).

Ein wesentlicher Teil der Forschung zur FGV beschäftigt sich mit Methoden zur Prognose der Wirktiefe und dem Grad der durch die Verdichtung erreichten Bodenverbesserung. In der Praxis existieren dafür verschiedene analytische Ansätze welche überwiegend auf den Prozessgrößen Fallhöhe und FG, den Bodeneigenschaften sowie dem kumulierten Energieeintrag basieren (Ménard & Broise, 1975). Diese wurden im Rahmen von Feldversuchen (Feng et al., 2010) und Modellversuchen (Knut, 2022) entwickelt und sukzessive erweitert (Ghassemi et al., 2009). Durch die großen Fortschritte in der Rechentechnik haben Untersuchungen mittel Simulationsverfahren, insbesondere FEM und DEM (Jia et al., 2018) in der Forschung größere Bedeutung erlangt. Typischerweise basieren die Simulationen auf komplexen Stoffmodellen mit aufwendig zu kalibrierenden Parametern, was sie für den Einsatz in der Praxis weniger attraktiv macht.

Untersuchungen zeigen, dass das globale Verhalten granularer Materialien bei einem Einschlag von der Dehnungsrate abhängig ist (Iskander et al., 2015). Bei hohen Dehnungsraten (HDR) wurden gegenüber quasi-statischen Prüfungen in Triaxialversuchen bis zu 30 % höhere Festigkeiten und 2 % geringere Bruchdehnungen festgestellt. In Ödometerversuchen wurden bei HDR bis zu 100 % höhere Steifigkeiten ermittelt (Iskander et al., 2015). Weitere Untersuchungen verweisen hierbei auf die mikro- und makroskopische Einflussfaktoren des Bodengefüges sowie den Einfluss der Geometrie und dem Masseverhältnis der Stoßpartner (Bless et al., 2015). Die bekannten analytischen und numerischen Prognoseverfahren berücksichtigen dies bislang unzureichend.

Die Auswirkung des ratenabhängigen Verhaltens auf das Penetrationsverhalten von Körpern bei einem Aufprall auf granulare Materialien zeigen Untersuchungen von Goldman & Umbanhowar (2008). In Versuchen wurde eine Bronzekugel aus definierter Höhe abwechselnd auf Glas-, Aluminiumkugeln sowie Hirse fallen gelassen und dabei die Beschleunigung an der Bronzekugel erfasst. Während des Einschlags stiegen die an der Kugel gemessenen Beschleunigung bis zu einem Maximalwert ( $a_{\text{peak}}$ ) und zeigten am Ende der Bewegung einen abrupten Abfall der Beschleunigung ( $a_{\text{stop}}$ ). Die Ergebnisse verdeutlichten, dass die maximale Eindringung der Bronzekugel linear und die Beschleunigungen  $a_{\text{peak}}$  und  $a_{\text{stop}}$  exponentiell von der der Eindringgeschwindigkeit abhängig sind.

### **3. Hintergrund und Zielstellung**

Mit der FGV werden Flächen bis zu 1.000.000 m<sup>2</sup> verdichtet (Hamidi et al., 2011). Durch die Parametrisierung an Probefeldern werden Inhomogenitäten auf großen Flächen nicht berücksichtigt. Hierdurch kann es lokal zur Über- bzw. Unterverdichtung kommen. Um die Verdichtungsparameter dynamisch anzupassen, wurden durch verschiedene Autor:Innen Ansätze vorgeschlagen, den Verdichtungsgrad und die Wirktiefe prozessbegleitend zu prognostizieren. Diese basieren auf numerischen Simulationen (Parvizi &

Qafari, 2012), Untersuchungen der Fallgewichtskinematik (Bo et al., 2009), Deep-Learning-Algorithmen (Ranasinghe et al., 2019) und Setzungsmessungen (Moyle & Airey, 2015). Diese Ansätze werden in der Praxis bislang nicht angewendet.

Der Beitrag präsentiert die ersten Schritte zur Entwicklung eines neuen Messverfahrens, mit dem sich Wirtiefe und Verdichtungsgrad während der FGV bewerten lassen. Das Messverfahren basiert auf einer baubegleitenden Messung der Fallgewichtskinematik sowie der an der Oberfläche auftretenden, plastischen Verformung. Die Modelluntersuchungen werden als Eingangsgrößen für einen numerischen Simulationsansatz genutzt.

## **4. Methoden**

### **4.1 Physikalische Modellversuche**

Modellversuche werden in der Geotechnik zur Veranschaulichung komplexer physikalischer Prozesse sowie zur Validierung numerischer Simulationen und Berechnungen eingesetzt (Al Heib et al., 2020). Aktuelle physikalische Modellversuche sind komplexer und können prinzipiell über die verwendeten Skalierungen klassifiziert werden (Wood, 2004). Ein besonders relevanter Faktor ist hierbei die Skalierung der Schwerebeschleunigung (ebd.). Hierbei wird in Modellversuchen unter Bedingungen der Erdbeschleunigung, 1g-Versuche, oder mittels Zentrifuge skaliertes Schwerebeschleunigung,  $n_g$ -Versuche, unterschieden. Für die vorgestellten bodenmechanischen Modellversuche zur FGV wurden kleinmaßstäbliche 1g-Versuche in Sand (Abbildung 2) genutzt. Frühe Anwendungen von 1g-Modellversuchen zur Untersuchung von Dehnungszuständen in Sanden wurden durch Wetzels et al. (1970) durchgeführt. Unter anderem nutzten Mayne und Jones (1983) sowie Poran et al. (1992) 1g-Versuche frühzeitig zur Beschreibung der Dynamischen Bodenverdichtung. Ein weiterer historischer Abriss im Kontext dynamischer Bodenverdichtung ist bei Nazhat (2013) zu finden.

Kleinmaßstäbliche Modellversuche bieten insbesondere den Vorteil, komplexe Prozesse und physikalische Bedingungen kontrolliert, vereinfacht und kosteneffizient zu analysieren. Bei geeigneter Versuchsplanung können bodenmechanische Zusammenhänge aufgedeckt, Experimente flexibel erweitert sowie numerische Simulationen validiert werden (Al Heib et al., 2020). Der 1g-Versuch wird hingegen durch einige Einschränkungen gekennzeichnet. Bei diesem kann im Vergleich zum Modellversuch in der Zentrifuge nicht von einer vollständigen Skalierung ausgegangen werden, sodass Modelleffekte zu erwarten sind. Besonders das Spannungsniveau, von dem weitere Bodenkennwerte wie der Reibungswinkel abhängig sind, ist beim 1g-Modellversuch als geringer anzunehmen (Walz, 2006). Dennoch sind 1g-Versuche in der Bodenmechanik aufgrund ihrer Effizienz und guten Durchführbarkeit weit verbreitet (Al Heib et al., 2020; Nazhat, 2013). Die Übertragbarkeit von experimentellen Ergebnissen ist weiterhin gut möglich, wenn Maßstabeffekte über Skalenfaktoren für einzelne Kennwerte wie Dehnung, Spannung, Masse und weitere angepasst werden (Al Heib et al., 2020; Nazhat, 2013; Walz, 2006).

Bei hoher bodenmechanischer Prozesskomplexität wie im Falle der FGV, ist für die numerische Simulation als auch für den physikalischen Modellversuch eine Reduktion auf zwei räumliche Dimensionen sinnvoll. Dies ermöglicht, Muster in der Bodenbewegung sowohl numerisch zu simulieren als auch optisch-sensorisch im Modellversuch zu erfassen, da von einem ebenen Dehnungszustand (plane-strain state, PSS) im Boden ausgegangen werden kann. Derart ist eine iterative Validierung der Numerik mit Daten aus



Experimenten, als auch eine Vorhersage von Zuständen im Modellversuch durch numerische Simulationen möglich.

#### 4.2 Versuchsstand S

Der Modellversuchsaufbau (Abbildung 1, links) umfasst mehrere Elemente: Einen sandgefüllten Versuchsbehälter für PSS (1), einen sandgefüllten Versuchsbehälter für dreidimensionale Versuche (2), ein FG (7) mit Beschleunigungssensor sowie einen Geräteträger (3). Der Versuchsbehälter PSS (1) hat eine Dimension von 880 x 620 x 190 mm, der Versuchsbehälter (2) von 800 x 450 x 800 mm. Durch eine transparente PMMA-Scheibe (8) ist der Versuchsbehälter (1) im Schnitt einsehbar. Das FG ist rechteckig und wird über eine Linearführung parallel (4) zum Versuchsbehälter (1) und orthogonal (5) zur Sandoberfläche geführt. Die Fallhöhe kann durch einen höhenverstellbaren Elektromagneten (6) entlang der Linearführung variiert werden. Masse und Geometrie des FG sind durch zusätzliche Gewichtsscheiben variabel einstellbar. Die Kinematik des FG wird durch einen triaxialen, kapazitiven Beschleunigungssensor +/- 100 g (7) mit einer Abtastrate von 16000 Hz und einer Abtasttiefe von 16 Bit erfasst. Die Versuche erfolgen unter Annahme, dass sich der Sand im PSS verformt.

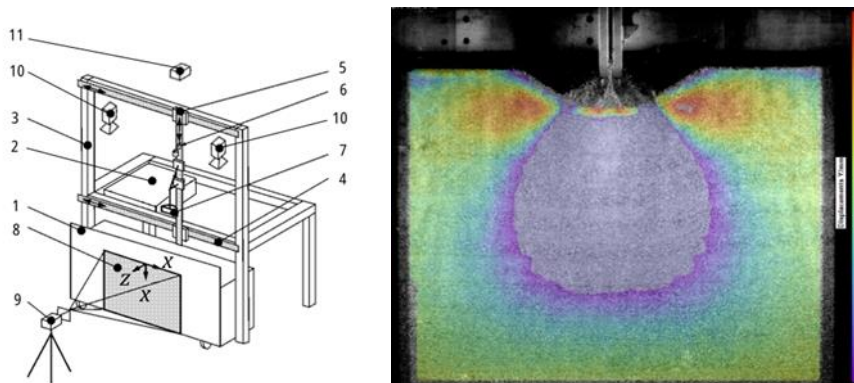


Abbildung 1: (links) Modellversuchsstand (Abbildung nach Knut 2022, eigene Ergänzungen). (rechts) Wirktiefe der Verdichtung nach Schlag 4 im PSS-Modellversuchsstand.

In den Versuchen wurde ein enggestufter Quarzsand (0/2), nachfolgend als Quarzsand 1 (QS1) bezeichnet, mit mittlerem Korndurchmesser von  $d_{50} = 0,482$  mm verwendet. Die Kornverteilung wurde durch Siebanalysen und lasergranulometrische Messung bestimmt (Abbildung 2). Der Einbau des Versuchssandes erfolgte lagenweise durch die Methode der Air Pluviation (Einrieselung). Die Lagerungsdichte des Sandes hängt von der Fallhöhe und dem Volumenstrom bei der Einrieselung ab. Eine gleichmäßiges Einrieselverhalten des Sandes wird am Versuchsstand durch einen zwei-axialen Linearantrieb gewährleistet. Die Führung erlaubt sowohl eine lagegenaue Ausrichtung des Vorhaltebehälters in vertikaler Achse als auch eine konstante Verfahrgeschwindigkeit entlang des Versuchsbehälters. Der Volumenstrom wird dabei durch die Anordnung eines Lochbleches am Auslass des Behälters bestimmt. In Vorversuchen wurden mit einer Fallhöhe von 250 mm, einer Verfahrgeschwindigkeit von 100 mm/s und einem rechteckigen Lochblech mit Öffnungsweite 20 x 20 mm eine bezogene Lagerungsdichte von ca.  $\rho_D = 0,3$  festgestellt. Die Reproduzierbarkeit der Einbaumethode ist durch Messun-

gen des Bodeneindringwiderstandes mittels Penetrometer, welches mit konstanter Geschwindigkeit von 20 mm/s am vertikalen Linearantrieb in den Boden eingedrückt wurde, bestätigt.

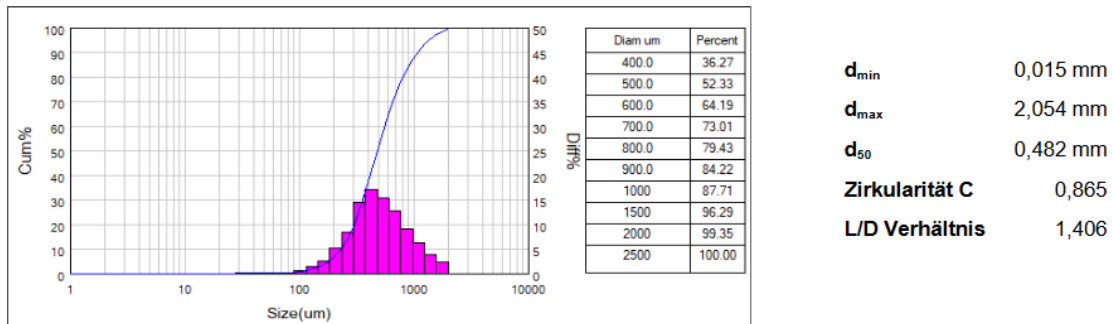


Abbildung 2: Korngrößenverteilung des verwendeten Sandes QS1, lasergranulometrischen Messung.

### 4.3 Optisch-Sensorische Verfahren

Der Modellversuchsstand wird durch ein integriertes optisch-sensorisches Messverfahren während und nach jedem Versuch eingemessen. Durch eine Hochgeschwindigkeitskamera (Abbildung 1, links 9) wird die Bodenverformung beim Aufprall mit einer Abtastrate von 1000 Hz durch die PMAA-Scheibe aufgezeichnet. Aufbauend auf einer internen Kalibrierung der Kamera werden die Bilddaten nach der Methode der Digital Image Correlation (DIC) ausgewertet (Borg et al., 2017). Ziel dieser Aufzeichnung ist es, einen visuellen Zugang zu den Verformungen des Sandes im Längsschnitt während des Aufpralls zu erhalten. Ein wesentlicher Aspekt der bildbasierten Erfassung ist die Orientierung der Kamera zur PMAA-Scheibe und die Belichtung des Sichtfeldes (Field of View). Die Kamera wurde orthogonal zur PMAA-Scheibe ausgerichtet und extern kalibriert. Vier LED-Lichtquellen wurden lageversetzt angeordnet, um eine hohe Reflektivität der Sandkörner zu gewährleisten und dabei Spiegelungen (Bright Spots) im Sichtfeld zu verhindern. Als Ergebnis dieser DIC wird es möglich, die Prozesse während jedes Schlags und vergleichend zwischen verschiedenen Schlägen umfangreich quantitativ zu beschreiben und zu visualisieren (Abbildung 1, rechts). Die Messungen der DIC im Längsschnitt werden durch photogrammetrische Messungen (Abbildung 1, links 10) nach jedem Schlag ergänzt. Ziel dieser zweiten Aufzeichnung ist es, ein präzises digitales Oberflächenmodell zu erzeugen und damit Bodenverformungen orthogonal zum Längsschnitt zu erfassen. Damit können Eigenschaften des Einschlagkraters, Hebung und Setzung der Oberfläche sowie plastische Verformungen quantifiziert und vergleichbar gemacht werden. Zur externen räumlichen Referenzierung und Validierung wird der gesamte Modellversuchsstand mit industrieller, hochpräziser Photogrammetrie (Abbildung 1, links 11) und alternativ mittels terrestrischem Laserscanning erfasst.

### 4.4 Versuchsplanung

Die geplanten Versuchsreihen basieren auf der Methode des Design of Experiments (DoE). DoE ist eine statistische Methode zur Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten. Sie untersucht systematisch Effekte verschiedener Faktoren auf Ergebnisse und hilft damit den Aufwand der durchzuführenden Modellversuchsreihen zu optimieren. Die Planung beinhaltet Auswahl von Faktoren und Stufen, Anzahl der Versuchsdurchläufe und Durchführungsreihenfolge. Die Versuchsreihen werden analysiert,

um den Einfluss spezifischer Faktoren auf das Ergebnis zu bestimmen (Mohamed El Ghazi, 2019). Aufgrund der Annahme linearer Abhängigkeiten der Ergebnisgrößen von den Faktoren besitzt das klassische DoE mit zweistufigen Versuchsplänen Einschränkungen bei der Anwendung bodenmechanischer Fragestellungen. Zur Anwendung kommt daher das Central-Composite-Design (CCD), welches auf einem zweistufigen Versuchsplan basiert und Systeme mit fünf Stufen untersucht (Siebertz et al., 2017).

Faktor	Stufe					Einheit
	--	-	0	+	++	
Fallhöhe	0,20	0,60	1,00	1,40	1,80	m
Fläche	148	185	222	259	333	cm <sup>2</sup>
Masse	4,5	6,0	7,50	9,0	11,5	kg

Tabelle 1: Zusammenfassung der relevanten Faktoren und deren Stufen im CCD-Versuchsplan. 0 entspricht der mittleren Stufeneinstellung und -- / ++ den maximalen / minimalen Einstellungen.

Durch die Erweiterung zum CCD können quadratische Effekte und nichtlineare Zusammenhänge erfasst werden, was eine umfassendere Analyse und Optimierung im hier behandelten Kontext ermöglicht. In den Versuchsreihen soll die Abhängigkeit der Kinetik sowie der plastischen Verformungen vor dem Hintergrund des Bodenverhaltens unter HDR-Belastung untersucht werden. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind die Fallhöhe, die Masse, die Fläche, die Bodenart und die Zustandsgrößen des Bodens (Tabelle 1). Der Beschreibung des reproduzierbaren Bodeneinbaus aus Kapitel 4.2 entsprechend werden die Bodenart und die Zustandsgrößen als Konstanten betrachtet.

#### 4.5 Numerik

Mithilfe der FE-Softwarepakete ABAQUS/Standard und ABAQUS/Explicit und unter Verwendung des hypoplastischen Stoffgesetzes mit intergranularen Dehnungen (HSM) werden in Solver FEM-Simulationen zur Analyse der FGV durchgeführt.

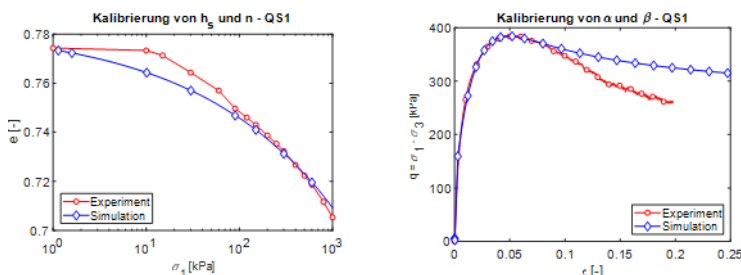


Abbildung 3: Kalibrierung von (links)  $h_s$  und  $n$  an lockerem KD-Versuch, (rechts)  $\alpha$  und  $\beta$  am dichten Triaxialversuch.

#### Materialmodell des Bodens

Während das FG in den Simulationen als sog. rigid body (starr) angenommen wird, erfordert die Modellierung des Bodens, in diesem Fall des Sandes, aufgrund seines komplexen Materialverhaltens ein hochwertiges Stoffgesetz. Das HSM (Niemunis & Herle, 1997; Wolffersdorff, 1996) stellt ein solches dar und zeichnet sich sowohl durch die Abbildung wesentlicher mechanischer Eigenschaften von Sanden, als auch durch seine mathematische Einfachheit und Implementierung in FE-Programme aus (Kolymbas, 2019). Eine detaillierte Beschreibung des Stoffmodells ist u. a. in Mašin (2019) gegeben. Die Kalibrierung der acht Stoffparameter des Grundmodells (Tabelle 2; Abbildung 3) des

Versuchssandes QS1 erfolgte analog zu Fock (2021) in Anlehnung an Mašin (2019).  $m_R$ ,  $m_T$ ,  $R$ ,  $\beta_r$  und  $\chi$  wurden für QS1 in früheren Untersuchungen an einem sehr ähnlichen Material kalibriert und hier angenommen. Das Stoffgesetz wird über eine UMAT-Subroutine in ABAQUS integriert (SoilModels, 2018).

$\varphi_c$ [°]	$e_{c0}$	$e_{d0}$	$e_{i0}$	$h_s$ [MPa]	$n$	$\alpha$	$\beta$	$m_R$	$m_T$	$R$	$\beta_r$	$\chi$
35,0	0,76	0,50	0,912	2800	0,31	0,065	0,7	5	2	6,5e-5	0,5	6

Tabelle 2: Hypoplastische Stoffparameter - QS1

### Numerisches Modell

Zur Simulation der Modellversuche wird der Boden unter Nutzung der Symmetrieeigenschaften des Problems mit einem  $B/2 \times H = 0,95 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$  - FE-Netz (3570 CPE4R-Elemente) in 2D sowie im PSS modelliert. Die Modellränder werden am rechten Rand horizontal bzw. am unteren Rand vertikal unverschieblich angenommen. Das FE-Netz des Bodens besteht aus einem  $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$  großen Bereich uniformer Elemente mit einer Kantenlänge von 1,18 cm, gefolgt von einem Bereich mit hin zum Modellrand größer werdenden Elementen. Das Fallgewicht wird mit den Realmaßen  $0,15 \text{ m} \times 0,01 \text{ m}$  aufgrund der deutlich größeren Steifigkeit als rigid body und somit starr angenommen.

Zu Beginn der Simulation wird die initiale Porenzahl  $e_0$  über die initial conditions Formulierung definiert und der geostatische Anfangszustand als initialer Zustand mit ABAQUS/Standard ermittelt. Im Anschluss erfolgt die Modellierung eines vollständigen impact-Vorgangs in zwei sub steps – dem impact step (IMP) und dem pull up step (PU). Die Lastaufbringung im IMP resultiert aus der Beschleunigung des FG über die Fallhöhe ( $t_{\text{sim}} = 3 \text{ s}$ ) infolge von Gravitationskräften, wobei IMP mittels einer smooth step amplitude eingeleitet wird. Der Kontakt zwischen dem FG und dem Boden wird als reibungslos angenommen und über den contact pair algorithm definiert. Anschließend wird das FG im PU ( $t_{\text{sim}} = 1 \text{ s}$ ) um eine definierte Höhe angehoben. Diese nichtlinearen Berechnungen werden mit ABAQUS/Explicit durchgeführt.

## 5. Erste Ergebnisse und Ausblick

In Vorbereitung der in Kapitel 4.4 dargestellten Versuchsreihen wurden Versuche durchgeführt um Messergebnisse aus dem Modellversuch mit denen der numerischen Simulation zu vergleichen. In den Modellversuchen wurde ein 10 kg-FG mit einer Fallhöhe von 1,0 m verwendet. Insgesamt wurden vier aufeinanderfolgende Schläge durchgeführt, wobei die Fallhöhe nach jedem Schlag auf 1,0 m zur Kratersohle korrigiert wurde. Bei den Versuchen wurde die am Fallgewicht auftretende Beschleunigungen gemessen, mithilfe derer ein anschließender Vergleich der Fallgewichtskinematik mit dem Simulationsergebnis möglich ist. Zur Bestimmung des Weges aus dem Beschleunigungssignal wurde dieses korrigiert und zweifach integriert.

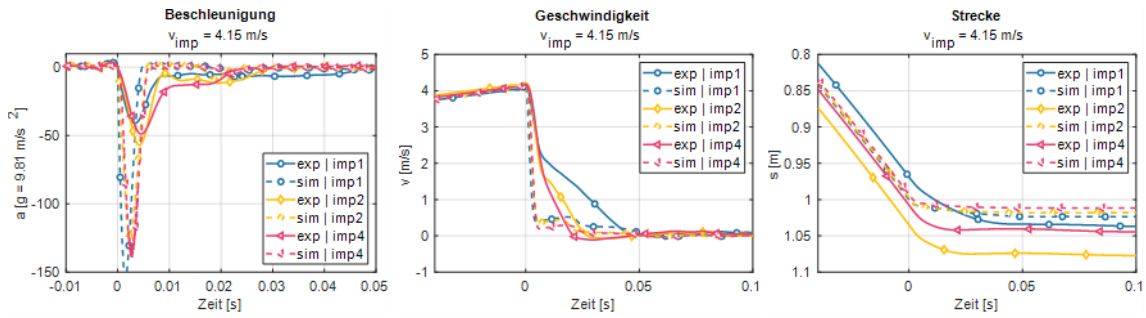


Abbildung 4: Beschleunigungssignale  $a$  (links), Geschwindigkeiten  $v$  (mittig) und Weg  $s$  (rechts) des FG in vertikale Richtung während der Einschläge  $imp1$ ,  $imp2$  und  $imp4$ . Die durchgezogenen Graphen stellen das Messsignal aus den Modellversuchen bzw. die Integration dessen dar, während die gestrichelten Graphen die Simulationsergebnisse der FE-Simulationen abbilden. Alle Signale werden bezogen auf den Zeitpunkt des impacts ( $t = 0$  s) bei maximaler Geschwindigkeit dargestellt.

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, zeigen die Ergebnisse aus der Messung der Fallgewichtskinetik mittels der Beschleunigungsmessung vergleichbare Ergebnisse zu denen der Simulation. Die experimentell am FG bestimmten Signalverläufe der Beschleunigungsmessung weichen jedoch von den in der Simulation berechneten Beschleunigungen ab. Charakteristische Signalverläufe der Beschleunigung beim Auftreffen von Körpern auf granulare Oberflächen kennzeichnen sich durch einen anfänglich rapiden Anstieg der Beschleunigung auf einen Maximalwert ( $a_{peak}$ ) sowie eine darauffolgende Plateaubildung während derer die Beschleunigung annähernd konstant bleibt (Transitions-Zone), bis es zu einem abrupten Abfall vom Plateauwert kommt ( $a_{stop}$ ) (Goldman & Umbanhowar, 2008). Der charakteristische Verlauf wird durch die Experimente, nicht aber durch die Simulation abgebildet.

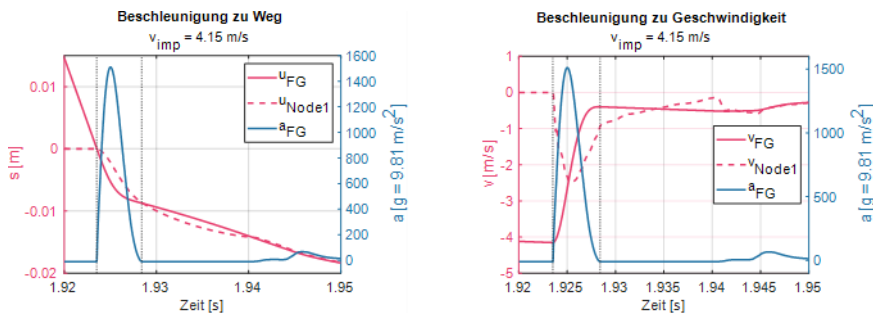


Abbildung 5: Beschleunigungssignal des FG in der Simulation zum Weg (links) und zur Geschwindigkeit (rechts) des FG und des Node 1 am linken oberen Modellrand (GOK der Symmetrieachse).

Eine mögliche Ursache liegt in einem Kontaktverlust der FE-Netzgeometrie zum FG, welcher während des Aufpralls durch unterschiedliche Verformungsgeschwindigkeiten beider Netze (Abbildung 5, rechts) resultiert. Hierdurch verschwinden in der Simulation die auf das FG wirkenden Beschleunigungen und das FG bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit, bis es durch die Geschwindigkeitsabnahme des Bodennetzes erneut zu einem Kontakt kommt. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Sensitivität des numerischen Modells auf die dynamischen Einflüsse hin zu analysieren.

Neben dem Vergleich der Kinematik des Fallgewichtes mit den numerischen Simulationsergebnissen wurden auch die Ergebnisse der Simulation zur Bodenverformungen mit den DIC-Setzungsmessungen des PSS-Modellversuches in einer ersten Betrachtung

tion validiert (Abbildung 6). Die Simulation liefert hier im Kraterbereich nach vier Schlägen eine vertikale Setzung von bis zu 7 cm zur ursprünglichen GOK (links). Weiter kann sie die zu erwartenden Hebungen an der Oberfläche und im oberflächennahen Bereich bereits im ersten Durchlauf mit den oben genannten Modellparametern gut nachbilden. Beim Vergleich mit den DIC-Messungen zeigt sich bereits in dieser frühen Phase des mehrstufigen Validierungsprozesses eine hohe strukturelle Übereinstimmung.

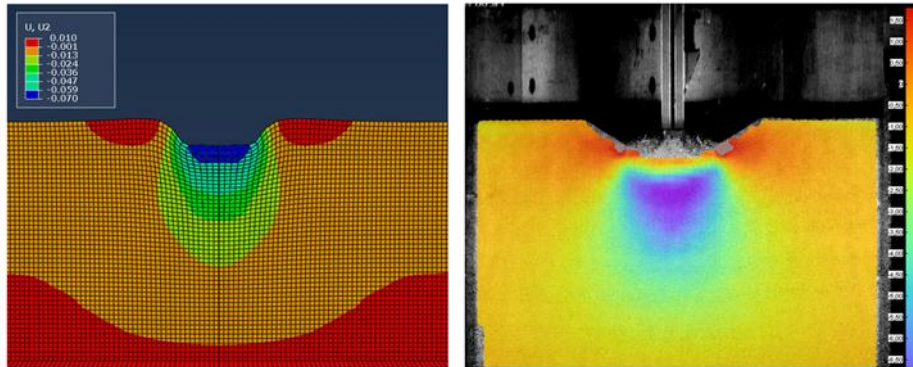


Abbildung 6: (links) Ergebnisse der FE-Simulation: Vertikale Setzung  $U_2$  nach Schlag vier, gespiegelt in  $YZ$ -Achse. (rechts) Evaluation am 1g-Modellversuch: Vertikale Setzung nach Schlag vier, bestimmt mittels DIC. (beide) Einschlaggeschwindigkeit  $v_{imp} = 4,15 \text{ m/s}$ .

Verlauf und Lage der Bodenverformungen, insbesondere vertikale Hebung und Setzung (rechts), weisen eine hohe räumliche Korrelation mit den Ergebnissen der numerischen Simulation auf. Lediglich die nach Schlag vier noch geringe plastische Verformung der Oberfläche kann mittels DIC nicht ausreichend präzise erfasst werden. Eine Gesamtbeurteilung der Bodenverformung ist so erst unter Hinzunahme eines digitalen Oberflächenmodells im nächsten Verfahrensschritt ganzheitlich sinnvoll.

### Literaturverzeichnis

Al Heib, M., Emeriault, F. & Nghiem, H.-L. (2020). On the use of 1g physical models for ground movements and soil-structure interaction problems. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(1), 197–211. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.07.006>

Bless, S., Omidvar, M. & Iskander, M. (2015). High-Speed Penetration of Granular Geomaterials. In M. Iskander, S. Bless & M. Omidvar (Hrsg.), *Rapid penetration into granular media: Visualizing the fundamental physics of rapid earth penetration* (S. 93–144). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800868-3.00004-3>

Bo, M. W., Na, Y. M., Arulrajah, A. & Chang, M. F. (2009). Densification of granular soil by dynamic compaction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 162(3), 121–132. <https://doi.org/10.1680/grim.2009.162.3.121>

Borg, J. P., Sable, P., Sandusky, H. & Felts, J. (2017). In situ characterization of projectile penetration into sand targets. In *AIP Conference Proceedings* (S. 120014). Author(s). <https://doi.org/10.1063/1.4971696>

Feng, S.-J., Shui, W.-H., Gao, L.-Y., He, L.-J. & Tan, K. (2010). Field studies of the effectiveness of dynamic compaction in coastal reclamation areas. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69(1), 129–136. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0242-x>

Feng, S.-J., Shui, W.-H., Tan, K., Gao, L.-Y. & He, L.-J. (2011). Field Evaluation of Dynamic Compaction on Granular Deposits. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 25(3), 241–249. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000160](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000160)

Fock, V. (2021). Standardisierte Vorgehensweise zur Parametrisierung von sandigen Böden für das hypoplastische Stoffgesetz [Masterthesis]. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:l189-qucosa2-778542>

Ghassemi, A., Pak, A. & Shahir, H. (2009). Validity of Menard relation in dynamic compaction operations. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 162(1), 37–45. <https://doi.org/10.1680/grim.2009.162.1.37>

Goldman, D. I. & Umbanhowar, P. (2008). Scaling and dynamics of sphere and disk impact into granular media. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 77(2 Pt 1), 21308. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.77.021308>

Hamidi, B., Serge, V. & Nikraz, H. (2011). Dynamic Compaction for Treating Millions of Square Meters of Sand. In M. A. Shahin (Hrsg.), *International Conference on Advances in Geotechnical Engineering, ICAGE: Perth, Australia, November 7 - 9, 2011*.

Iskander, M., Omidvar, M. & Bless, S. (2015). Behavior of Granular Media Under High Strain-Rate Loading. In M. Iskander, S. Bless & M. Omidvar (Hrsg.), *Rapid penetration into granular media: Visualizing the fundamental physics of rapid earth penetration* (S. 11–63). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800868-3.00002-X>

Jia, M., Cheng, J., Liu, B. & Ma, G. (2021). Model tests of the influence of ground water level on dynamic compaction. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(4), 3065–3078. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02110-y>

Jia, M., Yang, Y., Liu, B. & Wu, S. (2018). PFC/FLAC coupled simulation of dynamic compaction in granular soils. *Granular Matter*, 20(4). <https://doi.org/10.1007/S10035-018-0841-Y>

Knut, A. (2022). Die Fallgewichtsverdichtung als unelastischer Stoß -Prozessoptimierung und Abschätzung der Wirtktiefe. In 17. Erdbaufachtagung: „Erd- und Grundbau bei Infrastrukturmaßnahmen“.

Kolymbas. (2019). *Geotechnik*. Springer Berlin Heidelberg.

Lukas, R. (1995, 1. März). *Geotechnical Engineering Circular No. 1 - Dynamic Compaction (FHWA-SA-95-037)*. United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications. <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/40768>

Mašin, D. (2019). *Modelling of soil behaviour with hypoplasticity: Another approach to soil constitutive modelling*. Springer series in geomechanics and geoen지니어ing. Springer.

- Massarsch, K. R. (2019). Das Setzungsverhalten von vibrationsverdichteten, rolligen Böden. *geotechnik*, 42(3), 134–150. <https://doi.org/10.1002/gete.201900001>
- Mayne, P. W. & Jones, J. S [Jones S.] (1983). Impact Stresses During Dynamic Compaction. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(10), 1342–1346. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:10\(1342\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:10(1342))
- Mayne, P. W., Jones, J. S [John S.] & Dumas, J. C. (1984). Ground Response to Dynamic Compaction. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(6), 757–774. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1984\)110:6\(757\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1984)110:6(757))
- Ménard, L. & Broise, Y. (1975). Theoretical and practical aspect of dynamic consolidation. *Géotechnique*, 25(1), 3–18. <https://doi.org/10.1680/geot.1975.25.1.3>
- Mohamed El Ghazi. (2019). Statistische Versuchsplanung für Einsteiger. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31748.68487>
- Moyle, R. & Airey, D. (2015). Monitoring of dynamic compaction using topographic survey. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 168(1), 66–76. <https://doi.org/10.1680/grim.13.00034>
- Nazhat, Y. (2013). Behaviour of sandy soil subjected to dynamic loading. <http://hdl.handle.net/2123/9435>
- Niemunis, A. & Herle, I. (1997). Hypoplastic model for cohesionless soils with elastic strain range. *Mechanics of Cohesive-frictional Materials*, 2(4), 279–299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199710\)2:4<279::AID-CFM29>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199710)2:4<279::AID-CFM29>3.0.CO;2-8)
- Parvizi, M. & Qafari, M. A. (2012). Numerical method to determine soil stiffness by cyclic load. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 48(6), 266–271. <https://doi.org/10.1007/s11204-012-9157-9>
- Poran, C. J., Heh, K.-S. & Rodriguez, J. A. (1992). Impact Behavior of Sand. *Soils and Foundations*, 32(4), 81–92. [https://doi.org/10.3208/sandf1972.32.4\\_81](https://doi.org/10.3208/sandf1972.32.4_81)
- Ranasinghe, R., Jaksa, M. B., Pooya Nejad, F. & Kuo, Y. L. (2019). Genetic programming for predictions of effectiveness of rolling dynamic compaction with dynamic cone penetrometer test results. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(4), 815–823. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.10.007>
- Rollins, K. M. & Kim, J. (2010). Dynamic Compaction of Collapsible Soils Based on U.S. Case Histories. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(9), 1178–1186. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000331](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000331)
- Siebertz, K., van Bebbber, D. & Hochkirchen, T. (2017). *Statistische Versuchsplanung*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55743-3>
- SoilModels. (2018, 24. Juli). UMAT Implementation of Sand Hypoplasticity by UIBK - SoilModels. <https://soilmodels.com/download/umat-hyposand-uibk/>
- Souza, T. F. de & Pasqual, R. P. S. (2021). New Method to Predict Crater Depth Obtained in Dynamic Compaction. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(5), 3981–3993. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01726-x>



van Impe, W. F. & Bouazza, A. (1996). Densification of domestic waste fills by dynamic compaction. *Canadian Geotechnical Journal*, 33(6), 879–887.  
<https://doi.org/10.1139/t96-118>

Walz, B. (2006). Möglichkeiten und Grenzen bodenmechanischer 1g-Modellversuche. In F. Rackwitz (Hrsg.), *Entwicklungen in der Bodenmechanik, Bodendynamik und Geotechnik* (S. 63–78). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-27438-3\\_5](https://doi.org/10.1007/3-540-27438-3_5)

Wetzel, R. A. & Vey, E. (1970). Axisymmetric Stress Wave Propagation in Sand. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96(5), 1763–1786.  
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001464>

Wolffersdorff, P.-A. von (1996). A hypoplastic relation for granular materials with a pre-defined limit state surface. *Mechanics of Cohesive-frictional Materials*, 1(3), 251–271.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199607\)1:3<251::AID-CFM13>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199607)1:3<251::AID-CFM13>3.0.CO;2-3)

Wood, D. M. (2004). *Geotechnical modelling. Applied geotechnics: v. 1*. Spon Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781315273556>

# EEG-Vorhersage zur Prognose von Mikroschlaf

Lisa Schneeweiß, Martin Patrick Pauli, Martin Golz

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Blechhammer 4, 98573 Schmalkalden

## Abstract

Elektroenzephalogramme (EEG) von 79 jungen Fahrzeugführer:innen, die bei Nachtfahrtsimulationen häufig Mikroschlafereignissen unterlagen, wurden mit dem Ziel analysiert, stets nur EEG vor dem Eintritt eines Mikroschlaf-Ereignisses zu verwenden. Zwei unterschiedliche Klassen wurden gebildet: (0) kein, (1) ein Mikroschlaf-Ereignis tritt nach dem Ende der EEG-Aufzeichnung ein. Mit fünf Methoden der Zeitreihenvorhersage wurden die EEG-Amplituden nach dem Ende der Aufzeichnung mit einem Prognosehorizont von bis zu fünf Sekunden geschätzt. Im Ergebnis zeigte sich, dass das ARIMA-Modell (auto-regressive integrated moving average) die geringsten Prognosefehler aufweist. Das EEG von zentralen und von occipitalen Lokalisationen war genauer zu prognostizieren als das von frontopolaren Lokalisationen. Die Methodik wurde zusätzlich bewertet mit der Genauigkeit der Diskrimination beider Klassen (0/1), wobei unterschiedliche Anteile von aufgezeichneten und vorhergesagten EEG-Amplituden in die Analysen eingingen. Es konnten mit Kreuzvalidierung mittlere Genauigkeiten von bis zu  $85,3 \pm 0,9$  % erreicht werden, wobei nur aufgezeichnetes EEG vor dem Mikroschlaf-Ereignis verwendet wurde. Durch das Hinzunehmen von vorhergesagtem und Weglassen von aufgezeichnetem EEG konnte eine Genauigkeitssteigerung von maximal 0,96 % erzielt werden. Allerdings traten Fluktuationen in den Ergebnissen auf, sodass die Ergebnisse nicht als statistisch sicher angesehen werden können.

## 1. Einleitung

In Deutschland wurden im Jahr 2021 1.507 Verkehrsunfälle mit Personenschaden durch Übermüdung registriert [1]. Allerdings wird diese Unfallursache meist angegeben, wenn keine andere in Frage kommt. Die tatsächliche Relevanz von Müdigkeit im Verkehrsunfallgeschehen wurde im Rahmen eines berufsgenossenschaftlich initiierten Projekts untersucht [2]. Akten zu schweren und tödlichen Wege- und Dienstwegeunfällen im Straßenverkehr (mit Pkw und Lkw) aus den Jahren 2014 bis 2019 wurden auf Hinweise für Müdigkeit als Unfallursache begutachtet. Dabei lagen in 24,2 Prozent der Unfälle Indizien dafür vor, dass der Fahrer eingeschlafen sein könnte. In weiteren 17,6 Prozent wurden Hinweise auf müdigkeitsbedingte Fahrfehler und Unaufmerksamkeit gefunden [2]. Damit wurden frühere Untersuchungen bestätigt, dass Müdigkeit in mindestens 15% bis 25% aller schweren Unfälle eine ursächliche Rolle spielt [3]. Die Untersuchung dieses Humanfaktors ist auch für andere Verkehrsmittel und Wirtschaftssektoren, wie beispielsweise Überwachungsaufgaben in Produktion und im Militär, von hoher Bedeutung. Das Einbrechen von schlafähnlichen Zuständen unter der Anforderung fortwährender Aufmerksamkeit bezeichnet man als Mikroschlaf. Er kann zu besonders schwerwiegenden und gefährlichen Situationen führen und sollte durch geeignete Gegenmaßnahmen verhindert werden. Ein Weg zu diesem Ziel ist die Fahrerüberwachung mit Detektion und Alarmierung. Kritisch ist allerdings, dass die Detektion erst dann einsetzt, wenn ein Mikroschlaf-Ereignis bereits eingetreten ist.

Um diese Ereignisse zu detektieren, bevor sie eintreten, sollen im Weiteren Methoden der Zeitreihenprognose untersucht werden, wobei stets nur das EEG vor und nicht während eines Mikroschlaf-Ereignisses analysiert wird. Problematisch ist, dass das EEG eine hohe interindividuelle Variabilität und zudem eine komplizierte Signalcharakteristik aufweist. In diesem Beitrag sollen univariate Modelle eingesetzt werden und ihre freien Parameter empirisch optimiert werden, so dass verschiedene Fehlermaße (MAE, MSE, MAPE) an den vorliegenden Datensätzen minimal sind.

Die korrekte Prognose zukünftiger Amplitudenfolgen ist bei Signalen mit hohem Zufallsanteil nicht zwingend das ultimative Ziel. Nehmen wir an, dass eine erfolgreiche Vorhersage der wesentlichen dynamischen Signaleigenschaften möglich ist, auch, wenn die Amplituden und Phasenlagen nicht immer annähernd korrekt vorhergesagt werden können. Dann könnte eine Klassifikation mit lernfähigen Methoden, ob ein Mikroschlaf-Ereignis bevorsteht oder nicht, erfolgreich sein. So könnte der Fahrer vor dem bevorstehenden Mikroschlaf-Ereignis gewarnt werden, denn die komplette Signalanalyse wurde bereits vor dem Eintreten des Mikroschlaf-Ereignisses abgeschlossen.

## **2. Material**

Das EEG von 79 jungen, gesunden Personen aus verschiedenen Nachtfahrt-Studien mit siebenstündigen Aufzeichnungen pro Person wurde in die Datenanalysen eingeschlossen. Alle Studien wurden nach gleichem Konzept im Fahrsimulations-Labor der Hochschule Schmalkalden in authentischer Umgebung durchgeführt. Das Studienkonzept sicherte ab, dass folgende wesentliche Einflussfaktoren zu sehr hoher Fahrermüdigkeit führen: Wachzeit, Beanspruchungszeit, Tageszeit und Monotonie-Empfinden.

Hohe Wachzeiten (time since sleep) wurden erreicht durch das Starten der Fahrsimulation mindestens 14 Stunden nach Beendigung des Nachtschlafs und der Forderung an die Versuchsteilnehmer, dass zwischenzeitlich fortwährende Wachheit gewährleistet sein muss. Letzteres wurden mit Handaktometrie überprüft: die Beschleunigungen am Handgelenk, die einen definierten Schwellwert übersteigen, werden gezählt und als minütliches Histogramm gespeichert. Im Histogramm dürfen keine längeren Pausen vorliegen, anderenfalls wurde die Person nicht zur Studie zugelassen. Die Beanspruchungszeit (time on task) ergibt sich aus der Länge einer Fahrtsitzung (40 Minuten) und der Anzahl von sieben Sitzungen pro Person, sodass diese bei 280 Minuten lag. Eine höhere Beanspruchung ist kaum umsetzbar, unter anderem weil der dritte Einflussfaktor, die Tageszeit (time of day), mit 1 bis 7 Uhr gewählt wurde. In diesem Zeitraum sinkt der Stoffwechsel und somit die Körpertemperatur und es kommt zur vermehrten Ausschüttung des schlafbegleitenden Hormons Melatonin. Der wohl größte Einfluss ist nicht physischer sondern psychischer Natur: das nachhaltige Empfinden von Monotonie während der Tätigkeit. Auch dieser Faktor war in den Nachtfahrt-Studien beabsichtigt hoch. Man hätte das Monotonie-Empfinden beispielsweise durch intensive Kommunikation, eventuell sogar mit aggressiver Tendenz verringern und so ausreichend hohe Aktivierungen erreichen können, so würde der Schlafdruck eine untergeordnete Rolle bekommen. Weitere Maßnahmen zur Absicherung hoher Müdigkeit waren der angeordnete Verzicht auf psychotrope Substanzen (bspw. Koffein) am Tag der Studie, der allerdings nicht überprüft werden konnte.

Insgesamt stehen 9.608 Beispiele zur Verfügung, davon gehören 55,5 % der Klasse 0 (kein Mikroschlaf) und 44,5 % der Klasse 1 (Mikroschlaf) an. Die Anzahl beider Klassen

ist oftmals dadurch beschränkt, dass in einem relativ großen Zeitraum von 32 Sekunden kein weiteres Mikroschlaf-Ereignis und keine Artefakte im EEG vorliegen dürfen. Die interindividuelle Variabilität der Mächtigkeiten beider Klassen ist relativ hoch (Abbildung 1).

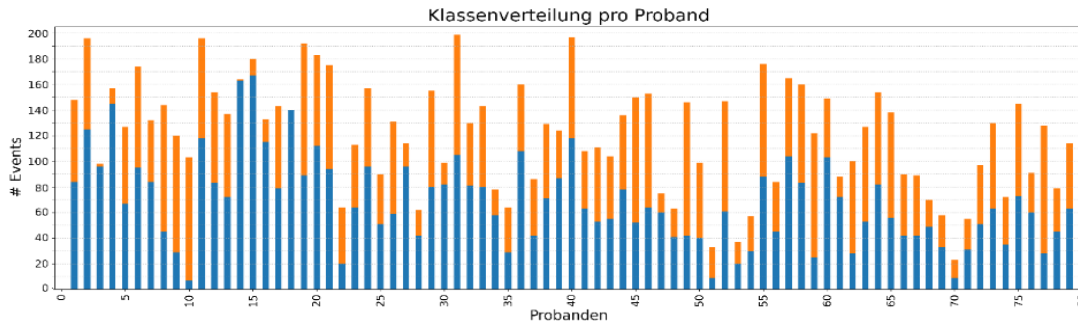


Abbildung 1: Mächtigkeiten der Klassen 0 (blau/unten) und 1 (orange/oben) über der ID-Nummer der beteiligten Personen.

### 3. Methoden und Zwischenergebnisse

Folgende fünf Methoden wurden aus Gründen des numerischen Aufwands an einem verkleinerten Datensatz auf ihre Tauglichkeit überprüft: simple exponential smoothing (SES), Holt-Methode ohne/mit linearem Trend (Holt1/2), autoregressives Modell (AR) und kombiniertes Modell der Autoregression und des gleitenden Mittelwerts über der Differenzen-Zeitreihe (ARIMA, auto-regressive integrated moving average) [4]. Validiert wurden die Modelle, indem folgende Fehlermaße aus dem vorhergesagten Amplituden und den beobachteten Amplituden gebildet wurden: mittlerer absoluter Fehler (MAE), mittlerer absoluter prozentualer Fehler (MAPE) und mittlerer quadratischer Fehler (MSE). Im Vergleich der Perzentile der Fehlerverteilung (Abbildung 2) zeigte sich, dass das ARIMA-Modell zu kleineren Prognosefehlern führte. Die Kastengrafiken zeigen, dass nur wenige Ausreißer vorliegen und der Großteil der Fehler im Intervall der Antennen (whisker) liegen. Das ARIMA-Modell ist in jedem Fehlermaß und in allen Perzentilen der Verteilung am niedrigsten. Daher wurde für die anschließenden Analysen aus Gründen des numerischen Aufwands stets die ARIMA-Vorhersage berücksichtigt.

Zu optimierende Parameter des ARIMA-Modells sind die Ordnungen des AR- und des MA-Modells, sowie die Differenzierungsordnung. Es wurden Parameter im Intervall 0 bis 9 zugelassen. Diese drei Parameter gelten stets einheitlich für alle in die Analysen eingeschlossenen 79 Personen. Anschließend erfolgte die Optimierung der Modellparameter ( $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ) für jede der Zielfunktionen (MAE, MAPE, MSE).

Es zeigte sich, dass für jeden EEG-Kanal andere Parameterkombinationen optimal waren. In beiden frontopolaren Kanälen (FP1, FP2) und in einem occipitalen Kanal (O1) waren die Häufigkeitsunterschiede gering, in den zentralen Kanälen (C3, C4) und im Kanal O2 waren drei Kombinationen dominant. Deshalb wurden im Weiteren für jeden EEG-Kanal separat die Parameterkombination ausgewählt, die am häufigsten optimal war.

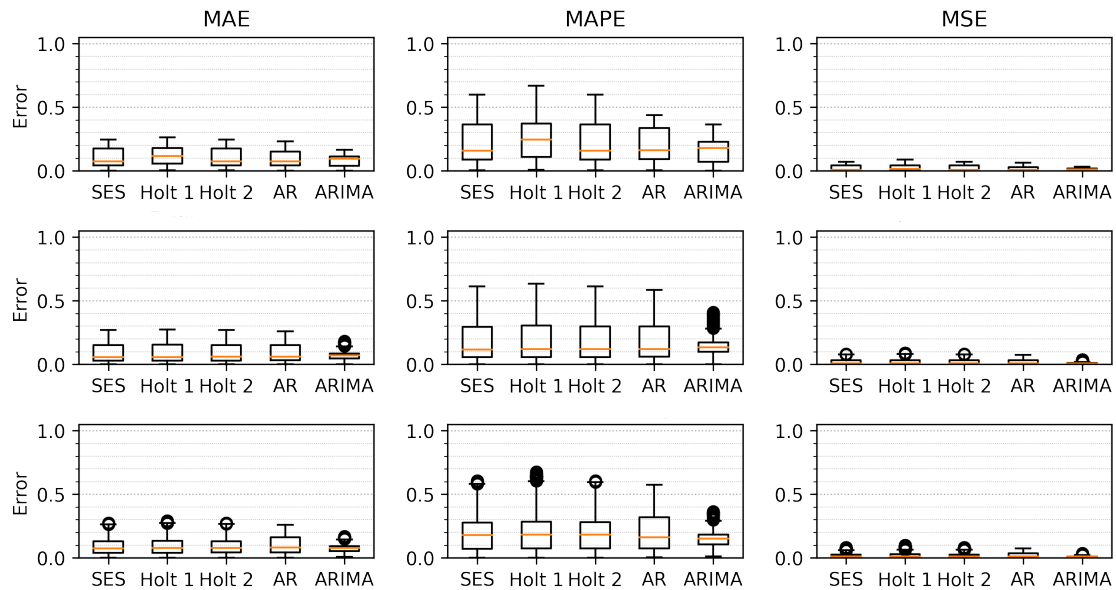


Abbildung 2: Perzentile der Fehlerverteilung für fünf Vorhersage-Modelle (SES, Holt1, Holt2, AR, ARIMA). Als Fehlermaße wurden der mittlere absolute, mittlere relative und mittlere quadratische Fehler (MAE, MAPE, MSE) verwendet. Es wurden drei Signalsegmente zufällig ausgewählt (horizontale Reihen).

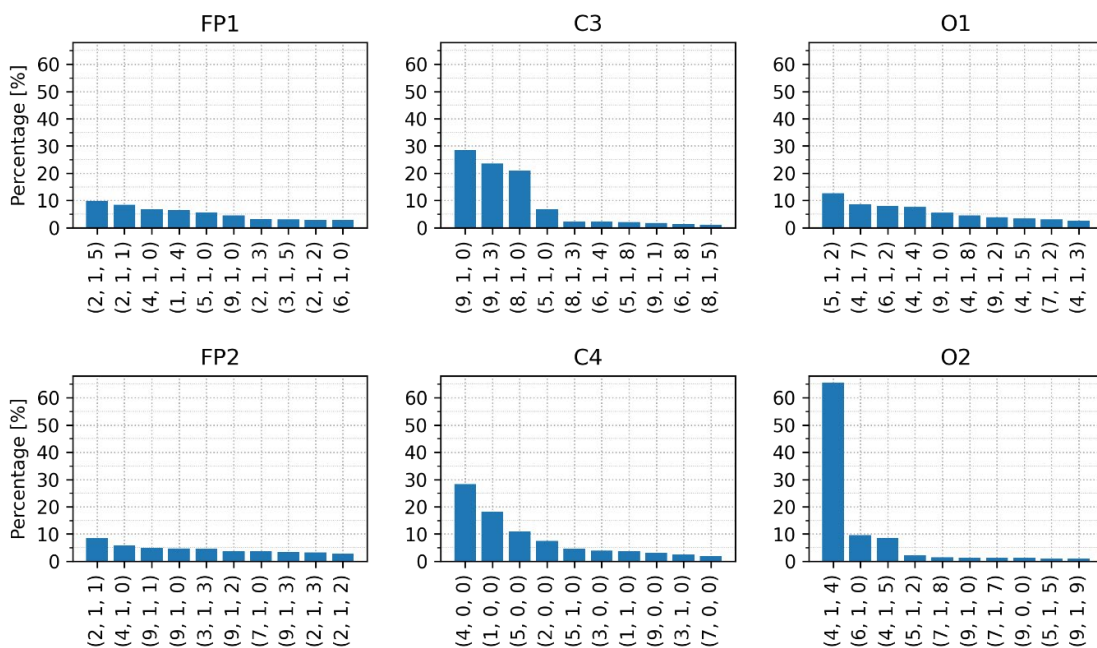
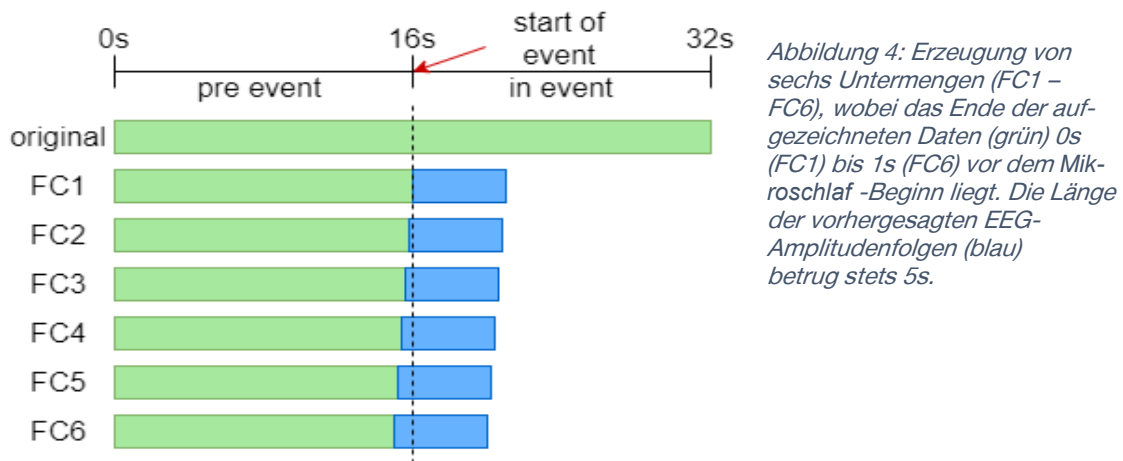


Abbildung 3: Relative Häufigkeit der 10 optimalen Parameterkombinationen des ARIMA-Modells getrennt für jeden der sechs EEG-Kanäle (FP – frontopolar, C – zentral, O – occipital).

Die anschließenden Klassifikationsanalysen haben die Genauigkeitssteigerung der Diskriminierung beider Klassen (0/1) als Ziel. Hierfür wurden sechs Untermengen des Datensatzes wie folgt erzeugt (Abbildung 4). Der original gegebene Datensatz hat eine Länge von 32 Sekunden pro Beispiel. Bei Klasse 1 beginnt das Mikroschlaf-Ereignis bei  $t = 16s$ . Bei Klasse 0 liegt kein Mikroschlaf vor, sodass zur Intervallmitte kein besonderes Verhaltensmerkmal vorliegt und dennoch eine Vorhersage der Amplitudenfolgen

durchgeführt wird. Die Untermenge FC1 enthält 16s aufgezeichnetes EEG und 5s vorhergesagtes EEG. Bei der Menge FC2 verringert sich der erste Anteil auf 15,8s; der zweite Anteil blieb fixiert auf 5s. Mit gleicher Schrittweite (0,2s) wurden die Untermengen FC3 - FC6 erzeugt, sodass in FC6 15s aufgezeichnetes und 5s vorhergesagtes EEG vorhanden sind.



Die mittleren Fehler für die Vorhersage der EEG-Amplitudenfolgen zeigen einen nicht signifikanten Anstieg von Untermenge FC1 bis FC6 (Abbildung 5). Deutlicher tritt die stärker werdende Streuung der mittleren Fehler hervor, die sowohl in der Höhe des Interquartilbereichs (Kastenhöhe) als auch in der Länge der Antennen (whisker) zu erkennen ist.

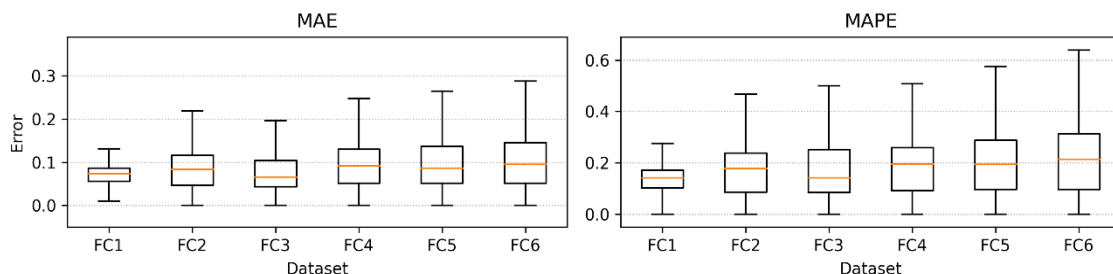


Abbildung 5: Mittlere absolute und relative Vorhersagefehler (MAE, MAPE) für 5s lange EEG-Amplitudenfolgen, die aus allen sechs Untermengen (FC1 – FC6) gewonnen wurden.

Die abschließende Klassifikationsanalyse mit computerbasierter Intelligenz hatte zum Ziel, innerhalb der Untermengen FC1 bis FC6 weitere Untermengen zu finden, sodass die mittlere Klassifikationsgenauigkeit maximiert wird. Frühere Analysen am gleichen Datensatz zeigten, dass eine Untermengenlänge von 4s bis 6s optimal ist und dass der zeitliche Versatz (offset) der Untermenge bzgl. des Mikroschlaf-Eintritts einen hohen Einfluss hat und deshalb empirisch zu optimieren ist [5]. Deshalb wurde mit einer Länge von 4s und mit einem variablen Versatz im Intervall 0s bis 2s variiert (Abbildung 6). Der Versatz ist definiert als Differenz zwischen Endzeitpunkt der Untermenge und Zeitpunkt des Eintritts des Mikroschlaf-Ereignisses. Die schrittweise Erhöhung des Versatzes verringert den Anteil des aufgezeichneten EEG in der Untermenge und erhöht den Anteil der vorhergesagten EEG-Amplituden.

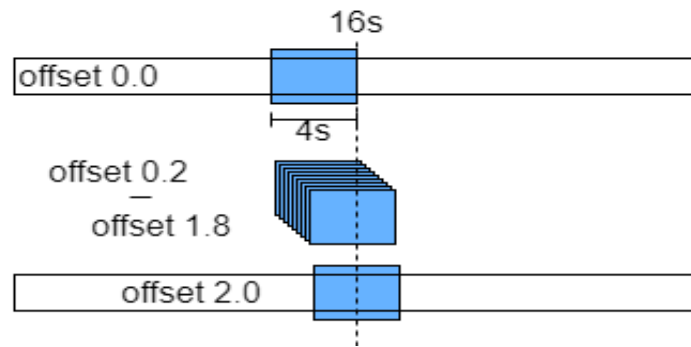


Abbildung 6: Generierung von Untermengen mit variablem Versatz (offset) zur empirischen Optimierung der mittleren Klassifikationsgenauigkeit zur Diskriminierung von auftretenden gegenüber nicht auftretenden Mikroschlaf-Ereignissen.

In gleicher Weise wurden Referenz-Datensätze erzeugt, die jedoch ausschließlich aufgezeichnete EEG-Amplitudenfolgen enthalten und keine vorhergesagten. Dadurch verkürzte sich die Untermengenlänge, sobald der Versatz größer als Null war.

Die weitere Verarbeitung erfolgte wie in [5]. Für jede Untermenge und für jeden EEG-Kanal wurden die logarithmierten spektralen Leistungsdichten mit der Periodogramm-Methode statistisch geschätzt und in 1Hz breiten Intervallen im Frequenzintervall von 0 bis 25Hz gemittelt. Die so entstandenen 25-dimensionalen Merkmalsvektoren sind die Eingangsvariablen für die Methoden der computerbasierten Intelligenz. Als Klassifikationsmethode wurde LightGBM von Microsoft Research Inc. verwendet [6]. Diese Gradient-Boosting-Methode (GBM) enthält ein Ensemble aus Entscheidungsbäumen.

Die Validierungsanalysen für LightGBM wurden mit wiederholter zufälliger Partitionierung in Trainings- und Validierungsmenge durchgeführt (repeated random subsampling), wobei 80% der 9.608 Datenbeispiele als Trainings- und 20% als Validierungsmenge verwendet wurden. Diese zufällige Partitionierung wurde 20mal wiederholt und aus den erreichten Klassifikationsgenauigkeiten wurden Mittelwert und Standardabweichung geschätzt.

#### 4. Ergebnisse

Die Versatzoptimierungen führten zum stets gleichen Ergebnis: bei einem Versatz von 0s wurden die maximalen mittleren Klassifikationsgenauigkeiten an Validierungsmengen gefunden (Tabelle 1, Spalte 2). Beim maximal gewählten Versatz von 2s wurden die minimalen Genauigkeiten gefunden. Die mittlere Differenz zwischen beiden Ergebnissen lag bei ca. 5%. Die Prognose hat die Reduktion an aufgezeichnetem EEG im Analyseintervall nicht adäquat ersetzen können. Die Ergebnisse sind am höchsten für die Untermenge FC1 und am geringsten für FC6.

Untermenge	$\bar{a}_V$ (Versatz: 0s)	$\bar{a}_V$ (Versatz: 2s)
FC1	85,3 ± 0,9 %	81,1 ± 0,7 %
FC2	84,9 ± 0,9 %	80,6 ± 1,3 %
FC3	84,2 ± 1,0 %	79,4 ± 0,8 %
FC4	83,1 ± 0,8 %	78,2 ± 0,4 %
FC5	82,5 ± 0,8 %	76,7 ± 0,4 %
FC6	81,5 ± 0,9 %	74,7 ± 0,6 %

Tabelle 1: Mittelwert und Standardabweichung der Klassifikationsgenauigkeiten  $\bar{a}_V$  an Validierungsmengen für sechs Untermengen (FC1 - FC6) gemäß Abbildung 4 und für zwei Versatzparameter.

Im Vergleich zur Klassifikation an Referenz-Untermengen zeigt sich, dass die Hinzunahme von vorhergesagten Amplitudenfolgen in der überwiegenden Zahl der Fälle einen positiven Effekt hat. Genauigkeitssteigerungen bis zu 0,96% konnten erreicht werden (Tabelle 2). Allerdings kann kein einheitlicher Trend festgestellt werden. Innerhalb einer Untermenge (Spalte) kann es zu rückläufigen Genauigkeitsänderungen (rot) kommen. Während Untermenge FC5, die durch erhebliche Reduktion der Original-Datenmenge gekennzeichnet ist, die höchsten Genauigkeitssteigerungen zeigt, ist die Untermenge FC6, die nur eine geringfügig größere Datenreduktion bzgl. FC5 hat, durch die durchschnittlich (letzte Zeile) geringste mittlere Genauigkeitssteigerung gekennzeichnet.

Versatz	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6
0,0	± 0,00	+ 0,53	+ 0,47	+ 0,19	+ 0,29	+ 0,22
0,2	+ 0,14	+ 0,12	+ 0,69	+ 0,38	+ 0,38	+ 0,29
0,4	+ 0,15	+ 0,14	+ 0,93	+ 0,28	+ 0,43	+ 0,02
0,6	+ 0,33	+ 0,05	+ 0,51	+ 0,27	+ 0,24	- 0,16
0,8	+ 0,06	+ 0,25	+ 0,38	+ 0,05	+ 0,68	+ 0,26
1,0	- 0,05	- 0,18	- 0,04	+ 0,6	+ 0,24	- 0,74
1,2	+ 0,25	+ 0,12	- 0,24	+ 0,57	+ 0,96	+ 0,12
1,4	+ 0,48	+ 0,51	+ 0,52	+ 0,52	+ 0,81	+ 0,39
1,6	- 0,22	+ 0,29	+ 0,95	+ 0,57	+ 0,88	- 0,25
1,8	+ 0,21	+ 0,53	+ 0,43	+ 0,81	+ 0,90	+ 0,73
2,0	- 0,69	+ 0,26	+ 0,09	+ 0,37	+ 0,76	- 0,18
∅	+ 0,06	+ 0,24	+ 0,43	+ 0,42	+ 0,60	+ 0,06

Tabelle 2: Prozentuale Veränderung der mittleren Klassifikationsgenauigkeiten bzgl. der Referenz, die nur aus aufgezeichneten, jedoch nicht aus vorhergesagten EEG-Amplitudenfolgen besteht.

## 5. Diskussion

Die Vorhersage von EEG-Amplituden stellt eine hohe Herausforderung dar, da das EEG Ergebnis eines Multi-Prozesses ist und somit die Beschreibung mit einem fixierten ARIMA-Modell nur sehr fehlerhaft gelingt. Vorhersagen mit einem Horizont bis zu 5s sind sehr unsicher und von fragwürdiger Qualität. Allerdings bestand die Hoffnung, dass



die vorhergesagten Amplitudenfolgen wesentliche dynamische Charakteristika enthalten, sodass die adaptive Klassifikationsanalyse mit LightGBM erfolgreich sein könnte. An Trainingsmengen konnten Klassifikationsgenauigkeiten zwischen 99 % und 100 % gefunden werden. Leider konnten diese Ergebnisse nicht an Validierungsmengen beobachtet werden.

Ein Ausweg könnte die Verwendung von Merkmalszeitreihen anstelle der Amplitudenzeitreihen sein. Merkmale sind durch die integrale Analyse vieler Amplituden gekennzeichnet und haben somit tendenziell geringere Fluktuationen. Ein weiterer, jedoch aufwendigerer Weg könnte der Einsatz von Methoden der computerbasierten Intelligenz zur Zeitreihen-Vorhersage sein. Hier könnten rückgekoppelte Netze vom Typ LSTM (long short-term memory) zum Einsatz kommen, die bereits bahnbrechende Erfolge in der Spracherkennung, Musikklassifikation und der Steuerung von Computerspielen erreicht haben.

Das hier vorgestellte Konzept der gemischten Verwendung von aufgezeichneten und vorhergesagten Amplitudenfolgen und der anschließenden adaptiven Klassifikationsanalyse konnte bereits eine, wenn auch bescheidene Leistungsfähigkeit erreichen. Insgesamt lässt sich daher sagen, dass sich mit einer Vorhersage der EEG-Amplituden die Klassifikationsgenauigkeit von Sekundenschlafereignissen erhöhen lässt. Allerdings scheint keine der verwendeten fünf Methoden für die Vorhersage der komplexen EEG-Signale geeignet zu sein, um die komplexe Dynamik der Signale erfassen zu können. Dennoch ist jeder noch so kleine Vorhersage-Horizont nützlich, denn gerade im Straßenverkehr kann die Erkennung von bevorstehendem Sekundenschlaf und der umgehende Einsatz von technischen Gegenmaßnahmen Unfälle vermeiden und Leben retten.

## Quellen

- [1] Statistische Bundesamt (2022) *Anzahl der durch Übermüdung verursachten Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden in Deutschland von 1991 bis 2021*. [de.statista.com/ /statistik/daten/studie/317703/umfrage/unfaelle-mit-personenschaden-uebermuedung/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/317703/umfrage/unfaelle-mit-personenschaden-uebermuedung/)
- [2] Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (2020), Erst müde, dann Krankenhaus. impuls Ausgabe 04/2021. [www.bgetem.de/medien-service/profi-zeitschrift-fuer-versicherte](http://www.bgetem.de/medien-service/profi-zeitschrift-fuer-versicherte)
- [3] Langwieder K, Sporer A, Hell W (1994) Struktur der Unfälle mit Getöteten im Freistaat Bayern im Jahr 1991. *München: HUK-Verband, Büro für Kfz-Technik*.
- [4] Box GEP, Jenkins GM (1970) *Time series analysis: Forecasting and control*. Holden-Day, San Francisco.
- [5] Pauli MP, Pohl C, Golz M (2022) Optimal EEG Segmentation for Microsleep Detection Based on Machine Learning. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 8(2), 749-752.
- [6] Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, et al. (2017) LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Adv Neural Inf Proc Syst*, 30:3146-54.

# Development of a methodology for water monitoring in on-site analytics

Stefanie Penzel<sup>1</sup>, Thomas Mayer<sup>2</sup>, Mathias Rudolph<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leipzig University of Applied Sciences, Karl-Liebknechtstraße 132, 04277 Leipzig

<sup>2</sup> Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

## Abstract

The increasing presence of harmful substances in waters and the associated health and economic impacts require the development of methods for rapid and accurate detection of these hazardous substances. The determination of sufficient parameters to describe the water quality and the subsequent characterization represent a major challenge from both a practical and scientific point of view. Up to now, such water tests are usually carried out in the laboratory after sampling. In the context of the studies presented here, it is shown how a methodology for water measurements can be carried out directly on site. For this purpose, realistic spectra were recorded on a UV/VIS fluorescence measurement set-up developed at the Helmholtz Centre for Environmental Research Leipzig for on-site analysis, and an evaluation method based on fuzzy logic was developed that considers the measurement uncertainties that arise.

## 1. Introduction

Water monitoring involves testing and analyzing water quality for various contaminants and pollutants to ensure that the water is in safe condition. Some of the key parameters that are typically measured in water monitoring are Chlorophyll a and b, pH, dissolved oxygen, temperature and many more. These substances can be analyzed by a variety of standardized analytical methods, such as MPN (Most Probable Number) methods (ISO 7899-1:1998, n.d.) or HPLC (High-performance Liquid Chromatography) methods (ISO/IEC 17025:2017, 2018). The work presented here focused on the possible contamination by algae.

However, many methods have their limitations, especially when studying very low concentrations in water. In addition, these are traditionally carried out in the laboratory, usually after water sampling at various places and at different times. These procedures are therefore no longer considered efficient in many cases (Lambrou et al., 2012; Lambrou et al., 2014; Zhuiykov, 2012). To detect and analyze the generation of pollutants directly at the source, an on-site sensor system is required. In the environmental field, the corresponding on-site analytics make an excellent contribution to the analysis of dynamic and heterogeneous systems as well as to the characterization of running processes.

Currently, a submersible probe for water monitoring is being developed at the Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ) Leipzig. With this probe a simultaneous recording of transmission and fluorescence spectra of the water samples can be done. Despite the many advantages of on-site analysis, there is a central disadvantage compared to analyzes carried out in the laboratory due to higher measurement uncertainty, caused by the ambient conditions such as varying temperature. In the context of the studies presented here, additionally to the recording and analysis of realistic water data,

an evaluation methodology with integration of measurement uncertainties is addressed. The experimental findings are used to develop a mathematical model to capture and describe the uncertainties in the measurements.

For this purpose, the methods of fuzzy pattern classification were chosen, which are based on the theory of Zadeh (Zadeh, 1965). Fuzzy pattern classification represents a highly flexible approach to provide a fuzzy and thus realistic characterization of current water conditions. Fuzzy pattern classification already has several applications, e.g., in automation and signal processing systems (Lohweg et al., 2004; Mönks et al., 2009) or in medical applications (Bocklisch et al., 2017; Bocklisch & Hausmann, 2018). As a result, after feature extraction into this classifier, unknown data can be evaluated, and classes can be assigned to the presence of a substance.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Experimental Setup

An experimental setup designed at the Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ was used to record the data. With this setup, transmission and fluorescence spectra of water samples can be recorded. The setup consists of a UV/VIS light source equipped with a deuterium and a tungsten lamp for transmission measurements and an LED array for the excitation of the fluorescence, which is directly attached to the measuring cell at an angle of about 90°. The UV/VIS light source is connected to the measuring cell by optical fibers. The basic body of the measuring cell is made of stainless steel. Two opposing 90° collimators and the LED array are attached to it. The UV/Vis light source and the spectrometer are connected to the collimators by fiber optic cables. This is a Broadcom QMINI Wide UV with a resolution of 1.5 nm FWHM. The control and recording of the data is implemented in each case with a software. The schematic diagram of the experimental setup is shown in figure 1a. For the recordings on site, the experimental setup is integrated into a submersible probe (see figure 1b).

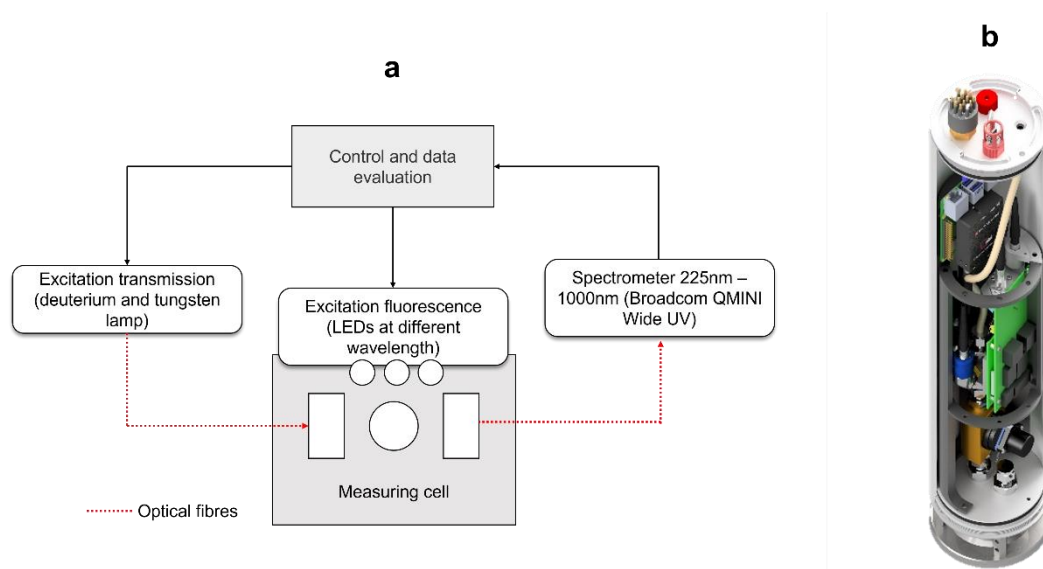


Figure 1: a) Schematic representation of the experimental setup and b) submersible probe for data acquisition on site

The transmission measurements are generated by UV/VIS spectroscopy, which bases on the detection of changes in the electromagnetic spectrum to generate information about the water sample in question. During transmission, electron transitions occur between different states in the molecule and, in the case of pollutants in water, for example, part of the radiation is absorbed by the pollutants. This can be seen in the absorption/extinction spectrum by comparing the measurement with a blind measurement. Based on the absorbed wavelength and the degree of absorption, the type and concentration level of the substance can be inferred. Fluorescence is the spontaneous emission of light after a substance or material is excited with electromagnetic radiation. Due to vibrational relaxation, some of this energy is re-emitted. When the molecule returns to its ground state, it fluoresces at a wavelength different from that it was illuminated. This process does not always occur because not every substance fluoresces. Usually, fluorescence is measured at 90° to the excitation source. This way the stray light can be minimized. (Hinderer, 2020)

The detection of algae was selected as the application. For realistic data, a reference substance is produced in the laboratory using spinach extract and water in accordance with DIN EN 17899 Annex C.3. Algae are identified by chlorophyll A and turbidity, for example. These are also contained in the spinach extract.

## 2.2 Methodical Approach

Several significant features can be generated from the spectra of spinach extract with water. For this purpose, the spectra are mathematically described with a calculated function according to the method of least squares. The descriptive function results from the addition of several Gaussian functions  $g_{total,i}$ , which was calculated for a certain concentration.

$$g_{total,i} = a_1 \cdot e^{-\frac{(x-b_1)^2}{2 \cdot c_1^2}} + a_2 \cdot e^{-\frac{(x-b_2)^2}{2 \cdot c_2^2}} + \dots + a_i \cdot e^{-\frac{(x-b_i)^2}{2 \cdot c_i^2}} \quad (1)$$

Figure 2 shows this as an example for an extinction spectrum at 40 % dilution series value.

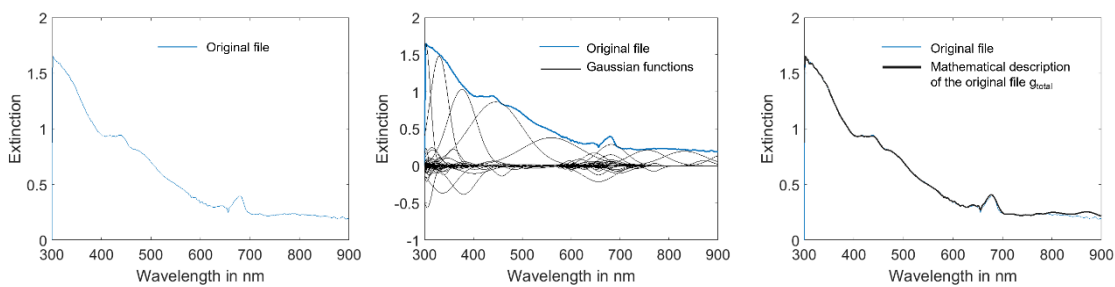


Figure 2: Mathematical description of an extinction spectrum at 40 % diluted solution series value

Subsequently, this mathematical description is fitted over all spectra with different concentrations using the least squares method. This results in two features. One is the specification of the R-square, which stands for the presence of a substance. And on the other hand, the specification of a z-parameter, which represents the shift of the function upwards or downwards and thus generates a statement about the level of the substance present.

With these features, the fuzzy classification can be performed. A distinction is made between a learning phase and a working phase. In the learning phase, a fuzzy classification model is built in a multidimensional feature space. In the first step, the object data sets of the features are divided into sharp groups.

The method used here is a cluster analysis with a Ward method, in which the cluster centroid is calculated from the arithmetic mean of the forming objects and then the squared Euclidean distances of the objects to the centroids are formed. Subsequently the distances are summed and the clusters that have the smallest increase in total are linked (Backhaus et al., 2018). Thus, groups with similar objects (in the sense of a small distance measure) are obtained. The classification can also be done via expert-based approach.

In the following, these sharp groups are transformed into fuzzy groups. For this purpose, a special methodology of fuzzy classification, the fuzzy pattern classification according to S. F. Bocklisch (1987b), is used. The description of each group in the one- or multi-dimensional feature space is done by the AIZERMAN membership function, which is a highly flexible parametric potential function type. The simplified one-dimensional form can be represented as follows:

$$\mu(u) = \frac{a}{1 + \left(\frac{1}{b} - 1\right) \cdot \left(\frac{|u - u_0|}{c}\right)^d} \quad (2)$$

The parameters are automatically calculated from the recorded learning data by supervised learning, with the classifier structure optionally unrotated or rotationally adjusted. For the multivariate case, the feature dimension of the membership function can be extended accordingly and thus each group can also be described by an analytically closed membership function. In the working phase, unknown objects are read into the fuzzy pattern classifier resulting from the learning phase and membership values to the respective classes are calculated. The assignment of the objects to the respective class is done by the highest membership value.

### 3. Results and Discussion

The evaluation methodology will be shown in this article using the transmission/extinction spectra measurements as an example. The procedure for the fluorescence spectra can be done analogously. For the learning data set, spectra were recorded at 15 dilution series values each between 0.5 % and 50 % and converted to extinction spectra. In table 1 the information about the recorded data and in figure 3 the extinction spectra are shown. For these spectra, the mathematical description was used (see Equation 1 with calculated parameters for the extinction spectrum at 40 % diluted solution series value) to calculate an R-squared and a z-parameter as a feature for each spectrum.

Measuring method	Solutions	Repeats
Transmission / Extinction	(0.5, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 22.5, 25, 30, 35, 40, 45, 50) %	6

Table 1: Information about the recorded water spectra with the algae-like substance

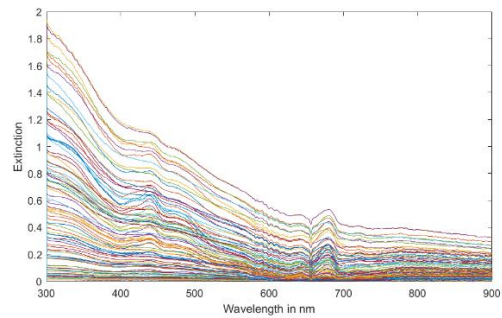


Figure 3: Illustration of all extinction spectra at different dilution series values

In the next step of the learning phase, the features are grouped into sharp classes performing a cluster analysis using the procedure described in Section 2.2. Here, class 1 represents a low presence of the algae-like substance, class 2 algae-like substance is present, and class 3 a high amount of the algae-like substance is present. The transition to the fuzzy classes is done using the above calculations according to Bocklisch et al. (2017) or Penzel et al. (2022) in the three-dimensional feature space. Figure 4a represents the clustered groups and in 4b the resulting fuzzy class are shown.

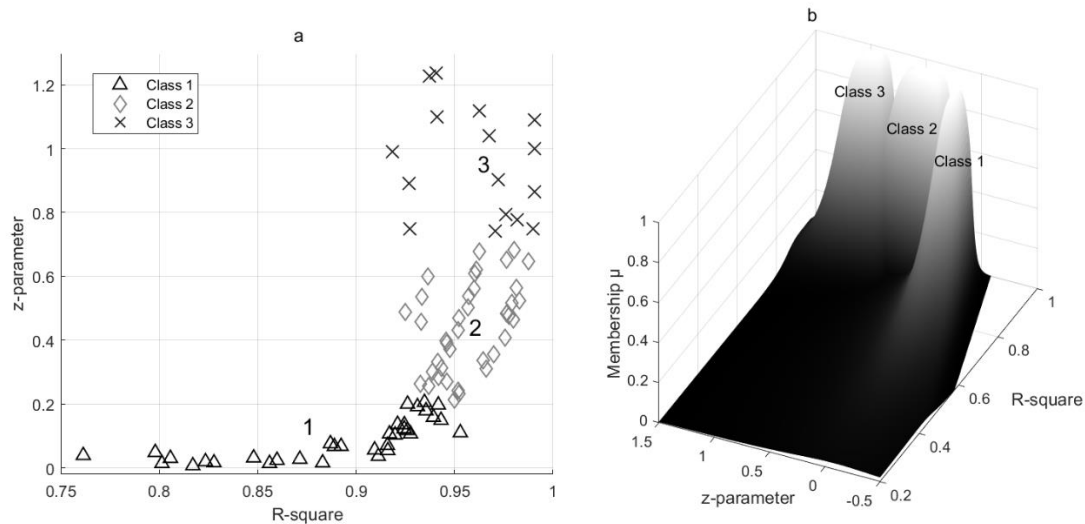


Figure 4: a) Sharp grouping of the characteristics by means of cluster analysis and b) Result for the rotationally matched fuzzy pattern classifier

The classifier structure was rotationally adjusted, as this reproduces the learning data more advantageously than the unrotated version. The correspondingly used parameters for the functions are listed in table 2. Figure 4 shows that at a lower z-parameter (representing the concentration level), the R-squared is also low. This can be attributed to the fact that lower concentrations of the substance are more difficult to detect, which is reflected in the R-squared. Therefore, this class is described with a larger fuzziness than the other two. Also, overlapping of the classes is evident, as each class presents the presence of the algal-like substance and differs only in quantity.

number	$u_0$	angle	$b_L$	$b_R$	$c_L$	$c_R$	$d_L$	$d_R$
Class 1								
1	0.883	1.000	0.248	0.484	0.200	0.131	2.273	3.231
2	0.085	0.783	0.672	0.279	0.063	0.124	6.538	2.120
Class 2								
1	0.957	1.000	0.531	0.703	0.253	0.265	10.230	3.807
2	0.443	1.512	0.398	0.453	0.028	0.042	9.599	7.030
Class 3								
1	0.961	1.000	0.086	0.240	0.238	0.306	8.036	3.275
2	0.955	1.615	0.320	0.289	0.042	0.050	11.412	3.613

Table 2: Parameters for the parametric membership function according to AIZERMAN for the creation of the fuzzy pattern classifier

For the working phase, spectra of spinach extract in water in different dilutions were again recorded and a working data set was generated by extracting the features R-squared and z-parameter. The objects of the working dataset were read into the fuzzy pattern classifier to calculate membership values of each class. Figure 5 represents the fuzzy pattern classifier from the top view. In this figure, the objects are marked by the red crosses and the assignment to the classes – displayed in parentheses – with the respective membership value is already shown.

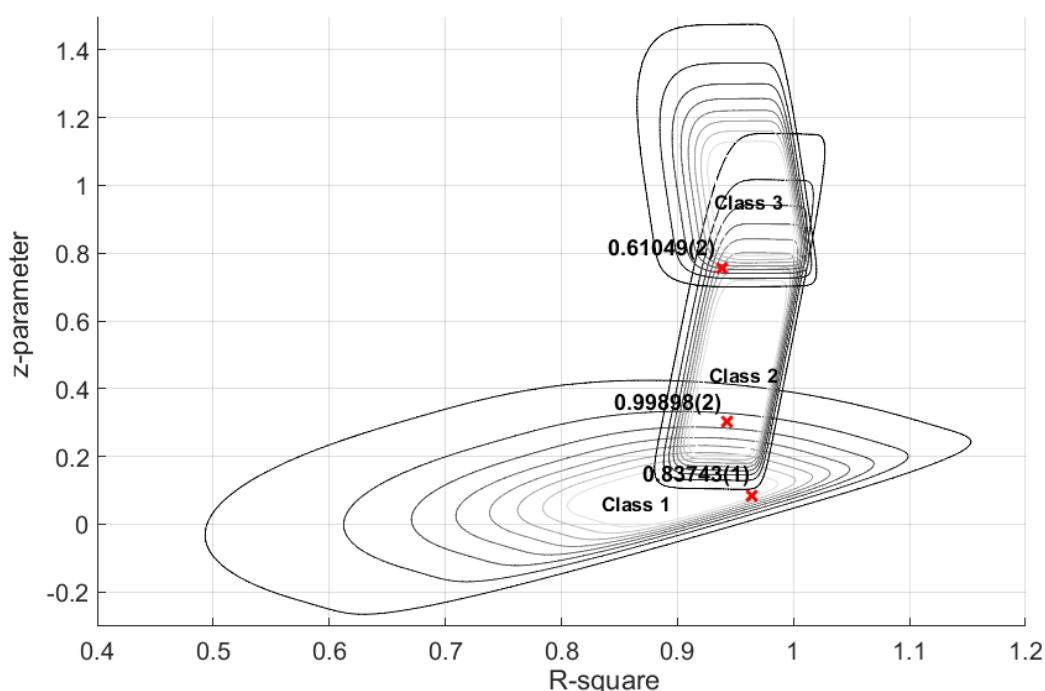


Figure 5: Graphical representation of the Membership of the working data

All objects of the working data set can be assigned to classes. The assignment to class 1 with the membership value of 0.83743 reflects the statement that an algae-like substance is present to a very small extent. With the membership value of 0.99898, a clear assignment to class 2 is evident, so that the presence of an algae-like substance can be assumed. The last object has a comparatively lower membership value to class 2.

Here the tendency goes rather to class 3, which predicts a high quantity. In this case, recommendations for action should be given for pollutant treatment.

### Conclusion and outlook

Water monitoring is essential for protecting public health, maintaining healthy ecosystems, and ensuring sustainable water use for agriculture and industry. The investigations presented here focused primarily, in addition to the recording of spectra by means of light sensors, on the generation of an evaluation methodology for on-site analysis. For this purpose, after a pre-processing of the water spectra, a fuzzy pattern classifier was generated. This considers the uncertainties in the detection and evaluation of the water data and represents a much more flexible and realistic modeling by allowing the implementation of fuzzy information.

In follow-up work, more data will be included to optimize the evaluation methodology on the one hand, and data will also be recorded on site with the submersible probe on the other hand. The methodology can be adapted to specific applications since the generation of features by mathematical description and the following transfer to the fuzzy pattern classifier can also be done for other spectra and thus also for other substances. Overall, it is still necessary to determine the exact limit values of the concentrations for the respective classes in order to be able to generate more precise recommendations for action.

### Acknowledgement



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.

### References

- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2018). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer Gabler.
- Bocklisch, F., Bocklisch, S. F., Beggiato, M. & Krems, J. F. (2017). Adaptive fuzzy pattern classification for the online detection of driver lane change intention. *Neurocomputing*, 262, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.02.089>
- Bocklisch, F. & Hausmann, D. (2018). Multidimensional fuzzy pattern classifier sequences for medical diagnostic reasoning. *Applied Soft Computing*, 66, 297–310. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.041>
- Bocklisch, S. F. (1987b). *Prozessanalyse mit unscharfen Verfahren*.
- Hinderer, F. (2020). *UV/Vis-Absorptions- und Fluoreszenz-Spektroskopie. Essentials*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25441-4>



- ISO 7899-1:1998. (o. D.). ISO. <https://www.iso.org/standard/14852.html>
- ISO/IEC 17025:2017. (2018, 1. März). ISO. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Lambrou, T. P., Anastasiou, C. C. & Polycarpou, M. M. (2014). A Low-Cost Sensor Network for Real-Time Monitoring and Contamination Detection in Drinking Water Distribution Systems. *IEEE Sensors Journal*, 14(8), 2765–2772. <https://doi.org/10.1109/jsen.2014.2316414>
- Lambrou, T. P., Polycarpou, M. M. & Anastasiou, C. C. (2012). A low-cost system for real time monitoring and assessment of potable water quality at consumer sites. *IEEE-Sensors*. <https://doi.org/10.1109/icsens.2012.6411190>
- Lohweg, V., Diederichs, C. & Müller, R. D. (2004). Algorithms for Hardware-Based Pattern Recognition. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2004(12). <https://doi.org/10.1155/s1110865704404247>
- Mönks, U., Lohweg, V. & Larsen, H. L. (2009, 15. September). Aggregation Operator Based Fuzzy Pattern Classifier Design. [https://www.researchgate.net/publication/229035282\\_Aggregation\\_Operator\\_Based\\_Fuzzy\\_Pattern\\_Classifier\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/229035282_Aggregation_Operator_Based_Fuzzy_Pattern_Classifier_Design)
- Penzel, S., Rudolph, M., Borsdorf, H. & Kanoun, O. (2022). Prototypical investigation of the use of fuzzy measurement data in a case study in water analysis. *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2019 Federated Conference on*. <https://doi.org/10.15439/2022f125>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
- Zhuykov, S. (2012). Solid-state sensors monitoring parameters of water quality for the next generation of wireless sensor networks. *Sensors and Actuators B-chemical*, 161(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.10.078>

# Beiträge zur Auslegung von konturnahen Temperierkanälen in Werkzeugen bei thermisch-zyklischen Prozessen

Marcus Rohne<sup>1</sup>, Jens Meinert<sup>1</sup>, Tobias Fieback<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau

<sup>2</sup> TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Straße 7, 09599 Freiberg

## Abstract

Diese Arbeit beschreibt Untersuchungen des stationären wie instationären Wärmetransportes innerhalb idealisierter Probekörper von typischen Temperierkanalanordnungen des Werkzeugbaus. Die Untersuchungen erfolgen dabei sowohl experimentell als auch numerisch und dienen der Bestimmung von Wärmedurchgangskoeffizienten und des instationären Abkühlverhaltens in Abhängigkeit der Kanalanordnung. Auch der zeitliche Verlauf von Temperaturdifferenzen auf der zu temperierenden Oberfläche zur Beurteilung der Inhomogenität des Wärmetransportes wird betrachtet. Aus den Ergebnissen werden auf analytischen Überlegungen basierende halbempirische Berechnungsgleichungen erarbeitet, welche die effektive Auslegung derartiger Systeme ermöglichen. Die Gleichungen erlauben die Bestimmung der zeitlichen Verläufe der mittleren Temperatur der Werkzeugwand sowie der maximalen Wandtemperaturdifferenz (Temperaturinhomogenität). Im Ergebnis wird eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment, Simulation und den erarbeiteten Gleichungen festgestellt.

## 1. Motivation

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Etablierung additiver Fertigungsverfahren ergeben sich für Konstrukteure des Werkzeug- und Formenbaus neue Freiheitsgrade bei der Auslegung der Temperierkanäle entsprechender Werkzeuge der Ur- und Umformtechnik. Klassische Anwendungsfelder sind etwa Werkzeuge zur Herstellung von Bauteilen aus thermoplastischen Kunststoffen durch Spritzgießen. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines derartigen Werkzeuges im geöffneten Zustand.

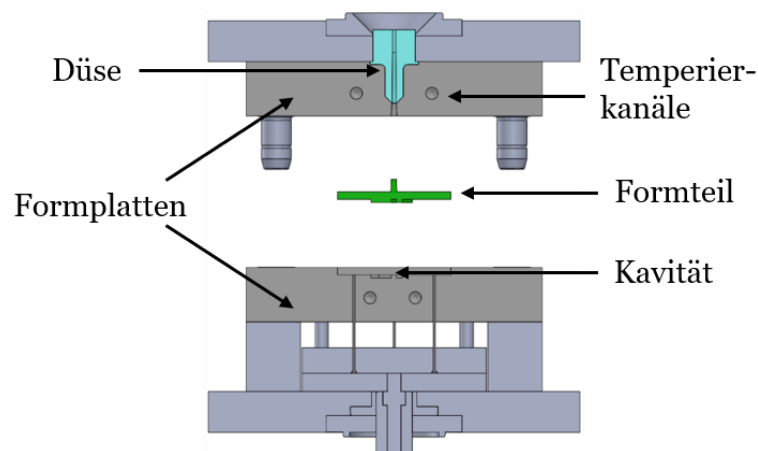


Abbildung 1: Grundlegender Aufbau eines Spritzgießwerkzeuges im geöffneten Zustand.

Die Fertigung durch Spritzgießen ist durch eine zyklische Verfahrensweise gekennzeichnet. Über die Düse wird der plastifizierte Kunststoff in das geschlossene Werkzeug bis zur vollständigen Füllung der formgebenden Kavität eingespritzt. Danach wird die über den Kunststoff eingebrachte Wärme über Temperierkanäle, welche von einem Kühlmedium durchströmt werden, abtransportiert. Dieser Vorgang erfolgt bis zur Erreichung einer für das jeweilige Material spezifischen Entformungstemperatur, so dass im Anschluss das Bauteil durch Öffnen des Werkzeuges entnommen und schließlich der Vorgang durch abermaliges Schließen wiederholt werden kann. Die damit verbundene Zykluszeit liegt im Bereich weniger Sekunden bis Minuten, wobei mit bis zu 80 % der Hauptteil auf die Kühlphase entfällt (Kanbur, Suping, & Duan, 2020). Dies verdeutlicht bereits die besondere Bedeutung der Temperierung vor dem Hintergrund der Produktivität des Verfahrens.

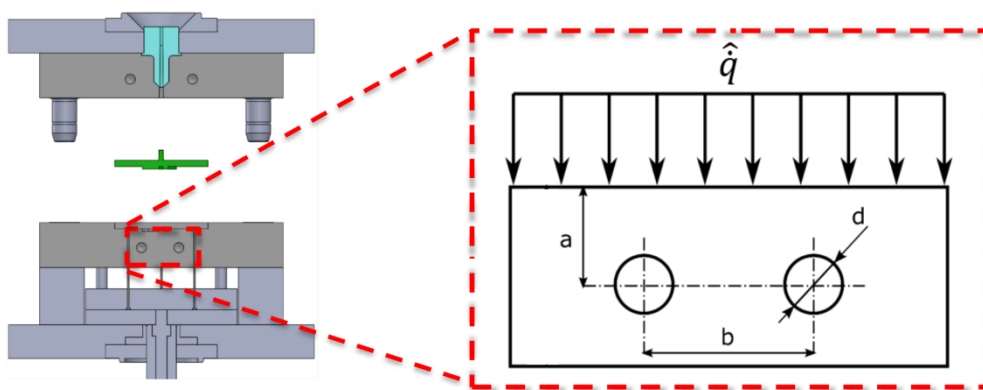


Abbildung 2: Prinzipielle Darstellung eines Spritzgießwerkzeuges mit den geometrischen Daten der Temperierkanalanordnung ( $a$  ... Wandabstand,  $b$  ... Kanalabstand,  $d$  ... Kanaldurchmesser)

Zur Auslegung derartiger Temperierkanäle existieren etablierte Ansätze, welche vielfach in der Literatur beschrieben werden (Kazmer, 2016; Zöllner, 1999; Hopmann, Menges, Michaeli, & Mohren, 2018). Diese zielen auf eine Festlegung der wesentlichen Parameter der Kanalanordnung, wie des Kanaldurchmessers  $d$  sowie des Wand- und Kanalabstandes  $a$  und  $b$  (siehe Abbildung 2). Allerdings sind diese Ansätze auf den quasistationären Fall beschränkt, bei welchem von einer nahezu konstanten Temperatur der Werkzeugwand ausgegangen werden kann. Bei der Anwendung auf thermisch zyklische (variotherme) Verfahren, welche durch einen aktiven Wechsel zwischen einer oberen und einer unteren Wandtemperatur während eines Zyklus gekennzeichnet sind, können die etablierten Ansätze daher nicht ohne Weiteres zur Anwendung kommen. Selbiges gilt für die Auslegung von Kanälen, deren Anordnung und Gestalt von jenen der klassischen, durch geradliniges Bohren hergestellten kreisrunden Form abweichen. Durch die neuartigen additiven Verfahren zur Fertigung der Werkzeuge sind dabei vielfältige Alternativen zu klassischen Kanälen realisierbar.

Ein aussichtsreiches neuartiges Konzept stellen in dem Zusammenhang sogenannte konturnahe Temperierkanäle dar (Jansen, 2014). Diese versprechen eine Effizienzsteigerung der Verfahren durch eine Verkürzung der Zykluszeiten bei einer gleichzeitig verbesserten Bauteilqualität infolge der Homogenisierung des Wärmetransportes. Vor al-

lem bei einer variothermen Prozessführung kommen die Vorteile konturnaher Temperierkanäle dabei zum Tragen, da durch die Nähe zur Werkzeugwand eine deutliche Minimierung der aktiv zu temperierenden Masse erfolgt. Neben einer Effizienzsteigerung durch eine Zykluszeitminimierung bedeutet dies auch eine Minimierung des zur Temperierung erforderlichen Wärmebedarfs und somit eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang die mit den zusätzlichen Freiheitsgraden einhergehende Zunahme des Aufwandes zur Auslegung der Temperierkanäle (Faßnacht, 2014). Weiterhin erfordert der beschriebene Mangel an analytischen Gleichungen für derartige Geometrien weiterführende Forschungsarbeit zur Erweiterung der Grundlagen. Besonders bei der variothermen Prozessführung sind hier neue Modelle zur Beschreibung des instationären (zeitabhängigen) Wärmetransportes in derartigen Kanalgeometrien erforderlich, um eine von numerischen Methoden unabhängige Auslegung zu ermöglichen oder um brauchbare Startwerte für die iterative Detailauslegung zu generieren, wodurch eine Reduzierung der Anzahl an erforderlichen Iterationsschritten möglich ist. Die Modelle müssen dabei eine Abschätzung der quantitativen (Zykluszeit) und der qualitativen (Inhomogenität der Wandtemperatur) Wärmetransporteigenschaften gleichermaßen ermöglichen.

Diesen Herausforderungen widmet sich das Promotionsvorhaben des Erstautors mit einem Fokus auf die Erweiterung bestehender Auslegungsgrundlagen auf den Spezialfall quadratischer Temperierkanäle und die Entwicklung instationärer Modelle für kreisrunde und quadratische Kanäle gleichermaßen.

## **2. Herangehensweise und Methodik**

Die Herangehensweise bei der Untersuchung der beschriebenen Fragestellungen ist durch eine enge Verzahnung numerischer und experimenteller Methoden gekennzeichnet. Untersuchungsgegenstand ist ein auf dem klassischen Ansatz der segmentierten Kanalauslegung (Hopmann, Menges, Michaeli, & Mohren, 2018) basierendes Modell einer sogenannten Einheitszelle, welches durch die Verbindung eines Temperierkanals und eines dazugehörigen Wandstückes gekennzeichnet ist. In Abbildung 3 (links) ist ein exemplarischer Probekörper zur messtechnischen Untersuchung dargestellt. Dabei wird die in der Realität von einem erstarrenden Spritzgießbauteil abgegebene Wärme im Labor mit Hilfe einer regelbaren elektrischen Heizfolie simuliert, die auf die Oberseite des Probekörpers aufgeklebt ist. Durch den quadratischen Temperierkanal strömt das Kühlmedium (hier Wasser). Die Geometrie wurde unter Verwendung des additiven Fertigungsverfahrens des Elektronenstrahl-schmelzens hergestellt (EBM).

Die experimentellen Untersuchungen werden am selbstentwickelten Versuchsstand „Werkzeugtemperierung“ im Labor Thermodynamik und Wärmetechnik an der Hochschule Zittau/Görlitz durchgeführt. Die Anlage beinhaltet drei Messplätze zur Untersuchung der Geometrien mit unterschiedlichen Strömungsmedien (Wasser, Thermoöl, Luft). Durch verschiedene Sensorik erfolgt eine Bestimmung der wesentlichen wärme- und strömungstechnischen Größen (Druck, Differenzdruck, Massestrom, Temperatur, Wärmestrom etc.). Dabei werden verschiedene Probekörper mit quadratischen Kanälen, welche sich hinsichtlich der geometrischen Parametern Wand- und Kanalabstand unterschieden, vermessen. Die Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt des Versuchsstandes mit einem eingebauten Probekörper.

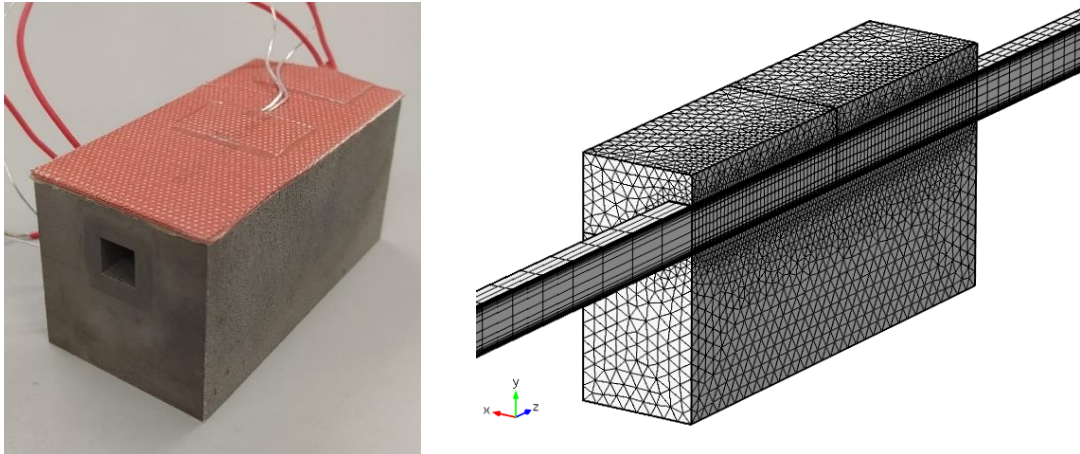


Abbildung 3: Exemplarische Darstellung betrachteter Geometrien. Links: Einheitszelle zur messtechnischen Untersuchung. Rechts: Ausschnitt eines numerischen Netzes zur gekoppelten Wärme- und Strömungstechnischen Simulation

Zielgrößen der Messungen sind dabei zum einen stationäre Wärmedurchgangswiderstände sowie das instationäre Verhalten beim Abkühlvorgang. Dazu wird das Wandtemperaturprofil über mehrere unmittelbar unter der Wand installierte Temperatursensoren gemessen. Die Charakterisierung erfolgt durch mittlere Wandtemperaturen sowie über die maximale Temperaturdifferenz auf der Wand (Inhomogenität der Wandtemperatur). Zur Verallgemeinerung der Ergebnisse werden die Daten im Zuge der Auswertung dimensionslos als Formfaktoren und Temperaturdifferenzverhältnisse betrachtet. Dies dient einer Übertragung der Erkenntnisse auf vergleichbare Anwendungsfälle durch Anwendung der Ähnlichkeitstheorie.

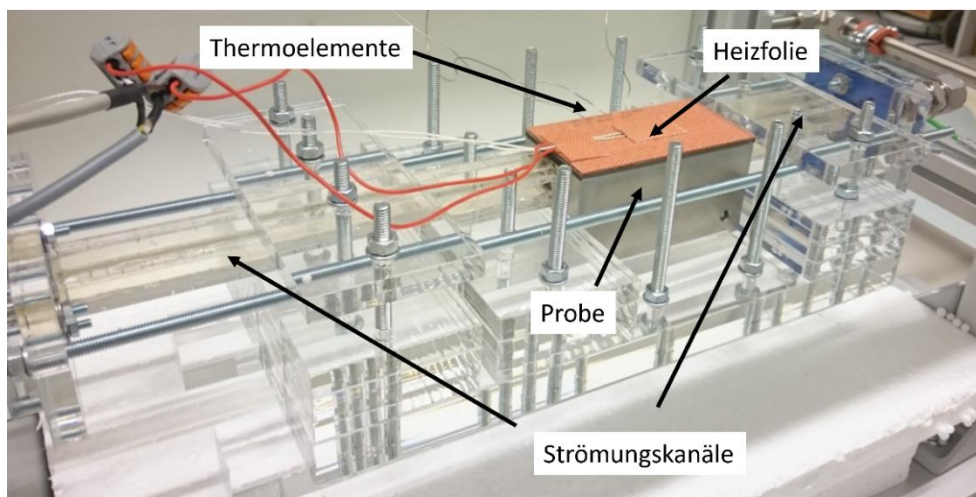


Abbildung 4: Probekörper integriert in den Versuchsstand

Die experimentellen Untersuchungen werden durch numerische Simulationen unter Verwendung von COMSOL MULTIPHYSICS ergänzt und erweitert. Dabei werden sowohl 2D-Berechnungen zur Untersuchung der reinen Wärmeleiteigenschaften derartiger Geometrien durchgeführt als auch 3D-Simulationen zur Betrachtung des gekoppelten

wärme- und strömungstechnischen Verhaltens. In **Abbildung 3** ist rechts das Rechengitter einer exemplarischen 3D-Geometrie unter Ausnutzung von Symmetriebedingungen dargestellt. Auch hier werden stationäre Wärmeleitwiderstände und Wandtemperaturdifferenzen sowie instationäre Verläufe der mittleren Wandtemperatur sowie der maximalen Wandtemperaturdifferenz bestimmt.

Die numerischen Ergebnisse werden durch die experimentellen Daten validiert. Die durch die Simulationen deutlich erweiterte Parametermatrix bildet als nächstes die Grundlage zur Ableitung eines halbempirischen Modells zur Bestimmung des instationären thermischen Verhaltens.

### 3. Entwicklung eines Modells zur Bestimmung des Abkühlverhaltens von Werkzeuggeometrien

Vor dem Hintergrund der Bestimmung von Abkühlzeiten bei der variothermen Werkzeugtemperierung erfolgt die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der instationären Wärmeleitung in derartigen Einheitszellen. Ausgangspunkt ist dabei das bekannte Verfahren nach SCHLÜNDER (Schlünder, 1972) besonders in der durch MARTIN (Martin & Saberian, 1994) weiterentwickelten Form. Dabei erfolgt eine Erweiterung des 1D-Modells auf die zweidimensionale Kanalordnung innerhalb des segmentbezogenen Ansatzes auf Basis der stationären Wärmeleiteigenschaften. Die Berechnung des zeitlichen Verlaufes der Temperatur der Werkzeugwand  $T$  in dimensionsloser Form ( $T_{F\infty}$  ... Temperatur des Kühlfluides,  $T_0$  ... Anfangstemperatur der Werkzeugwand) kann dann beispielsweise über folgende Gleichung erfolgen:

$$\frac{T - T_{F\infty}}{T_0 - T_{F\infty}} = \exp \left[ - \frac{Fo \delta}{V \left( \frac{1}{Bi A_a} + \frac{1}{Nu_i A_i} \right)} \right]$$

Das neue Modell beinhaltet dabei neben den klassischen Parametern Fläche  $A$ , Volumen  $V$ , dimensionslose Zeit  $Fo$  und dimensionsloser Wärmeübergang  $Bi$  auch Korrelationen zur Bestimmung des Geometrieparameters  $\delta$ , der eine für die Kanalordnung charakteristische Länge für die Wärmeleitung beschreibt, sowie einer zeitabhängigen inneren Nußelt-Zahl  $Nu_i$ . Auch für die Beschreibung des Verlaufes der Inhomogenität der Wandtemperatur konnten dabei funktionelle Zusammenhänge erarbeitet werden. Die grundlegenden Korrelationen zur Bestimmung der Modellparameter basieren dabei auf dem umfangreichen Datensatz der experimentell validierten numerischen Simulationen.

### 4. Ergebnisse

In **Abbildung 5** sind exemplarisch die Ergebnisse der messtechnischen Bestimmung der dimensionslosen Formfaktoren der stationären Wärmeleitung im Vergleich zu einer Korrelation dargestellt. Die Korrelation stellt eine während der Arbeit entwickelte Anpassung der bekannten Gleichung von KUTATELADZE (Kutateladze & Borishanskii, 1966) dar. Da der Formfaktor nur die Wärmeleiteigenschaften der Geometrie berücksichtigt, ist eine Unabhängigkeit von der Reynolds-Zahl gegeben. Dies lässt sich auch messtechnisch gut bestätigen, was durch die nur geringfügige Schwankung der Werte innerhalb der mit der Messung verbundenen Unsicherheit deutlich wird. Die Messungen zeigen die Abhängigkeit der Wärmeleiteigenschaften von den geometrischen Parametern des Wand- und Kanalabstandes. Die aus diesen Werten und weiterführenden Simulationen

abgeleitete Korrelation dient der Bestimmung der charakteristischen Länge  $\delta$  als Input-Parameter für das instationäre Modell.

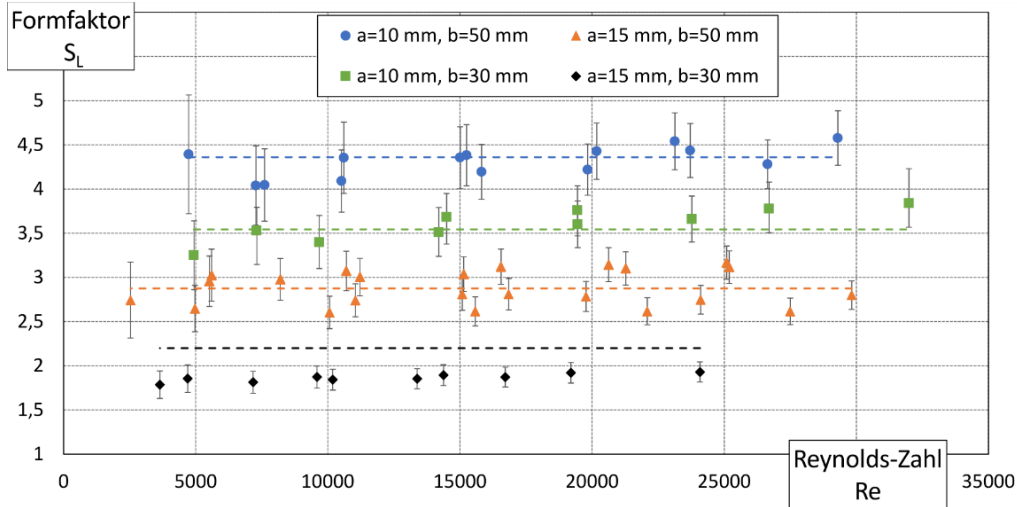


Abbildung 5: Dimensionslose Formfaktoren der Wärmeleitung (Symbole) für verschiedene Geometrien im Vergleich zur Korrelation (Strichlinien).

In der Abbildung 6 sind weiterhin exemplarische Ergebnisse für das Abkühlverhalten von vier verschiedenen Geometrien dargestellt. Die Temperierung erfolgte mit Wasser bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von jeweils 2 m/s. Abbildung 7 zeigt die dazugehörigen Verläufe der maximalen Differenz der Wandtemperatur. Dargestellt sind jeweils die Messdaten sowie die Ergebnisse der Simulationen und des entwickelten Modells.

Die Ergebnisse zeigen zum einen deutlich den Einfluss der geometrischen Parameter des Wand- und Kanalabstandes auf das instationäre thermische Verhalten der Geometrien. So ist eine Vergrößerung des Wandabstandes zwangsläufig mit einer Vergrößerung der Abkühlzeit verbunden, was auf die Zunahme der thermischen Masse zurückgeführt werden kann. Dasselbe gilt bei einer Zunahme des Kanalabstandes. Bzgl. der Inhomogenität der Wandtemperatur zeigt sich eine Vergrößerung bei abnehmendem Wand- und zunehmendem Kanalabstand.

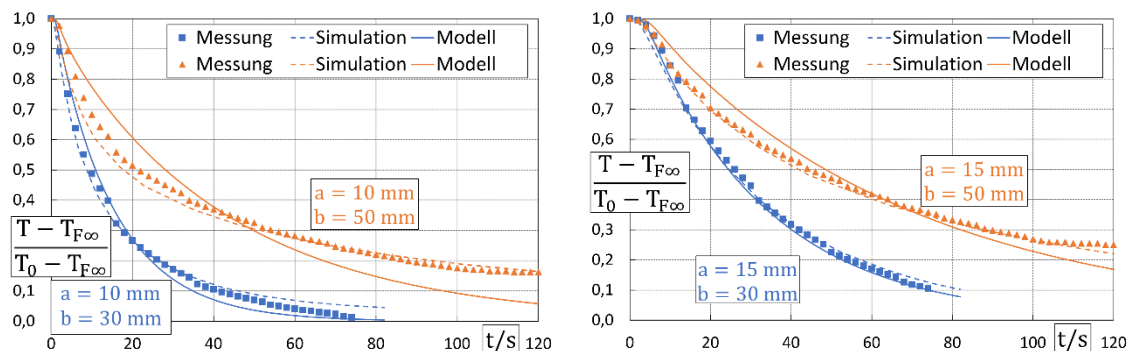


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse für vier verschiedene Geometrien mit quadratischen Kanälen der Kantenlänge  $d = 10\text{ mm}$ . Die Abbildungen zeigen Messergebnisse des zeitlichen Verlaufs der dimensionslosen mittleren Wandtemperatur im Vergleich zu den Daten numerischer Simulationen und den Ergebnissen des entwickelten Berechnungsmodells.

Dies verdeutlicht das Optimierungsproblem bei der Kühlkanalauslegung, welches die quantitativen wie qualitativen Wärmetransporteigenschaften vor dem Hintergrund der Anforderungen an das Bauteil sowie an die Wirtschaftlichkeit gleichermaßen berücksichtigen muss. Weiterhin können sowohl der Wand- als auch der Kanalabstand aus mechanischen Gründen nicht beliebig klein gewählt werden. Auch vor dem Hintergrund der hydraulischen Eigenschaften ist bei einer Minimierung des Kanalabstandes zu bedenken, dass sich bei kleineren Abständen die Anzahl der Kanäle und damit der Strömungsweg vergrößert, was größere Druckverluste zur Folge hat.

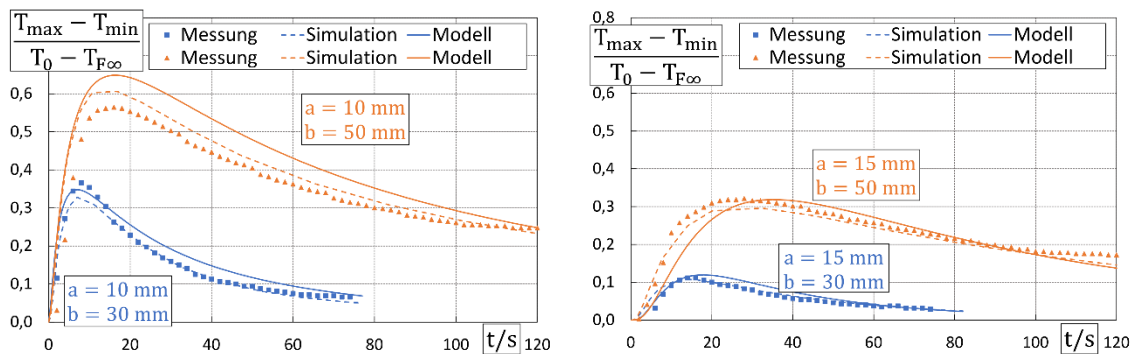


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse für vier verschiedene Geometrien mit quadratischen Kanälen der Kantenlänge  $d = 10 \text{ mm}$ . Die Abbildungen zeigen Messergebnisse des zeitlichen Verlaufs der dimensionslosen maximalen Wandtemperaturdifferenz im Vergleich zu den Daten numerischer Simulationen und den Ergebnissen des entwickelten Berechnungsmodells.

Vor dem Hintergrund der Modellvalidierung zeigt sich eine gute Anwendbarkeit des instationären Modells bzw. der hergeleiteten Gleichungen. So können sowohl der Abkühlverlauf als auch die Temperaturinhomogenität in einer durch Strömungskanäle temperierten Werkzeugwand als Funktion der Zeit zufriedenstellend auch ohne fundierte wärmetechnische Ausbildung (z.B. durch einen Werkzeugbauer) bestimmt werden. Die Genauigkeit verbessert sich dabei mit zunehmendem Wand- und abnehmendem Kanalabstand, was auf damit verbundene kleinere Temperaturgradienten bzw. homogenere Temperaturfelder innerhalb der Werkzeuge zurückgeführt werden kann.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Arbeit konnten erfolgreich wichtige Grundlagen zur Auslegung von Temperierkanälen in variothermen Verfahren mit dem Fokus auf wärmetechnisch günstigere quadratische Kanäle hergeleitet werden. Zunächst erfolgte eine Anpassung der Korrelation zur Bestimmung der stationären Wärmeleiteigenschaften derartiger Geometrien. Weiterhin wurde experimentell wie numerisch eine breite Datenbasis zur Beschreibung des instationären Verhaltens derartiger Geometrien geschaffen.

Darauf aufbauend konnte ein halbempirisches, instationäres Modell zur Beschreibung des Abkühlverhaltens und der Inhomogenität der Wandtemperatur hergeleitet werden. Dieses Modell erweitert bestehende 1D-Ansätze zur Berücksichtigung sowohl des Kanal- als auch des Wandabstandes. Es wurde eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit Messdaten und numerischen Simulationsergebnissen festgestellt.

Das entwickelte Modell ermöglicht die schnelle und einfache Bestimmung der instationären quantitativen wie qualitativen Wärmetransporteigenschaften. Praktisch tätige Ingenieure werden dadurch in die Lage versetzt, vor dem Hintergrund der Auslegung von



Temperierkanälen in variothermen Verfahren optimale Kanalanordnungen zu entwickeln. Das Modell fügt sich dabei nahtlos in bestehende Auslegungsgrundlagen ein und erweitert diese. Neben den praktischen Vorteilen bedeutet dies auch eine Erweiterung der thermodynamischen Grundlagen zur instationären Wärmeleitung.

Zur Auslegung komplexerer Geometrien ist weiterhin die Bestimmung plausibler Startwerte für die auf numerischen Simulationen und Optimierungsverfahren basierende iterative Auslegung möglich. Dadurch ist eine Reduzierung der erforderlichen Iterationsschritte und somit eine Minimierung des Berechnungsaufwandes gegeben.

Die Vorgehensweise der Herleitung kann dabei als Ausgangspunkt zur Übertragung des Modells auf andere mehrdimensionale Geometrien und Parameterbereiche dienen. Beispielsweise ist eine Erweiterung auf rechteckige Geometrien (unterschiedliche Kanalhöhe und -breite) denkbar.

### **Literaturverzeichnis**

Faßnacht, P. (2014). *Algorithmische Auslegung von konturnahen Temperiersystemen in Spritzgießwerkzeugen durch ein hybrides System aus naturalogenen Verfahren (Dissertation)*. Leibniz Universität Hannover.

Hopmann, C., Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P. (2018). *Spritzgießwerkzeuge: Auslegung, Bau, Anwendung*. München: Carl Hanser Verlag.

Jansen, S. (2014). *Generative Fertigung von konturnah temperierten Werkzeugen mittels Selective Laser Melting (Dissertation)*. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Kanbur, B. B., Suping, S., & Duan, F. (2020). Design and optimization of conformal cooling channels for injection molding: a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 3253–3271.

Kazmer, D. (2016). *Injection mold design engineering*. München: Carl Hanser Verlag.

Kutateladze, S. S., & Borishanskii, V. M. (1966). *A concise encyclopedia of heat transfer*. Oxford: Pergamon Press.

Martin, H., & Saberian, M. (1994). Improved asymptotic approximations for transient conduction and diffusion processes. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 205–210.

Schlünder, E.-U. (1972). Über die Brauchbarkeit des Newtonschen Abkühlungsgesetzes im Lichte der Fourierschen Wärmeleitungstheorie. *Wärme- und Stoffübertragung*, 9-14.

Zöllner, O. (1999). *Optimierte Werkzeugtemperierung*. Leverkusen: Bayer AG.

# Brandverhalten von Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz

Robert Westphal, Björn Kampmeier

Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

## Abstract

Durch den angestrebten Waldumbau von Nadelholzreinbeständen zu resilienten Laub- und Mischwäldern wird der Anteil an Laubbäumen in deutschen Wäldern zukünftig steigen. Aktuell wird zur stofflichen Rohholznutzung größtenteils Nadelholz verwendet. Um auch zukünftig die Wertschöpfung aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern zu sichern, ist die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials von Laubholz erforderlich. Derzeit werden tragende Bauteile aus Buchenholz nur als Träger oder Stützen eingesetzt. Durch das starke Quell- und Schwindverhalten ist Buchenholz für die Herstellung flächiger Bauteile bisher nicht geeignet. Die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und die Hochschule Magdeburg-Stendal untersuchen daher im BMEL-geförderten Verbundvorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“ die Herstellung von Brettsperrholz aus Buchenholz. Durch eine chemische Holzmodifizierung wurde die Dimensionsstabilität des Buchenholzes erhöht, sodass nun auch die Fertigung flächiger Bauteile möglich ist. Dafür untersucht die Hochschule Magdeburg-Stendal das Brandverhalten des modifizierten Buchenholzes. Die Untersuchungen zeigen, dass modifiziertes Buchenholz die gleichen brandschutztechnischen Anforderungen wie Nadelholz erfüllen kann und damit die perspektivische Zulassung des Baustoffes möglich ist.

## 1. Hintergrund

Der Klimawandel bedroht den Wald. Durch die Häufung von Wetterextremen wie Hitze, Trockenheit und Sturm, wird die Stabilität des Ökosystems Wald erheblich gefährdet. Damit steigt das Verlustrisiko großer Waldflächen, welche beispielsweise von Schädlingen befallen oder durch Waldbrände zerstört werden. Gesunde Wälder sind für uns unverzichtbar, damit diese auch zukünftig ihre Schutz- und Nutzfunktionen erbringen können (United Nations, 2014). Eine Anpassungsstrategie ist der Waldumbau von Nadelholzreinbeständen zu klimaresilienten, standortangepassten Laub- und Mischwäldern (Bundesregierung, 2008). Aktuell wird zur stofflichen Rohholznutzung größtenteils Nadelholz verwendet (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2021). Um auch zukünftig die Wertschöpfung aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern zu sichern, ist die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials von Laubholz erforderlich. Die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und die Hochschule Magdeburg-Stendal untersuchen im BMEL-geförderten Verbundvorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“ die Herstellung von Brettsperrholz aus Buchenholz.

Buchenholz weist neben sehr guten mechanischen Eigenschaften auch starkes Quellen und Schwinden bei ändernder Holzfeuchte auf (Bosshard, 1974). Die geringe Dimensionsstabilität ist der Grund, warum bisher nur stabförmige Bauprodukte wie Träger oder Stützen als tragende Bauteile aus Buchenholz eingesetzt werden (Torno et al., 2017). Frühere Forschungsvorhaben zeigten das enorme Potential von Buchen-Brettsperrholz (Franke et al., 2014). Die durchgeführten Prüfungen zur Delaminierungsbeständigkeit

wurden aufgrund des starken Quell- und Schwindverhaltens jedoch nicht bestanden, sodass eine Dauerhaftigkeit dieser Bauteile nicht gegeben ist. Um zukünftig auch flächige Bauteile aus Brettsperrholz zu fertigen, wurde ein Holzmodifizierungsverfahren mit Polyethylenglykol entwickelt, welches zu einer entsprechenden Dimensionsstabilisierung führt (Burian et al., 2020). Polyethylenglykol wird derzeit überwiegend in der Pharma- und Kosmetikindustrie eingesetzt, ist wasserlöslich und nicht-toxisch. Die Modifizierung erfolgt mittels Vakuum-Druck-Imprägnierung. Die Hochschule Magdeburg-Stendal bewertet in dem Forschungsvorhaben den Einfluss der Modifizierung auf das Brandverhalten und die Festigkeitseigenschaften der neuartigen Buchenholzbauteile. Dieser Beitrag stellt einen Auszug der Projektergebnisse bezüglich des Brandverhaltens des neuen Baustoffes dar.

## **2. Methodik**

Die brandschutztechnischen Anforderungen an Gebäude sind im Landesrecht definiert. So beinhalten die Landesbauordnungen auch Vorgaben, welches Brandverhalten Baustoffe und Bauteile aufweisen müssen. Das Brandverhalten von Baustoffen beschreibt den Beitrag, welchen die Baustoffe zum Beispiel durch die freigesetzte Wärme zu diesem Brand beitragen. Baustoffe werden dazu in nichtbrennbar, schwerentflammbar und normalentflammbar unterschieden. Bauteile werden abhängig ihrer Feuerwiderstandsfähigkeit unterteilt. Diese beschreibt, über welche Zeit das Bauteil unter normierter Brandbeanspruchung (Einheitstemperaturzeitkurve) die Standsicherheit und/oder den Widerstand gegen Brandausbreitung gewährleistet. Dabei wird unterschieden in feuerhemmende (30 Min.), hochfeuerhemmende (60 Min.) oder feuerbeständige (90 Min.) Bauteile.

Das Brandverhalten von Holz ist aus langjähriger Erfahrung bekannt, weshalb dieser Baustoff abhängig von Dichte und Einbaudicke ohne weitere Prüfung in die nationale Baustoffklasse B2 bzw. der europäische Brandverhaltensklasse D-s2,d0 eingestuft werden kann (*DIN 4102-4; DIN EN 13501-1*). Damit erfüllt Holz die bauaufsichtliche Anforderung normalentflammbar mit begrenzter Rauchentwicklung und nicht brennend abtropfend/abfallend. Der Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit kann über technische Regeln erfolgen. Die Bemessung von Holztragwerken im Brandfall erfolgt mittels DIN EN 1995-1-2, wobei die Abbrandrate einen wesentlichen Eingangsparameter darstellt.

Ein Ziel des Forschungsvorhabens war der Nachweis, dass Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz die notwendigen Anforderungen an das Brandverhalten erfüllt und damit perspektivisch im Holzbau verwendet werden darf. Die zur Bewertung erforderlichen Versuche ergeben sich aus den entsprechenden technischen Regeln, welche genormte Prüfverfahren und die einzuhaltenden Grenzwerte definieren. Zusätzlich wurden weitere Versuche durchgeführt, welche zur formalen Zulassung des Baustoffes zwar nicht notwendig sind, aus akademischer Sicht dennoch wertvolle Erkenntnisse liefern.

Der Versuchsplan zur Bewertung des Brandverhaltens umfasste:

- Versuche zur Bewertung der Brennbarkeit im Einzelflammentest (*DIN EN ISO 11925-2*) und SBI-Prüfstand (*DIN EN 13823*)
- Versuche zur Bestimmung allgemeiner Brandprüfparameter im Cone-Kalorimeter (*ISO 5660-1*)
- Versuche zur Bewertung des Klebstoffverhaltens unter Temperatureinwirkung im Scherzugversuchsstand
- Versuche zur Bestimmung der Abbrandrate im Bauteilofen.

Die benötigten Probekörper wurden durch die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg gefertigt. Neben dem modifizierten Buchenholz wurde auch herkömmliches Buchenholz als Referenz untersucht, wodurch sich der Einfluss des Modifizierungsverfahrens direkt bewerten ließ. Zusätzlich wurden ausgewählte Versuche mit Fichtenholz durchgeführt. Somit konnte das Brandverhalten des modifizierten Holzes auch direkt mit üblicherweise verwendetem Nadelholz verglichen werden.

### **Einzelflammentest nach DIN EN ISO 11925-2**

Die Probekörper mit den einer Abmessungen von 250 mm × 90 mm × 30 mm (Länge × Breite × Dicke) wurden mit einem kleinen Gasbrenner, vergleichbar mit einer Feuerzeugflamme, für 30 s beflammt und danach ohne Beflammung weitere 30 s beobachtet (Abbildung 1 (a)). Nach DIN EN ISO 11925-2 ist der Probekörper auf der Fläche (150 mm oberhalb der Unterkante) und an der Unterkante zu beflammen. Je Beflammungspunkt sind sechs Versuche durchzuführen. Die Leistungskriterien der Klasse D-s2,d0 sind erfüllt, wenn sich die Flammenspitze über den Prüfzeitraum von 60 s nicht mehr als 150 mm über den Beflammungspunkt ausbreitet und das unter dem Probekörper positionierte Filterpapier nicht durch brennendes Abfallen/Abtropfen entzündet wird.

### **SBI-Prüfung nach DIN EN 13823**

Für die Brandprüfung im SBI-Prüfstand werden die Probekörper in L-Form stumpf gestoßen und mit einem in der Ecke angeordneten Gasbrenner (Wärmefreisetzungsrate von 30 kW) über die Prüfdauer von 20 Minuten beflammt (Abbildung 1 (b)). Der Probekörper bestand aus dreischichtigem Brettsperrholz mit einer Dicke von 96 mm. Der lange Flügel des Probekörpers hatte eine Länge von 1 m und eine Höhe von 1,5 m, der kurze Flügel eine Länge von 0,5 m und bei einer Höhe von 1,5 m. Die Leistungskriterien der Klasse D-s2,d0 sind erfüllt, wenn die Feuerwachstumsrate FIGRA  $\leq 750$  W/s, die Rauchentstehungsrate SPR  $\leq 180$  m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> und die insgesamt freigesetzte Rauchmenge TSP<sub>600 s</sub>  $\leq 200$  m<sup>2</sup> beträgt. Weiterhin darf kein brennendes Abfallen/Abtropfen innerhalb der ersten 600 s auftreten. In diesem Prüfungsaufbau wurde sowohl zwei modifizierte als auch zwei nicht modifizierter Probekörper untersucht.

### **Cone-Kalorimeter nach ISO 5660-1**

Das Cone-Kalorimeter ist eine Versuchseinrichtung, bei der die Probekörper unter einem elektrischen Heizstrahler verbrannt werden (Abbildung 1 (c)). Ein wesentlicher Messwert ist die Wärmefreisetzungsrate, welche mittels Sauerstoffverbrauchskalorimetrie bestimmt wird. Die Wärmestromdichte des Strahlers lässt sich stufenlos im Bereich von 0 bis 100 kW/m<sup>2</sup> einstellen. Die Brandgase werden über eine Abzugshaube gesammelt und einer Gasanalyseeinheit zugeführt, um die O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- und CO-Konzentration zu bestimmen. Eine Lasermessstrecke analysiert die optisch detektierbaren

Rauchbestandteile. Mittels Wägung des Probekörpers wird die zeitliche Massenänderung dokumentiert. Die Versuche wurden bei Wärmestromdichten von 15, 35 und 75 kW/m<sup>2</sup> durchgeführt. Für jede Wärmestromdichte wurden jeweils fünf Probekörper mit einer Abmessung von 100 mm × 100 mm × 30 mm (Länge × Breite × Dicke) aus modifiziertem Buchenholz, herkömmlichem Buchenholz und Fichtenholz bis zum Verlöschen des Flammenbrandes beobachtet.

### Abbrandrate im Bauteilofen

Zur Bestimmung der Abbrandrate wurden 1 m × 1 m große Probekörper mit im Inneren angeordneten Thermoelementen hergestellt und im Bauteilofen für eine Zeit von 120 Minuten unter der Einheitstemperaturzeitkurve beflammt (Abbildung 1 (d)). Es wurde je ein Bauteil aus modifiziertem Holz und aus herkömmlicher Buche untersucht. Die Abbrandrate wurde aus dem Verlauf der 300°C-Isotherme ermittelt (*DIN EN 1995-1-2*). Anschließend wurde das Bauteil entnommen, abgelöscht und nach Entfernen der Kohleschicht der verbleibende Restquerschnitt gemessen.



(a) Probekörper im Einzelflammentest nach der Beflammung



(b) Probekörper im SBI-Prüfstand während des Versuches



(c) Brennender Probekörper im Cone-Kalorimeter während des Versuches



(d) Bauteilofen der Hochschule Magdeburg-Stendal während des Versuches

Abbildung 1 Darstellung der durchgeführten Versuche zur Bewertung des Brandverhaltens.

### 3. Ergebnisse

#### Einzelflammentest nach DIN EN ISO 11925-2

Die im Einzelflammentest beobachtete vertikale Flammenausbreitung bei modifiziertem und herkömmlichem Buchenholz ist vergleichbar (Abbildung 2). Die zur Einstufung in die Klasse D erforderlichen Leistungskriterien wurden vom modifizierten Buchenholz erfüllt. Der Einfluss der Modifizierung ist hinsichtlich der Einstufung der Brennbarkeit im Einzelflammentest als nicht signifikant zu bewerten. Die Probekörper aus Fichtenholz zeigten eine etwa doppelt so lange Flamme, wobei die Kriterien zur Einstufung in die Klasse D trotzdem erfüllt wurden.

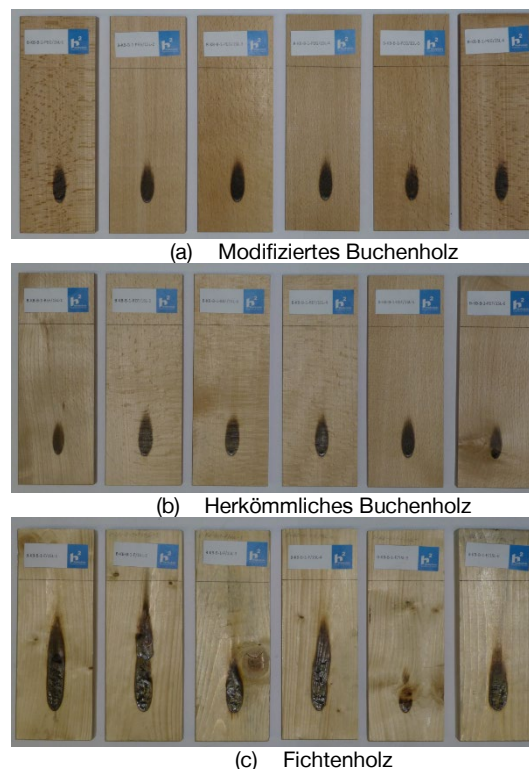


Abbildung 2 Je sechs Probekörper nach der Beflammung im Einzelflammentest. Die Flamme war bei modifiziertem und herkömmlichem Buchenholz vergleichbar. Der verkohlte Bereich ist beim Fichtenholz sichtbar größer ausgeprägt.

#### SBI-Prüfung nach DIN EN 13823

Modifiziertes Buchenholz erreicht die Kriterien zur Einstufung in die Klasse D-s1,d0. Die Modifizierung hat einen messbaren Einfluss auf die Wärmefreisetzungsrate und Rauchentwicklung, die Klassifizierungskriterien wurden dennoch erreicht. Während das modifizierte Buchenholz eine ca. 20 kW höhere Wärmefreisetzungsrate aufwies, lag die Rauchentwicklungsrates deutlich unter den Messwerten des herkömmlichen Buchenholzes.

#### Cone-Kalorimeter nach ISO 5660-1

Abbildung 3 zeigt die im Wärmefreisetzungsrate für je fünf Probekörper bei unterschiedlichen Wärmestromdichten, wobei deutliche Unterschiede im Verlauf erkennbar sind. Unmittelbar nach der Zündung steigt die Wärmefreisetzungsrate für alle Proben stark an und erreicht das Maximum. Anschließend fällt sie exponentiell ab, bis nach ca. 500 s

eine Phase mit annähernd konstanter Wärmefreisetzungsrate erreicht ist. Im letzten Drittel der Versuchszeit steigt sie erneut an, bevor die Flamme verlöscht. Ein erneuter Anstieg der Wärmefreisetzungsrate ist für Holzproben typisch und resultiert aus dem Aufbrechen der gebildeten Kohleschicht, wodurch vermehrt Pyrolysegase freigesetzt werden und verbrennen. Die verschiedenen Kurvenverläufe sind daher durch die unterschiedlich ausgebildete Kohleschicht begründet. Beide Buchenhölzer bilden eine instabile, aus vielen einzelnen Stücken bestehende Kohleschicht. Dabei wölbte sich der verkohlte Probekörper aus herkömmlichem Buchenholz deutlich (Abbildung 4). Die Kohleschicht der Fichtenproben war stabil und kompakt und nur von wenigen Rissen durchzogen.

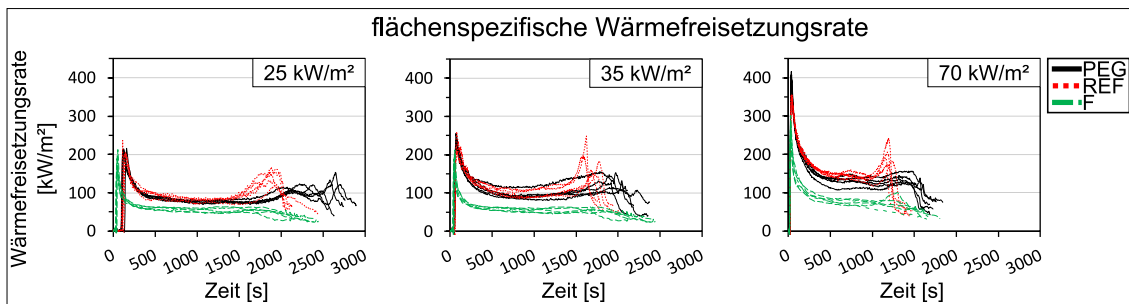


Abbildung 3 Verlauf der flächenspezifischen Wärmefreisetzungsrate für modifiziertes Buchenholz (PEG), herkömmliches Buchenholz (REF) und Fichtenholz (F) bei am Heizstrahler eingestellten Wärmestromdichten von 25, 35 und 70 kW/m<sup>2</sup>.



Abbildung 4 Probekörper im Cone-Kalorimeter unmittelbar vor Versuchsende. Der verkohlte Probekörper aus herkömmlichem Buchenholz ist deutlich verformt.

### Abbrandrate im Bauteilofen

Wie schon bei den vorherigen Versuchen im Labormaßstab festgestellt, zeigte sich ein deutlicher Unterschied bei der ausgebildeten Kohleschicht (Abbildung 5). Während das modifizierte Buchenholz eine deutlich stabilere Kohleschicht bildete, war bereits ein Großteil der Kohleschicht vom Probekörper aus herkömmlichen Buchenholz nach der Entnahme aus dem Brandofen abgefallen. Da die Kohleschicht isolierend wirkt, ist bei einer dicken schützenden Kohleschicht auch die Abbrandrate geringer. Die ermittelte Abbrandrate des modifizierten Buchenholzes lag mit 0,65 mm/min deutlich unter der des herkömmlichen Buchenholzes (0,80 mm/min).



(a) Modifiziertes Buchenholz nach Versuch



(a) Herkömmliches Buchenholz nach Versuch



(b) Schnitt durch modifiziertes Buchenholz



(c) Schnitt durch herkömmliches Buchenholz

Abbildung 5 Darstellung der Kohleschicht nach Versuch. (a) und (b) zeigen die Probekörper unmittelbar nach dem Ablöschen. Die Bilder (c) und (d) zeigen die Ansicht nach Schnitt durch den Probekörper, die strichlierte Linie visualisiert die Abbrandgrenze.

#### 4. Schlussfolgerung

Ziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung von Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz, um die Ausweitung des stofflichen Nutzungspotentials nachhaltig bewirtschafteter Laubwälder zu gewährleisten. Das Modifizierungsverfahren mit Polyethylenglykol ist notwendig, um die Dimensionsstabilität des Buchenholzes zu erhöhen. Modifiziertes Buchenholz ist bezüglich der Brennbarkeit wie herkömmliches Buchen- oder Fichtenholz als normalentflammbar einzustufen. Die Holzmodifizierung hat einen signifikanten Einfluss auf die Struktur der Kohleschicht. Dadurch ist die Abbrandrate des modifizierten Buchenholzes geringer, was sich positiv auf die Feuerwiderstandsfähigkeit auswirkt. Damit bestehen aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken, die grundsätzlich gegen eine Zulassung des neuartigen Baustoffes sprechen.

#### Fördernachweis

Die Projektergebnisse stammen aus dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über den Projektträger Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderte Vorhaben „Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz“, durchgeführt von der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (Prof. Dr. Bertil Burian, Prof. Dr. Marcus Müller, Sabrina Puttmann M.Sc., Lukas Müller B.Sc.) und der Hochschule Magdeburg-Stendal (Prof. Dr.-Ing. Björn Kampmeier, Robert Westphal M.Sc.). Die Autoren bedanken sich bei allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.



## Quellen

- Bosshard, H. H. (1974). *Holzkunde—Mikroskopie und Makroskopie des Holzes* (Bd. 1). Birkhäuser Basel.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (2021). *Waldbericht der Bundesregierung 2021*. Referat 513 - Nationale Waldpolitik, Jagd, Kompetenzzentrum Wald und Holz.
- Bundesregierung. (2008). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel—Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen*.
- Burian, B., Müller, M., Puttmann, S., & Müller, L. (2020). *Endbericht zum Vorhaben „Verwendung von schwachem Laubholz für die Produktion von Brettsperrholz“* (FKZ 22003715). Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- DIN 4102-4 (2016) *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 13501-1 (2010) *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*; Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 13823 (2010) *Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten— Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 11925-2 (2020) *Prüfungen zum Brandverhalten- Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung- Teil 2: Einzelflammentest (ISO 11925-2:2020)*. Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 1995-1-2 (2010) *Eurocode 5: Bemessungen und Konstruktion von Holzbauten— Teil 1-2: Allgemeine Regeln— Tragwerksbemessung für den Brandfall*. Beuth Verlag GmbH.
- Franke, S., Vogel, M., Lehmann, M., & Sauser, F. (2014). *Mechanische Eigenschaften von Buchen-Brettsperrholz—Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz in Buche* (Schlussbericht P.006711-10-77DL-01\_PB-01). Berner Fachhochschule Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur.
- ISO 5660-1 (2015) *Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen—Wärmefreisetzungs-, Rauchentwicklungs- und Masseverlustrate— Teil 1: Wärmefreisetzungsrates (Cone Calorimeter-Verfahren) und Rauchentwicklungsrate (dynamische Messung)*. ISO copyright office.
- Torno, S., Jentsch, A., & Lattke, F. (2017). *Konstruktive Bauprodukte aus europäischen Laubhölzern* (spezial). Informationsverein Holz e. V.
- United Nations (Hrsg.). (2014). *The value of forests: Payments for ecosystem services in a green economy*. United Nations.

# Influence of the Grammage of Cardboard on its Damage Behavior in Impact Tests

Ulrike Kaeppler<sup>1,2\*</sup>, Philipp Johst<sup>3</sup>, Dimitrij Seibert<sup>3</sup>, Robert Böhm<sup>3</sup>, Lutz Engisch<sup>1,2</sup>

1 Leipzig University of Applied Sciences (HTWK Leipzig), Faculty of Computer Science and Media, Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277 Germany

2 iP<sup>3</sup> Leipzig – Institute for Printing, Processing and Packaging Leipzig, Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277 Germany

3 Leipzig University of Applied Sciences (HTWK Leipzig), Faculty of Engineering, Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277 Germany

\* Corresponding author: ulrike.kaeppler@htwk-leipzig.de

## Abstract

The protection of goods is ensured by packaging. External influences can damage the packaging from outside, but the goods themselves can also damage the packaging from inside. Therefore, the selection of material is crucial. To enable an appropriate decision, it is important to understand the behavior of the material under impact stresses. In this study, it was examined how cardboard behaves under impact loading. Small impactors with different energies were shot at the material and the resulting mean impact diameter of the damage was determined. Two materials of different grammages were investigated. It was found that the damage behavior of the material corresponds with the grammage of the material.

## 1. Introduction

Cardboard is a commonly used packaging material, especially for sustainable packaging solutions. Typically, a multi-layer cardboard material is used. Cardboard has a complex fiber structure, usually consisting of wood fibers, fillers and a coating (Ek et al., 2009; Haslach, 2000). During manufacturing, the wood fibers are oriented in a preferred fiber direction, which, in combination with drying stresses, results in a strong anisotropy of the material (Niskanen, 2012). The associated variety of parameters leads to a complex material characterization.

Hydrogen bonds effectively connect the fibers in the structure. The hydrogen bonding force depends on the distance between the positive and negative potential allocation. The hydrogen bonds are only effective at short distances and are much weaker than a covalent bond (factor 15 to 30). When the fiber structure is stretched or punctured, the distance between the fibers increases, causing the fiber structure to break. Furthermore, the fibers themselves can break, but this requires more energy than the separation of the hydrogen bonds (Hüttermann, 2011; Käppeler, 2019; Neufingerl, 2016).

An impact is generally perpendicular to the material surface and leads to failure-relevant stresses in the thickness direction of the test specimen (Hornig, 2017). The present investigations are related to a study carried out by JOHST ET AL. (Johst et al., 2023). They conducted impact tests in which an impactor was shot perpendicular at the cardboard surface. The impactor hit the cardboard material. By varying the pressure, different kinetic energies of the impactor were generated. It was explored which damage phenomena occur at different impact energies and how they can be classified. Two different

cardboard materials were compared that exhibited the same damage phenomena. However, the materials' damage behavior differed in relation to impactor kinetic energies. It was hypothesized that this could be due to the different grammage of the materials. The underlying factor affecting the damage behavior could not be clearly confirmed by JOHST ET AL. (Johst et al., 2023) because two different materials with dissimilar grammage and fiber composition were used.

In this study, it is assumed that the damage behavior corresponds with the grammage of the material. In line with the findings of BIVAINIS AND JANKAUSKAS (Bivainis & Jankauskas, 2015), it will be examined whether these correlations found for corrugated board can be transferred to cardboard.

## 2. Experimental

### 2.1 Materials

Based on the experimental setup introduced by JOHST ET AL. two cardboard materials with similar composition were investigated. Two typical cardboards for e.g. folding boxes were used. According to Figure 1, both materials have the same layer structure. The material has a three-layer-fiber construction of chemical pulp (bleached sulphate pulp). It is double-coated on the top side and has a layer of light coating on the bottom side (Stora Enso, 2022).

The materials differ only in their grammage. The reference material, which was also used in the experiments by JOHST ET AL., has a grammage of 330 g/m<sup>2</sup> and will be designated A-330 in the following. The reference material has a grammage of 230 g/m<sup>2</sup> and will be named by C-230.

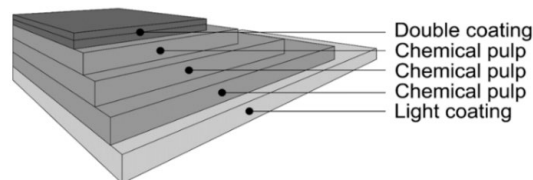


Figure 1: Layer composition of material A-330 and material C-230

The materials were stored for 48 hours in standard atmosphere (23 °C and 50 % +/- 2 % humidity) according to ISO 187 (2022) (Beuth Verlag, 2023). The thickness of both materials was measured following DIN EN ISO 534 (2012) (Beuth Verlag, 2012) with a thickness tester (Frank Dickenmesser, Frank-PTI GmbH, Birkenau, Germany). The thickness of material A-330 and material C-230 is about 401 µm and 259 µm, respectively. For the impact tests, the samples were cut into specimens with a width of 100 mm and a length of 100 mm, taking into account the fiber direction.

### 2.2 Experimental setup – Multiple-Impact-Test-Rig

The effect of impact loads on the cardboard material was investigated experimentally using a Multiple-Impact-Test-Rig (Mehrfach-Impact-Prüfstand, Hegewald & Peschke, Nossen, Germany). Figure 2 shows the experimental setup.

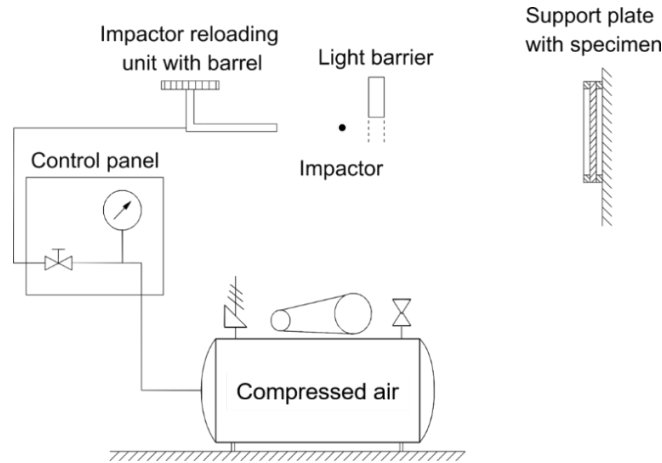


Figure 2: Experimental setup of Multiple-Impact-Test-Rig. Figure 2 is republished from Johst et al. (2023) with permission from the authors.

The test-rig enables a circular impactor to be accelerated in a barrel to a required velocity with compressed air. An impactor with a diameter of 4 mm and a mass of  $0.26 \cdot 10^{-3}$  kg was used for the experiments. The velocity of the impactor is adjustable with a control panel and is measured by a light barrier. Using the measured velocity  $v$  in m/s and the known mass  $m$  in kg of the impactor, the kinetic energy  $E$  in J can be determined with Eq.1.

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (1)$$

Due to the material composition, the specimens were aligned at the same position in the same preferred fiber direction in a support plate. The impact load caused by kinetic energy of the impactor was applied on the double coating side (see Figure 1) of the specimen.

Preliminary tests with material C-230 showed that permanent damage to the specimens is caused starting at a pressure of 0.03 MPa. From a pressure of 0.09 MPa, the damage pattern remained unchanged. Based on this knowledge, the pressure settings in the experiments were defined. Table 1 summarizes the number of all tests performed for materials C-230 and A-330 (Johst et al. 2023). At least 18 impacts were examined for all pressure settings of both materials.

Table 1: Experimental Settings of the Parameters Pressure, Number of Impacts, Mean Velocity of the impactor, and the Resulting Mean Kinetic Energy of the Impactor (values of material A-330 taken from Johst et al. 2023)

Settings	Material A-330								
Pressure in MPa	0.05	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.15	0.20	
Number of Impacts	20	19	20	18	20	20	18	20	
Velocity $v$ in m/s*	18.77	24.59	26.25	27.25	29.28	30.56	33.09	38.24	
Kinetic Energy $E$ in J*	0.046	0.079	0.090	0.097	0.112	0.122	0.143	0.191	
	Material C-230								
Pressure in MPa	0.03	0.04	0.045	0.05	0.055	0.06	0.07	0.08	0.09
Number of Impacts	20	20	20	20	20	20	20	20	19
Velocity $v$ in m/s*	13.30	16.17	17.10	18.61	19.61	20.57	22.53	24.18	26.46
Kinetic Energy $E$ in J*	0.023	0.034	0.038	0.045	0.050	0.055	0.066	0.076	0.091
*These parameters represent the mean values of the performed impacts									

## 2.3 Digital Analysis

A Keyence 3D macroscope (Keyence Germany GmbH, Neu Isenburg, Germany) was used to qualitatively and quantitatively examine the damage to the materials A-330 and C-230. First, the specimens were visually inspected. A screening was conducted to determine whether an imprint, cracking or a breakthrough occurred on the specimens. Consequently, a quantitative analysis was carried out by measuring the imprint diameter.

## 3. Results and discussion

### 3.1 Damage Phenomena

Figure 3 shows the comparison of the damage behavior of material C-230 (columns (a), (b), (c)) as well as material A-330 (column (d)). The top side of the material is shown in the upper row, and the bottom side of the material in the lower row. The height profiles of the samples are represented by color coding. In each case, the blue color indicates the lowest height in z-direction.

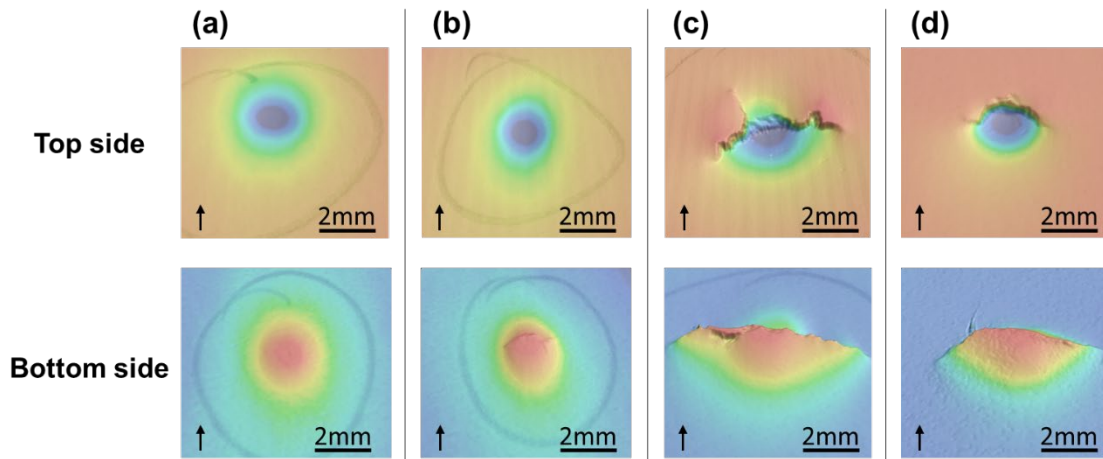


Figure 3: Comparison of damage behavior: Imprint, cracking and breakthrough for material C-230 ((a), (b), (c)) and material A-330 (d).

Column (a) shows an imprint of the impactor in the material C-230. It is only a plastic deformation without damage in the sense of a crack. In column (b) the cracking of the material is illustrated. The material begins to crack, but at this stage it has not yet completely torn through. This stage is shown in column (c) and is referred to as breakthrough. Compared to material C-230 (column (c)), the breakthrough of material A-330 is shown in column (d).

At the cracking stage, it is interesting to have a look at the upper side and the lower side of the material. The top side does not yet show any cracking, while the bottom side of the material already shows a crack. When the impactor hits the material, it is stretched in the z-direction. The layers on the top side and the bottom side of the material are stretched to different amounts (see Figure 4). The material experiences large strains on the outside (red marked surface), no strain in the middle of the material in the area of the neutral fiber, and kind of squeezing next to the impactor (green marked surface). This is comparable to the material behavior in bending tests. In the study shown here, the elongation of the material is multiaxial. Nevertheless, in this case, higher elongations

predominate on the bottom side, which is the side opposite to the impactor. This is the reason for the cracking on one side of the material.

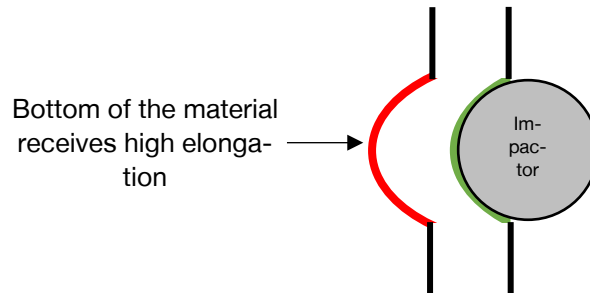


Figure 4: Different material elongation on the top and bottom side of the material

### 3.2 Comparing Mean Imprint Diameter

The results of the relationship between the mean imprint diameter and the energy level of material A-330 have been presented in previous studies (see (Johst et al., 2023)). The findings of material C-230 are given in Figure 5. They show an increase in the mean imprint diameter with increasing energy. The behavior of the two materials is comparable, but they differ noticeably in their energy levels.

The high variation of the values in the transition phase is obvious. In this phase, the specimens exhibit different damage phenomena (imprint, cracking or breakthrough), which can lead to considerable differences in the measurement of the mean imprint diameter from a horizontal and vertical measuring section.

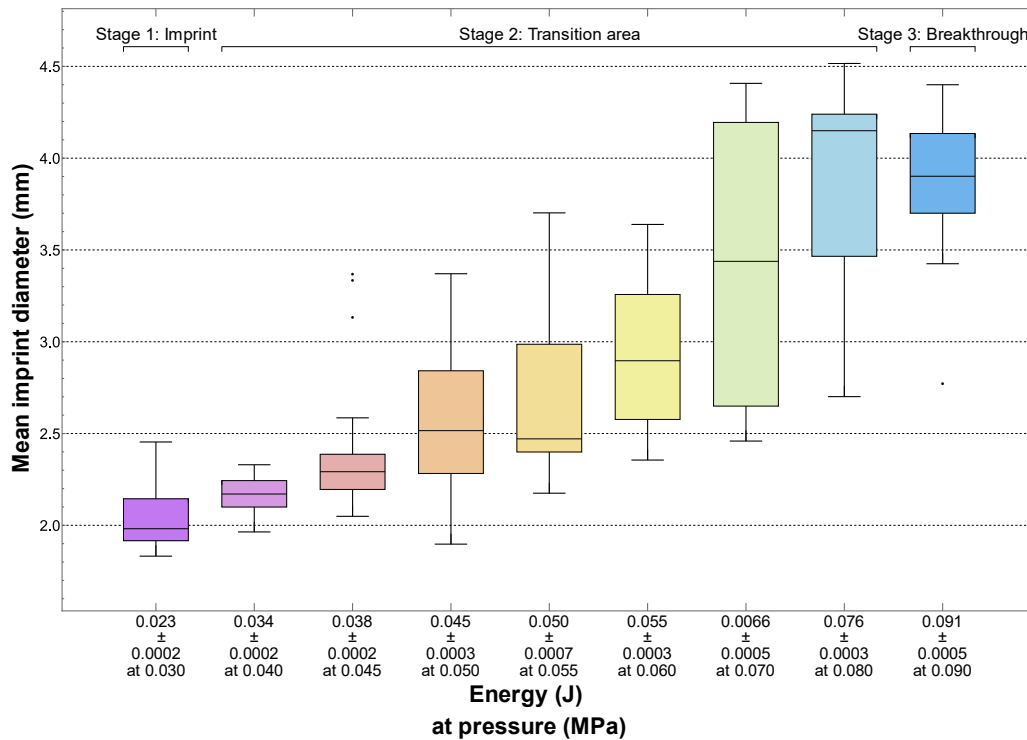


Figure 5: Boxplot for typical damage stages of material C-230

The resulted imprint diameter ( $D_{imp}$ ) is ideally represented using a sigmoidal function, as given by Eq.2,

$$D_{imp} = f(E) = d + \frac{a-d}{\left(1 + \left(\frac{E}{c}\right)^b\right)^m} \quad (2)$$

with  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , and  $m$  as free variables. The approximated material specific parameters for material A-330 and material C-230 are listed in Table 2.

Table 2: Material Specific Parameters and Sigmoidal Function (values of material A-330 taken from Johst et al. 2023)

Variable	Material A-330	Material C-230
<b>a</b>	2.64	2.06
<b>b</b>	11.32	4.44
<b>c</b>	0.27	0.33
<b>d</b>	3.88	3.90
<b>m</b>	1719.78	1938.72
$D_{imp}$	$3.88 + \frac{2.64 - 3.88}{\left(1 + \left(\frac{E}{0.27}\right)^{11.32}\right)^{1719.78}}$	$3.9 + \frac{2.06 - 3.9}{\left(1 + \left(\frac{E}{0.33}\right)^{4.44}\right)^{1938.72}}$

Figure 6 shows the plots of  $D_{imp}$  for samples A-330 and C-230. The plot shows two interesting aspects: Material C-230 has a larger mean imprint diameter already at low energies, while material A-330 has a smaller imprint diameter at the same energy. The imprint diameter of material C-230 already increases markedly at lower energies, whereas the average imprint diameter of material A-330 becomes larger at energies estimated to be more than twice as high.

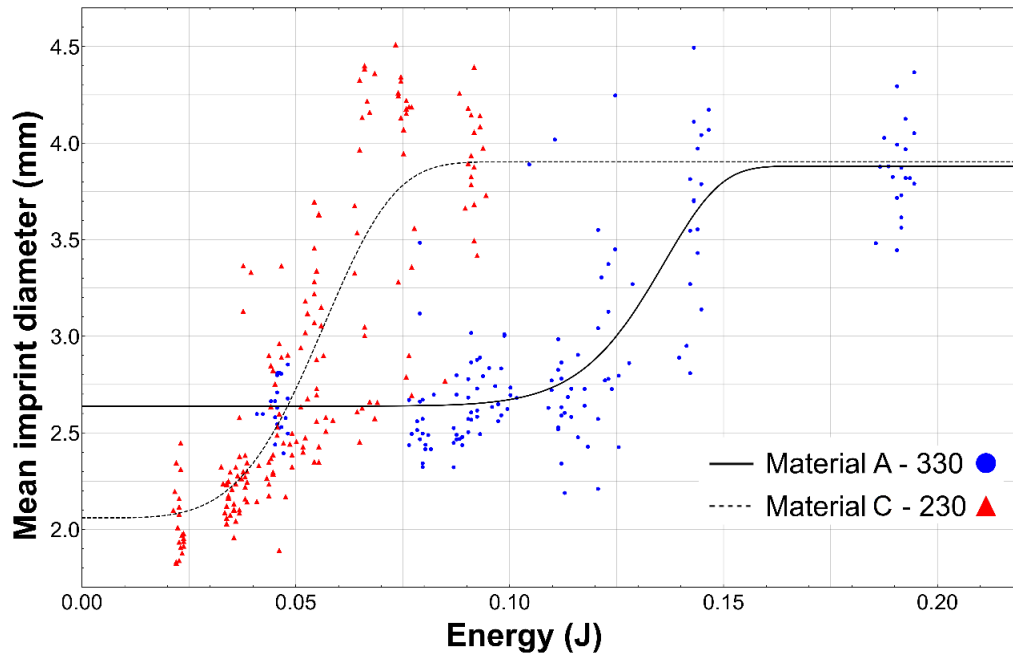


Figure 6: Comparison of the approximated sigmoidal functions for material A-330 and material C-230

Both materials reach their approximate maximum at an average imprint diameter of about 3.90 mm. This value is also expressed by the sigmoidal function of parameter  $d$ .

When comparing materials A-330 and C-330, it can be seen that parameter  $d$  is quite similar. For the material A-330 the parameter  $d = 3.88$ . This implies that the damage is roughly the same at high energies, but at lower energies, that means between 0.05 J and 0.15 J, the material C-230 has larger mean imprint diameters. This is due to the different grammage and therefore material thickness.

Material A-330 and material C-230 have the same composition, only their grammages differ. As a result, the materials have a similar density, while the thickness of the materials changes due to the change in grammage. With increasing thickness, the number of fiber layers stacked in the material increases. This also causes the quantity of hydrogen bonds to rise. When an impactor hits the surface of the material, more fiber layers and thus hydrogen bonds have to be punctured. This could be an explanation why less energy is required to induce the cracks and breakthroughs in material C-230 than in material A-330, since the grammage and thickness of material C-230 is lower compared to material A-330.

If the same energy is applied to the material, the impact load in material A-330 is mainly used for the initial destruction of the hydrogen bonds, whereas the energy in material C-230 is already sufficient for the complete destruction, which is shown by a breakthrough of the material. The destruction could be further investigated with other tests, for example a multiaxial strain test or a puncture test.

On the basis of these measurements, it can be concluded that the material with the higher grammage has better impact resistance. Thus, the damage behavior seems to correspond to the grammage.

#### **4. Summary**

The investigations presented in this paper focused mainly on the impact behavior of cardboard. It was shown that the grammage has a decisive influence on the impact resistance. The material with higher grammage showed a higher impact resistance than the material with lower grammage. Thus, these results are in accordance with the study of BIVAINIS AND JANKAUSKAS (Bivainis & Jankauskas, 2015). The findings can be used to develop a material model to numerically simulate the damage behavior.

#### **Acknowledgement**



Dieses Forschungsvorhaben wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.



## Sources

- Beuth Verlag. (2012). *DIN EN ISO 534—Paper and board—Determination of thickness, density and specific volume*.
- Beuth Verlag. (2023). *ISO 187—Paper, board and pulps – Standard atmosphere for conditioning and testing and procedure for monitoring the atmosphere and conditioning of samples* [International Organization for Standardization].
- Bivainis, V., & Jankauskas, V. (2015). Impact of Corrugated Paperboard Structure on Puncture Resistance. *Materials Science*, 21(1), 37–61.  
<https://doi.org/10.5755/j01.ms.21.1.5713>
- Ek, M., Gellerstedt, G., & Henriksson, G. (2009). *Wood chemistry and wood biotechnology* (Bd. 1). de Gruyter.
- Haslach, H. W. (2000). The Moisture and Rate-Dependent Mechanical Properties of Paper: A Review. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 4(3), 169–210.  
<https://doi.org/10.1023/A:1009833415827>
- Hornig, A. (2017). *Beitrag zur Analyse und Berechnung impactinduzierter Spallationsdelaminationen in Faserverbundwerkstoffen* [Dissertation]. Technische Universität Dresden.
- Hüttermann, A. (2011). *Die Wasserstoffbrückenbindung: Eine Bindung fürs Leben*. Oldenbourg.
- Johst, P., Kaeppler, U., Seibert, D., Kucher, M., & Böhm, R. (2023). Investigation of different cardboard materials under impact loads. *BioResources*, 18(1), 1933–1947. <https://doi.org/10.15376/biores.18.1.1933-1947>
- Käppeler, U. (2019). *Anwendung physikalisch-chemischer Analysemethoden zur Charakterisierung von Faserverbunden* [Forschungsbericht]. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig.
- Neufingerl, F. (2016). *Chemie*. Jugend & Volk.
- Niskanen, K. (Hrsg.). (2012). *Mechanics of Paper Products*. De Gruyter.  
<https://doi.org/doi:10.1515/9783110254631>
- Stora Enso. (2022, September). *Ensocoat—Fully coated multilayer SBS board with light coated reverse*. <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/paperboard-materials/ensocoat-en-10012022.ashx>

# Brandverhalten von Hohlraumkonstruktionen im modernen Holzbau

Julius Lange, Björn Kampmeier

Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

## 1. Einleitung

Der Klimawandel stellt das größte gesellschaftliche Problem unserer Zeit dar. Es gibt verschiedene Ansatzpunkte, um den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß zu reduzieren, und die Bauindustrie bietet hierbei noch erhebliches Potenzial. Weltweit sind 38 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Bauindustrie zurückzuführen (UN environment programme, 2020). Eine Möglichkeit, diese Emissionen zu reduzieren, besteht darin, von energieintensiven mineralischen Baustoffen auf nachhaltige Baustoffe umzusteigen, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Der wichtigste unter diesen nachhaltigen Baustoffen ist Holz. Holz bindet Kohlenstoffdioxid während der Anbauphase und speichert dieses während der Nutzungsphase. In kleineren Gebäuden ist der Holzbau dabei sich weiter zu etablieren. Jeder 5. Wohnungsneubau wird in Holz gefertigt. (Holzbau Deutschland Bund deutscher Zimmermeister, 2021). Ein zentrales Problem beim Einsatz von Holz als Baustoff in höheren Gebäuden ist, dass Holz und Holzwerkstoffe der Baustoffklasse „brennbar“ zuzuordnen sind und ihre Anwendung durch bauordnungsrechtliche Beschränkungen begrenzt ist. Die maßgeblichen baurechtlichen Regeln sind die Musterbauordnung und die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).

Allerdings ist die Brennbarkeit des Holzes nicht allein eine bauaufsichtliche Fragestellung. So wird diskutiert, ob sich durch einen vermehrten Einsatz von Holzkonstruktion zusätzliche Herausforderungen für die Feuerwehren ergeben und wie diese weiterhin beherrscht werden können. Dies wird in dem BMBF geförderten Forschungsvorhaben HoBraTec bearbeitet (Klein, et al., 2023). Durch das Projekt wird eine Optimierung der Brandbekämpfungsmethoden und -techniken für Gebäude in moderner Holzbauweise angestrebt. Um diese Ziele zu erreichen, bedarf es eines besseren Verständnisses der zu erwartenden Branddynamik. Da in der Entwicklungsphase eines Brandes mobile Brandlasten aus der Nutzung des Gebäudes die Branddynamik dominieren, unterscheiden sich Gebäude in mineralischer Bauweise und Holzhäuser brandschutztechnisch anfänglich nicht. Wenn allerdings durch bauliche Schwachstellen oder voranschreitende Brandintensität der Brand ins Innere der Holzbauteile eindringen kann, beteiligen sich die immobilen Brandlasten der Konstruktion. Diese besondere Branddynamik im Inneren der Bauteile wurde im Projekt HoBraTec mittels Brandversuchen im mittleren Maßstab untersucht. Im Weiteren wird dieses Versuchskonzept zur Untersuchung des Brandverhaltens von Hohlraumkonstruktionen im modernen Holzbau vorgestellt und näher beschrieben. Zusätzlich werden erste Ergebnisse zweier Versuche der größer angelegten Reihe erörtert.

## 2. Versuchskonzept

### 2.1 Versuchsaufbau

Zur Untersuchung des Hohlraumbrandverhaltens wurden 1 x 1 m<sup>2</sup> große Bauteile in den Normbrandofen (Abbildung 1) eingebaut und einer definierten Brandbelastung ausgesetzt, während die Temperaturentwicklung im Inneren gemessen wurde. Der Bauteilofen wird mittels Gasbrenner befeuert und ist über die Brennerleistung und den Offennendruck regelbar. Zum Einbau der Probekörper verfügt der Bauteilofen über zwei seitliche vertikale und eine obere horizontale Öffnung. Somit ist es möglich, verschiedene Kombinationen aus zwei Wand- und einem Deckenbauteil zu prüfen, wobei die nicht genutzten Öffnungen während des Versuchs mit massiven Blindbauteilen verschlossen werden. Bei der betrachteten Versuchsreihe wurden Kombinationen aus Wand/Wand und Wand/Decke verwendet, wobei die zweite Kombination nur vereinzelt ausgeführt wurde, da keine Bauteilanschlüsse zu untersuchen waren.



Abbildung 1 Bauteilofen H2 mit eingebauten Wandprobekörpern

Die definierte Brandbelastung wurde über die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) realisiert. Diese beschreibt die Standardbrandkurve der deutschen Normung, auf der die bauaufsichtlichen Anforderungen an Bauteile beruhen. So ist ebenfalls eine Vergleichbarkeit zu einer hohen Anzahl von Zulassungsversuchen gegeben. Die Dauer der Prüfung wurde aus dem Wärmestromäquivalent realistischer Naturbrandkurven ermittelt und auf 30 Minuten festgelegt. Dies entspricht einem Raumbrand, welcher eine intensive Brandentwicklung und einen schnellen Übertritt in die Vollbrandphase aufweist, aber von der Feuerwehr rechtzeitig bekämpft wird. Die Probekörper dieser Versuchsreihe wurden bis auf wenige Ausnahmen in Holztafelbauweise konstruiert und variierten in Bezug auf den verwendeten Dämmstoff und den Bekleidungsschichten. Um die durch die Durchwärmung entstehenden Temperaturdifferenzen innerhalb der Probekörper messen zu können, waren alle Probekörper engmaschig mit Thermoelementen Typ NiCr-Ni versehen. Diese lieferten mit einer Abtastrate von 5 Sekunden einen für die Versuchsdauer feinen Temperaturverlauf.

Nach der 30-minütigen Beflammung im Ofen wurden die Probekörper aus dem Brandofen entnommen und oberflächlich abgelöscht. Die Löschwassermenge wurde doku-

mentiert. Danach begann die erste Beobachtungsphase, welche 1-2 Stunden andauerte. In dieser Zeit wurden die Probekörper visuell und weiterhin mittels Thermoelementen, Wärmebildkameras, einem Abgas- und Emissions-Analysator, Mehrgasmessgeräten der Feuerwehr und einer optischen Überwachungskamera beobachtet. Die Messtechnik wurde verwendet, um die Lösch- und Detektionsmaßnahmen der Feuerwehr zu dokumentieren und auf Wirksamkeit zu überprüfen. In einem Teil der Versuche wurde anschließend mit verschiedenen Mitteln ein Löscherfolg erzwungen und das Vorgehen, welches dazu nötig war, dokumentiert. Bei einem Großteil der Versuche durchliefen die Probekörper nach der ersten, auch die zweite Beobachtungsphase. Diese dauerte ca. 20 Stunden an. In dieser Zeit wurde mit reduzierter Messtechnik untersucht, ob und/oder wie die Probekörper einen (Schwel-) Brand innerhalb der Konstruktion ausbilden und wie sich dieser entwickelt.

Auf Grundlage dieses Versuchsaufbaus wurde eine Reihe mit 18 Doppelversuchen durchgeführt.

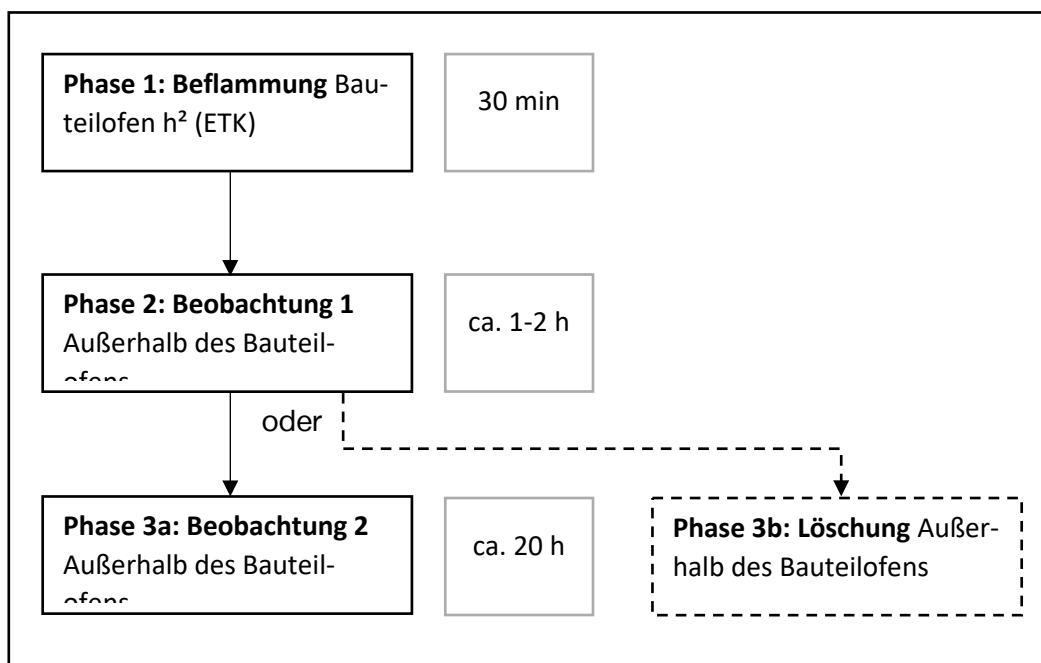


Abbildung 2 Untersuchungsablauf der beschriebenen Versuchsreihe

## 2.2. Probekörper

Im Weiteren werden die Probekörper der Versuche V220608\_6 und V220609\_7 aus der skizzierten Versuchsreihe beschrieben. Diese wurden in Holztafelbauweise konstruiert und ähnelten sich in ihrem Grundaufbau. Dieser bestand aus einer Holzkonstruktion aus Konstruktionsvollholz (KVH) und bildete einen Rahmen mit Schwelle, Rähm und Ständern aus. In der Mitte wurde der Rahmen in zwei Gefach unterteilt (Abbildung 3). Verbunden wurden die einzelnen Hölzer mittels Tellerkopfschrauben durch die Stirnseite der Konstruktion. Diese Art der Verbindung ist im Holztafelbau eher unüblich, da die Verbindung zumeist durch die aussteifenden Plattenwerkstoffe realisiert wird. Da sich dieses Verfahren zum Bau von Probekörpern nicht eignet und in den durchgeführten Versuchen nicht auf statische Eigenschaften geprüft wurden, wurde jene besagte Verbindungslösung gewählt.

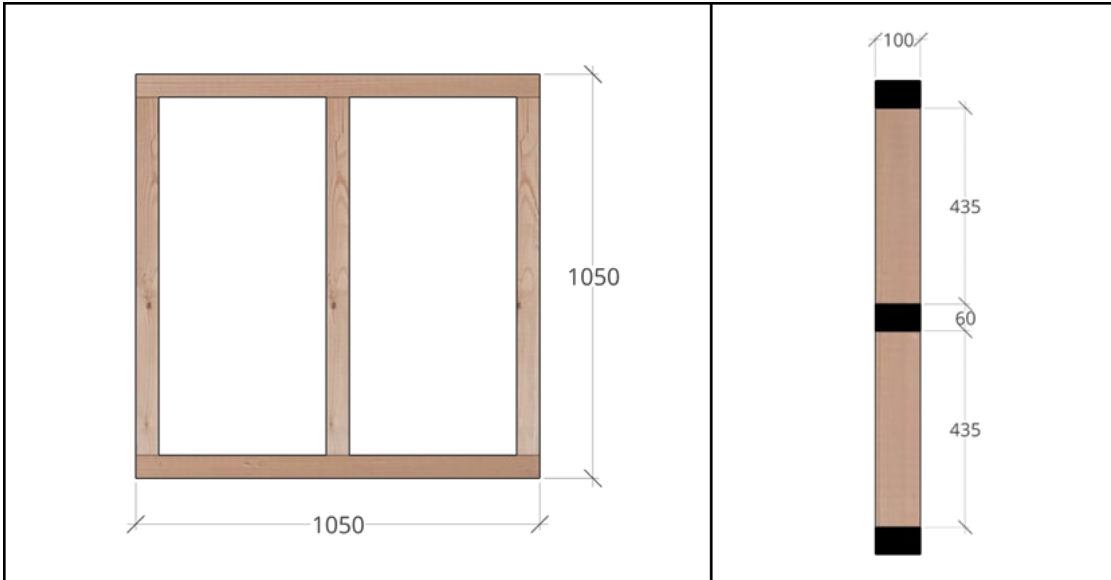
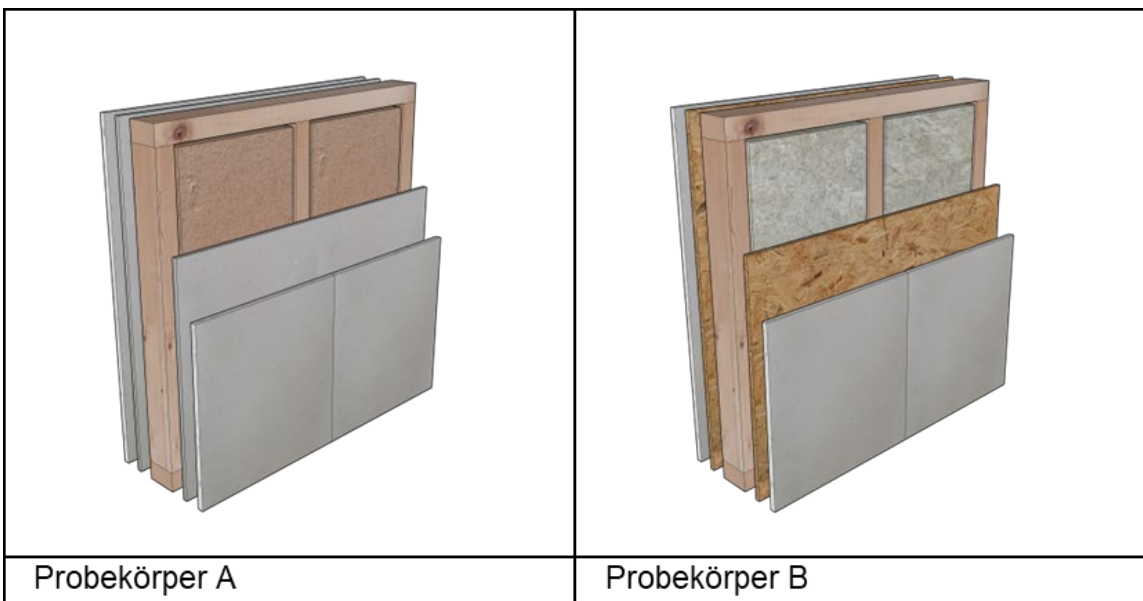


Abbildung 3 Aufbau Probekörper - Rahmen (Bemaßung in mm)

Die Gefache waren 10 cm tief und wurden vollständig mit Dämmstoffmatten ausgefüllt. In der Art des Dämmstoffs und der Beplankungslagen unterschieden sich die Probekörper. Das Wandbauteil A wurde mit Holzfaserdämmstoff (brennbar) und das Wandbauteil B mit Steinwolle (nichtbrennbar, Schmelzpunkt >1000°C) versehen. Beplankt wurde der Probekörper A mit einer doppelten Lage aus 2 x 18 mm dicken Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF). Beim Probekörper B wurde die innere Lage durch eine 15 mm dicke Holzwerkstoffplatte (OSB) ersetzt (Abbildung 4). In der oberen Mitte eines Gefachs wurde in einem Abstand von 15 cm zum Mittelständer eine Lochöffnung mit dem Durchmesser von 64 mm eingelassen, um eine Schwächung der Gipsplattenbekleidung durch eine Hohlwanddose für Steckdosen zu imitieren. Diese Schwächung wurde bei beiden Probekörpern vorgenommen.



Probekörper A







Probekörper B

Abbildung 4 Schematischer Aufbau der Probekörper

#### 4. Ergebnisse

Während den Beobachtungsphase 1 und 2 bildeten sich in beiden Probekörpern selbständige Verbrennungsprozesse innerhalb der Bauteile aus. Wie erwartet dominierte der Holzfaserdämmstoff in Probekörper A und die OSB-Platte in Probekörper B das jeweilige Brandverhalten. Nach Beendigung der Beobachtungsphasen durch Demontage der Probekörper wurde deutlich, dass beide Verbrennungsprozesse noch anhielten und sich weiter ausbreiteten. Demnach kam es nicht zum Selbstverlöschen. In den Abbildungen der Tabelle 1 ist zu erkennen, dass sich im Gegensatz zu Probekörper B der Brand in Probekörper A in dem durch die Öffnung der Hohlwanddose beschädigten Gefach gehalten und langsam ausgebreitet hat. Bei Probekörper B hingegen konnte sich der Brand vom beschädigten zum unbeschädigten Gefach über die OSB-Platte ausbreiten.

Tabelle 1 Bilder der Probekörper zu verschiedenen Zeitpunkten

	Probekörper A	Probekörper B
Direkt nach Ofenentnahme		
Nach ca. 20 h		
Nach ca. 20 h (ohne Brandschutzbekleidung)		

Darüber hinaus entzündete sich in Probekörper B die Holzkonstruktion über die OSB-Platte so weit, dass die untere rechte Anschlussstelle vom Brand vollständig verzehrt wurde. Bei Probekörper A wurde hingegen nur der Mittelständer an der Innenseite oberflächlich verkohlt. Ein weiterer wichtiger Aspekt, in dem sich die Probekörper unterschieden war die Entstehung von sichtbarem Rauch. Bei Probekörper A konnte über

beide Beobachtungsphasen hinweg kein sichtbarer Rauch detektiert werden, wo hingegen der Probekörper B eine nahezu konstante gut sichtbare Rauchfahne ausprägte.

### Durchwärmung während der Ofenphase

Während der Beflammungsphase wurden die Temperaturverläufe hinter den Bekleidungsschichten auf der brandzugewandten Seite mittel verbauten Thermoelementen aufgezeichnet und in Abbildung 5 abgebildet. Das Diagramm zeigt die Mittelwerte der

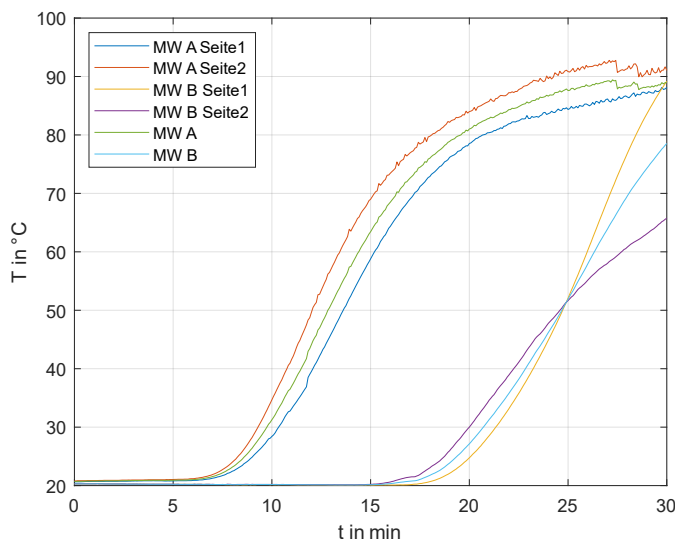


Abbildung 5 Temperaturverlauf hinter den Bekleidungsschichten auf der brandzugewandten Seite

jeweiligen Gefachseiten, wobei die Seite 1 das unbeschädigte Gefach beschreibt. Die Graphen ohne Zuschreibung einer Seite sind die Mittelwerte des gesamten Bauteils. Es wird deutlich, dass der Probekörper A etwa 10 Minuten eher anfängt sich bis zum Dämmstoff hin zu durchwärmen, sodass nach 15 min Beflammung bereits eine gemittelte Temperaturdifferenz von ca. 45 K zwischen den beiden betrachteten Probekörpern vorlag. Diese Differenz wurde allerdings

über die gesamte Beflammungsdauer auf gemittelte 10 K aufgeholt, sodass der Probekörper B eine insgesamt steiler Durchwärmungsverlauf aufweist als der Probekörper A. Zu erklären wäre dies durch die unterschiedlichen Wärmeleiteigenschaften und das spezifische Brandverhalten der verwendeten Baustoffe. Der Baustoff Gips bindet bei Beflammung Energie, da sich durch die Dehydratation des chemisch und physikalisch gebundenen Wassers unter Wärmebeaufschlagung eine temporäre Grenztemperatur zwischen 90°C und 100°C einstellt. Dieser Mechanismus ist in den Graphen des Probekörpers A gut zu erkennen. In Probekörper B ist dieser Mechanismus hingegen weniger deutlich zu erkennen. Die verzögerte Durchwärmung kann in diesem Fall durch die signifikant schlechtere Wärmeleitfähigkeit der OSB-Platte von  $0,13 \frac{W}{m \cdot K}$  im Vergleich zu  $0,51 \frac{W}{m \cdot K}$  bei Gips erklärt werden (Holzmann & Wangelin, 2009). Es kann festgehalten werden, dass die OSB-Platte die Durchwärmung verzögert und damit Konstruktion und Dämmstoff gerade in der Brandentstehungsphase schützt. Wenn diese allerdings als Ersatz einer hinteren Brandschuttbekleidung aus Gips verwendet wird, ist zu sagen, dass sich dann die thermische Schutzwirkung durch Dehydration weniger stark ausprägt, da absolut weniger Kristallwasser in der Platte chemisch gebunden ist. Dementsprechend unterscheiden sich zwar die Wärmeleitprozesse der unterschiedlichen Bekleidungslösungen der Probekörper A und B, das Ergebnis der Schutzwirkung ist allerdings gut vergleichbar.

## Hohlraumbranddynamik

Wie bereits beschrieben entwickelten sich in beiden Probekörpern Brände innerhalb der Konstruktion, welche jeweils über 18 Stunden anhielten. In Abbildung 6 sind Wärmebildaufnahmen beider Probekörper gegen die Zeit aufgeführt, welche den Verlauf des Hohlraumbrandes qualitativ abbilden. Das jeweils erste Bild zeigt die brandzugewandte Seite der Probekörper direkt nach Ofenentnahme und oberflächlicher Kühlung mittels Kübelspritze. Dabei ist bei beiden Probekörpern zu erkennen, dass die Abkühlung der lediglich durchwärmten Bereiche, in welchen sich anfänglich kein Hohlraumbrand ausgebildet hat, nach 3 Stunden nahezu abgeschlossen ist. Weiterhin ist zu erkennen, dass sich die Fläche des Bereichs von dem aus sich der Brand entwickelt bei beiden Probekörpern um die Öffnung herum zu verorten ist und ungefähr die gleiche Größe aufweist. Unterscheiden lassen sich beide Probekörper in diesem Aspekt durch die Brandintensität. Nach 6 Stunden bewirkt der Hohlraumbrand bei Probekörper A eine maximale Oberflächentemperatur von 60°C. Wo hingegen bei Probekörper B im gleichen Zeitraum eine maximale Oberflächentemperatur von über 200°C gemessen wurde. Aus den Temperaturverläufen und den in der Literatur beschriebenen Materialeigenschaften, kann die vorherrschende Branddynamik für den jeweiligen Probekörper charakterisiert werden. Bei Probekörper A setzt ein Schwelprozess ein, der sich durch Unterventilation, vergleichsweise niedrige Temperaturen und ein flammen- und glimmloses auszeichnet (Sudhoff, 2022). In Probekörper B liegt eine komplexere Dynamik vor, welche Schwel-, Glimm- und Flammenbrände inkludiert.

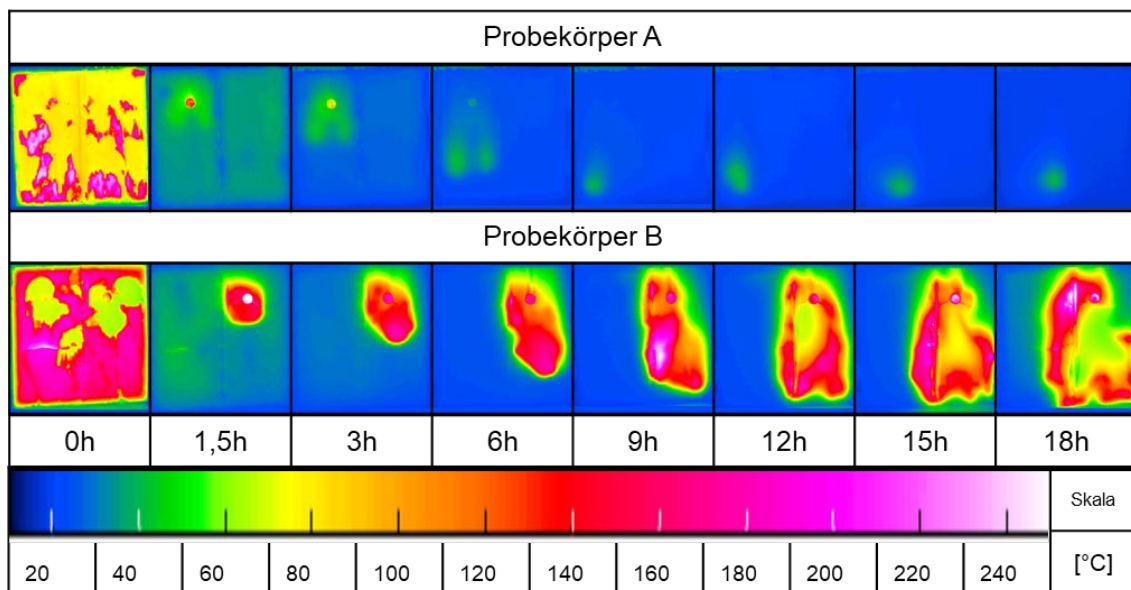


Abbildung 6 Wärmebildaufnahmen der brandzugewandten Seiten 0-18 Stunden nach Oberflächenkühlung

Bei Vergleich der zwei Probekörper fällt weiterhin auf, dass sich beide Brände mit ähnlicher Geschwindigkeit zwischen der dritten und neunten Stunde nach Bauteilkühlung in Richtung der unteren äußeren Ecke hin ausbreiten. Der große Unterschied liegt dann allerdings wieder in der Brandintensitätsdifferenz, welche in Probekörper B eine Weiterleitung in das zweite Gefach bewirkt. Zu erklären ist die anfängliche Ausbreitung nach Unten und Außen durch die vorherrschenden Ventilationsbedingungen.



Durch den sich entwickelnden Verbrennungsprozess entstehen Abgase, welche sich in Hohlräumen der Bauteile sammeln und nicht effizient nach außen hin abgeführt werden. Zusätzlich kann der für den Brand benötigte Luftsauerstoff nur durch die Fugen zwischen den Beplankungen und dem Rahmen ins Bauteil eindringen. Daraus ergibt sich der Sauerstoff als brandlimitierender Faktor. Daraus folgend entwickelt sich der Brand in die Richtung der effektivsten Sauerstoffzufuhr, welche sich an einer äußeren Schwell-Ständer Anschlussstelle ausbildet.

## 5. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die beschriebenen Probekörper unter den vorliegenden Bedingungen Hohlraumbrände ausbilden und diese sich während einer Langzeitbeobachtung ausbreiten. Das Durchwärmungsverhalten unterscheidet sich aufgrund der verwendeten Baustoffe in der Beflammungsphase in seinem Verlauf deutlich, die Endtemperaturen in der Konstruktion sind schlussendlich vergleichbar. Die Analyse der Temperaturverläufe während der Langzeitbeobachtung ergibt für die zwei Probekörper unterschiedliche Branddynamiken. Diese unterscheiden sich vor allem in ihrer Intensität, aber nur wenig in ihrer Brandausbreitungsrichtung. Abschließend ist zu sagen, dass eine tiefergehende Untersuchung des Brandverhaltens der OSB-Platte erforderlich ist, da sich diese zum einen positiv auf den Schutz einer dahinter liegenden Dämmung auswirkt, aber auf der anderen Seite unter bestimmten Randbedingungen auch einen Beitrag zur Brandweiterleitung darstellen kann. Bestandteil dieser Untersuchung sollte vor allem die komplexe Branddynamik der OSB-Platte in Abhängigkeit der Ventilationsbedingungen darstellen, da diese möglicherweise einen relevanten Einflussfaktor auf das Ausbreitungsverhalten und die Brandintensität darstellen. Weiterhin können die Ergebnisse der Versuchsreihe aufzeigen, welche Detektions- und Löschmaßnahmen der Einsatzkräfte der Feuerwehren wirksam und für diese Fälle anzuwenden sind. Um diese nächsten Auswertungsschritte zu tätigen und die beschriebenen Ergebnisse zu validieren, müssen die Versuche noch im Gesamtkontext der Reihe ausgewertet werden und um Versuche in größeren Maßstäben erweitert werden.

## Literatur

- Holzbau Deutschland Bund deutscher Zimmermeister. (2021). *Lagebericht 2021*. Berlin.
- Holzmann, G., & Wangelin, M. (2009). *Natürliche und pflanzliche Baustoffe*. Wiesvadeb : Vieweg+Teubner.
- Klein, K., Wellisch, A., Butscher, D., Wegner, S., Neske, M., Lange, J., & Kampmeier, B. (04 2023). Abwehrender Brandschutz im Holzbau - Techniken und Taktiken für Brände innerhalb der Konstruktion. *BRANDSchutz - Zeitschrift für das gesamte Feuerwehrwesen, für Rettungsdienst und Umweltschutz*, S. 259-265.
- Sudhoff, P. (2022). PYROPROBID: ENTWICKLUNG EINES PYROLYSE-PROGNOSEMODELLS FÜR DÄMMSTOFFE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN. *8th Symposium Structural Fire Engineering – TU Braunschweig 2022*, (S. 252-276). Braunschweig.
- UN environment programme. (2020). *Global Status Report for buildings and construction*.

# Vorhersage der Solarstrahlung am Boden mittels Satellitenbeobachtungen und maschinellen Lernverfahren

Clemens Seeger<sup>1</sup>, Fabian Schruppf<sup>1</sup>, Jonas Witthuhn<sup>2</sup>, Hartwig Deneke<sup>2</sup>, Mirco Fuchs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory for Biosignal Processing, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Eilenburger Str. 13, 04317 Leipzig

<sup>2</sup> Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

## Abstract

Zur Vorhersage der globalen Solarstrahlung am Erdboden (GSR) wird eine Deep-Learning-basierte Methode vorgestellt, die neben Satellitenaufnahmen auch Informationen nahegelegener Bodenmessstationen sowie zugehörige Metadaten nutzt. Dabei wird der Einfluss der nahegelegenen Messstationen auf das Vorhersageergebnis systematisch untersucht. Zum Trainieren und Evaluieren des Netzwerkes werden Satellitenaufnahmen Deutschlands sowie GSR-Messungen von 113 Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes von 2015 verwendet. Das Netzwerk besteht aus einem VGG-16-Netzwerk mit bereits erlernten Gewichten und einem darauffolgendem Dense Neural Network welches lernt, ausgehend von den erkannten Merkmalen in den Satellitenaufnahmen und Metadaten sowie zusätzlichen Informationen nahegelegener Messstationen, die kumulierte Globalstrahlung der nächsten Stunde vorherzusagen. Das Netzwerk erzielt eine hohe Vorhersagegenauigkeit der GSR und erreicht auf dem Testdatensatz ab einer Anzahl von 5 einbezogenen nahegelegenen Messstationen einen mittleren quadratischen Fehler (RMSE) von  $77,24 \text{ W/m}^2$ . Die Ergebnisse zeigen den Nutzen der zusätzlichen Informationen nahegelegener Messstationen und deuten darauf hin, dass die vorgestellte Methode verwendet werden kann, um die GSR auch an bisher nicht gemessenen Orten mit hoher Genauigkeit vorherzusagen.

**Keywords:** Solarstrahlung, Satellitenaufnahmen, Deep Learning, Neuronales Netzwerk

## 1. Einleitung

Im Rahmen der Energiewende spielen Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) eine zunehmend wichtigere Bedeutung. Die wichtigste Einflussgröße für die Planung und für den Betrieb dieser Anlagen ist die Globalstrahlung (Global Solar Radiation – GSR). Diese beschreibt die nutzbare solare Strahlungsenergie auf der Erdoberfläche. Eine genaue Vorhersage der GSR ist für ein effizientes Energiemanagement und Prognosen zur Energiegewinnung von entscheidender Bedeutung.

Gegenstand dieser Arbeit ist eine Deep-Learning-basierte Methode, um die Globalstrahlung am Erdboden vorherzusagen. Der vorgeschlagene Algorithmus verwendet

neben Satellitenaufnahmen auch Informationen über Messwerte nahegelegener Bodenmessstationen sowie zugehörige Metadaten (geografische Lage, Messzeitpunkte) zur Vorhersage der kumulierten GSR-Strahlung der nächsten Stunde. Es soll der Einfluss der nahegelegenen Messstationen auf das Vorhersageergebnis systematisch untersucht werden.

## **2. Methoden**

### **2.1 Daten**

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Prädiktion der GSR-Strahlung unter Verwendung von Satellitenaufnahmen und zusätzlicher Daten nahegelegener Referenzstationen. Für Erstere wurden Daten der Europäischen Organisation für meteorologische Satelliten (EUMETSAT) verwendet [1]. Sie umfassen Satellitenaufnahmen Deutschlands des geostationären Meteosat-10 Satelliten aus dem Jahr 2015 in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen. Für diese Arbeit wurden Aufnahmen im sichtbaren Wellenlängenbereich (600 nm - 900 nm) verwendet. Die Bildauflösung beträgt 720x1200 Pixel, mit einer Ortsauflösung in Deutschland von ca. 2x1 km/Pixel [2]. Die GSR-Messungen der Bodenstationen wurden einer öffentlich zugänglichen Datenbank des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entnommen [3]. Sie beinhalten stündlich kumulierte Messungen der am Boden auftretenden Globalstrahlung von insgesamt 113 Wetterstationen in Deutschland aus dem Jahr 2015.

### **2.2 Datenvorverarbeitung**

Zunächst erfolgte eine Aufteilung der Daten entsprechend ihrer Stationszugehörigkeit so, dass 23 Stationen als Teststationen und die Daten der übrigen 90 Stationen für das Training des Verfahrens separiert wurden. Auf diese Weise wurde ein vom Trainingsdatensatz unabhängiger Testdatensatz zur realistischen Einschätzung der Vorhersagegenauigkeit geschaffen. Bei der Auswahl der Teststationen wurde auf eine gleichmäßige räumliche Verteilung über ganz Deutschland geachtet. In Abbildung 1 ist diese Unterteilung dargestellt. Die Daten der übrigen 90 Trainingsstationen wurden im Verhältnis 80%/20% zufällig einem Trainings- und einem Validierungsdatensatz zugeordnet. Für jeden Messwert des Datensatzes wurde aus der dazugehörigen Satellitenaufnahme (zeitliche Korrespondenz) ein jeweils 32 x 64 Pixel (ca. 64 km x 64 km am Erdboden) großer Bildausschnitt extrahiert, dessen Zentrum mit der geographischen Position der zum GSR-Wert gehörenden Messstation übereinstimmt (räumliche Korrespondenz). Für jeden dieser Datenpunkte wurden außerdem Monat, Tag und Uhrzeit sowie Längengrad, Breitengrad und Höhe über N.N. der zugehörigen Messstation gespeichert.

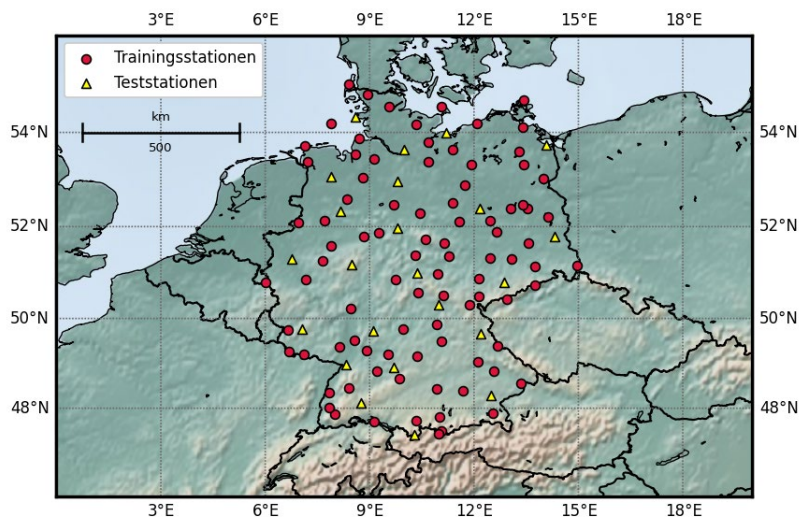


Abbildung 1: Darstellung der Lage der Messstationen in Deutschland. Teststationen werden durch gelbe Dreiecke repräsentiert. Die Messungen der verbleibenden mit roten Kreisen markierten Messstationen wurden weiterhin zufällig einem Trainings- und Validierungsdatensatz zugeordnet.

### 2.3 Netzwerkarchitektur

Einen Überblick der Netzwerkarchitektur zeigt Abbildung 2. Das Netzwerk sollte so trainiert werden, dass auf Basis (1) des zum Zielort (Ort, für den die Prädiktion erfolgt, siehe unten) gehörenden Ausschnittes des Satellitenbildes zum Zeitpunkt  $t_i$ , (2) der geografischen Lage des Zielortes auf der Erdoberfläche, (3) der GSR-Messwerte der zum Zielort benachbarten  $n$  Bodenmessstationen zum Zeitpunkt  $t_i$  sowie (4) des euklidischen Abstandes und der Höhenunterschiede jeder der  $n$  benachbarten Bodenmessstationen zum Zielort der kumulative GSR-Wert vorhergesagt wird, der innerhalb der auf den Zeitpunkt  $t_i$  folgenden Stunde am Zielort zu erwarten ist. Für das Training korrespondieren die Zielorte mit der Lage der Trainingsstationen.

Das zur Vorhersage der GSR-Strahlung verwendete neuronale Netzwerk besteht aus einem vortrainierten VGG16-Netz [4] und sich daran anschließenden vollständig verbundenen Schichten (Dense Layer). Das VGG16-Netz dient als Backbone, dessen Parameter im Rahmen des Trainings nicht verändert werden. Es eignet sich zur Ableitung informativer Merkmale aus den Satellitendaten. Der so extrahierte Merkmalsvektor wird mit den weiteren Metadaten des Zielortes verkettet und bildet den Eingang eines Dense-Netzwerkes (DenseNet). Je nach Anzahl  $n$  benachbarter Bodenmessstationen beinhaltet dieser Merkmalsvektor auch die Messwerte an diesen Stationen sowie deren o.g. Abstände zum Zielort (Differenzen von Längengrad, Breitengrad und Höhe). Die Anzahl berücksichtigter Nachbarstationen wurde entsprechend des experimentellen Setups variiert (siehe unten). Das DenseNet bestand aus zwei Schichten mit jeweils 256 und 64 Neuronen mit ReLu-Aktivierung. Ausgabe des Netzwerkes ist der kumulierte GSR-Wert am Zielort (d.h. in der Mitte des Satelliten-ausschnittes), der innerhalb der folgenden Stunde erwartet werden kann.

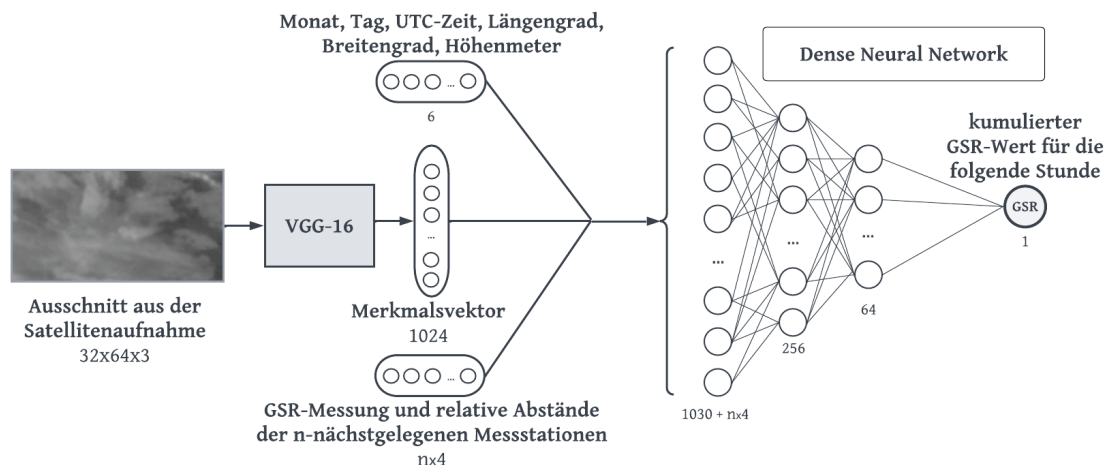


Abbildung 2: Netzwerkachitektur zur Vorhersage der in der folgenden Stunde auftretenden GSR. Das um den Zielort zentrierte Satellitenbild wird durch das VGG-16 Netzwerk in einen Merkmalsvektor transformiert. Zusammen mit der geographischen Lage des Zielortes, des Messzeitpunktes sowie den Daten der  $n$  nächstgelegenen Stationen erlernt das neuronale Netz den systematischen Zusammenhang zu dem am Erdboden innerhalb der folgenden Stunde am Zielort zu erwartenden kumulierten GSR-Wert.

## 2.4. Training

Das Training des Modells erfolgte in Keras/Tensorflow (Version 2.3) unter Verwendung des Adam-Optimizers (initiale Lernrate 0,00005), einer Batchgröße von 200 und mit der Zielmetrik mittlerer quadratischer Fehler (MSE) zwischen tatsächlichem und vorhergesagtem GSR-Wert. Während des Trainingsprozesses wurde nach jeder Epoche der MSE auf den Validierungsdaten berechnet. Falls der MSE auf den Validierungsdaten nach 10 Epochen nicht reduziert wurde, wurde die Lernrate des Modells halbiert. Um eine Überanpassung an die Trainingsdaten zu verhindern, wurde das Training frühzeitig gestoppt, falls innerhalb von 20 aufeinanderfolgenden Epochen keine Verbesserung des MSE auf den Validierungsdaten erreicht wurde. Um den Erfolg des Trainingsprozesses zu bewerten, wurde dann das Modell ausgewählt, das über den gesamten Trainingszeitraum den geringsten MSE auf den Validierungsdaten erzielte. Durch das frühzeitige Beenden des Trainings, variierten die Trainingszeiten zwischen 8 und 15 Minuten. Um den Einfluss der Verwendung von GSR-Werten zum Zielort benachbarter Bodenmessstationen zu untersuchen, wurde die Anzahl der jeweils  $n$  nahegelegenen und für die Prädiktion zu verwendenden Nachbarstationen systematisch vergrößert. Für jede Anzahl  $n$  benachbarter Stationen wurden dabei insgesamt 10 Trainingsdurchläufe absolviert. Zur Evaluierung des Trainings wurde der Fehler zwischen tatsächlichem und geschätztem GSR-Wert mit Hilfe des Root-Mean-Squared-Error (RMSE) für jeden der 10 durchgeführten Trainingsdurchläufe berechnet und über alle Durchläufe gemittelt.

## 3. Ergebnisse

In Abbildung 3 ist der über die 10 Trainingsdurchläufe gemittelte RMSE für jedes Trainingsszenario abgebildet. Die Grafik zeigt den Einfluss der Anzahl verwendeter nächstgelegener Stationen auf den Vorhersagefehler. Für den Fall 0 zusätzlich verwendeter Stationen entspricht die Vorhersage der Prädiktion des GSR-Wertes allein

anhand des zugehörigen Satellitenbilddausschnittes sowie geografischer Lage des Zielortes und der Messzeit (Monat, Tag, Uhrzeit).

Das Netzwerk erreichte auf den Testdaten ohne weitere Referenzstationen ( $n=0$ ) einen durchschnittlichen RMSE von  $80,36 \text{ W/m}^2$ . Bei Verwendung von Messdaten der  $n=5$  nahegelegenen Stationen verringert sich der RMSE auf  $77,24 \text{ W/m}^2$ . Eine weitere Zunahme von Referenzstationen ( $n>5$ ) veränderte das Fehlerniveau nur unwesentlich. Der Verlauf des Validierungsfehlers in Abhängigkeit der Anzahl einbezogener Nachbarstationen zeigte einen vergleichbaren Verlauf bei einem Fehlerminimum von  $\text{RMSE}=67,8 \text{ W/m}^2$  für  $n=5$ .

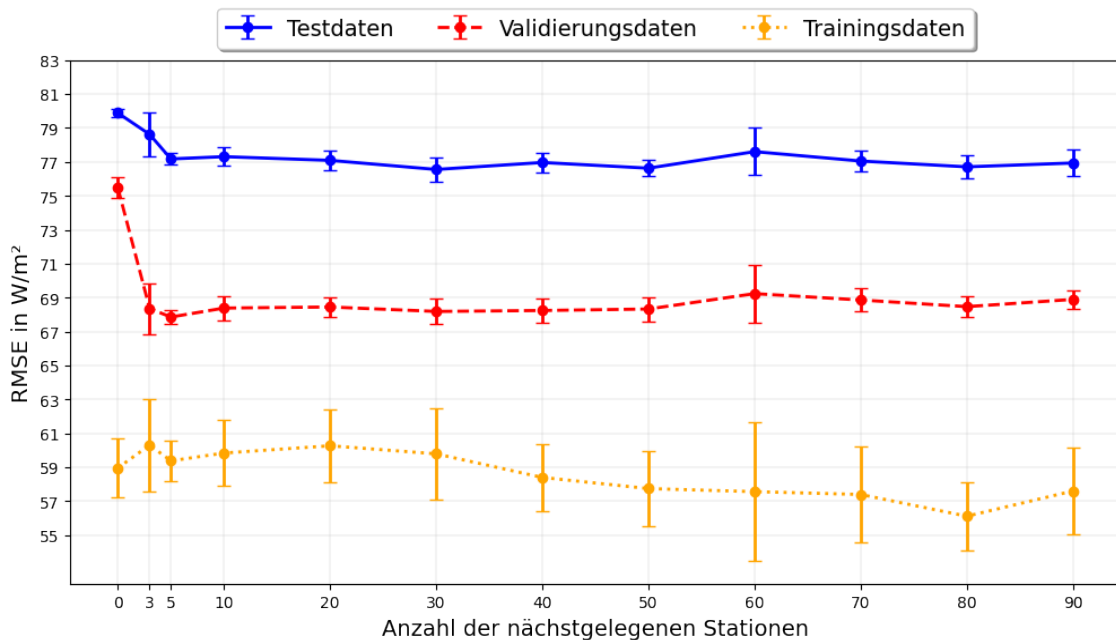


Abbildung 3: Erreichter durchschnittlicher RMSE des Netzwerkes auf Trainings- Validierungs- und Testdaten mit Fehlerbalken. Pro Parametereinstellung der "Anzahl der nächstgelegenen Stationen" wurde das Netzwerk 10-mal trainiert und Mittelwert sowie Standardabweichung des RMSE berechnet.

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass der vorgeschlagene Deep-Learning-Algorithmus in der Lage ist den Zusammenhang zwischen Satellitendaten im sichtbaren Wellenlängenbereich und Bodenmesswerten der GSR zu erlernen. Unter Hinzunahme von Metadaten konnte eine Genauigkeit erreicht werden, die im Bereich der Ergebnisse existierender Arbeiten liegt [5]. Die Ausnutzung der Korrelation der Messwerte von geographisch nah beieinander liegenden Messstationen durch die Hinzunahme von GSR-Daten umliegender Stationen führte nochmals zu einer Verringerung des Schätzfehlers auf den Testdaten und kann als Mittel zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit angesehen werden. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass eine Hinzunahme von mehr als 5 Nachbarstationen zu keiner weiteren Verbesserung des Schätzfehlers führt. Dies lässt sich auf die abnehmende Korrelation der Messstationen mit zunehmendem geographischen Abstand zueinander zurückführen, da die gemessene GSR u. A. stark von den meteorologischen Einflüssen am Messort abhängt. Weiterhin führt die Einbeziehung einer fest definierten Anzahl von Nachbarstationen aufgrund der

heterogenen Verteilung der Stationen zwangsläufig je nach geographischer Lage zur Abdeckung unterschiedlich großer Gebiete und leistet daher einen Beitrag zur Varianz des Schätzfehlers. Dieser Effekt spielt vor allem bei grenznahen Messstationen eine Rolle, da hier aufgrund der begrenzten Auswahl an Nachbarn auch weiter entfernte Stationen berücksichtigt werden. Um eine präzisere Vorhersage zu ermöglichen, wäre es daher sinnvoll, Nachbarstationen anhand eines festgelegten Radius auszuwählen und die Messungen dieser Stationen je nach Entfernung zum vorherzusagenden Punkt gewichtet zu berücksichtigen.

Darüber hinaus ist die Wiedergabe lokaler Wolkenformationen an einem zu prognostizierenden Standort aufgrund der geringen Auflösung der Satellitenaufnahmen eingeschränkt. Die Auflösung führt dazu, dass feine Details in den Wolkenformationen verloren gehen und eine verallgemeinerte Darstellung der meteorologischen Bedingungen bereitgestellt wird. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Vorhersage der GSR-Werte, da die Messstationen lediglich punktuelle Messungen der GSR-Daten liefern, die für die umliegende Umgebung nicht zwingend zutreffend sind. Weiterhin können die Satellitenaufnahmen lokale Wetterverhältnisse nur unzureichend abbilden, wodurch dem Netzwerk wichtige Information zur Vorhersage der GSR fehlen. Eine Verbesserung der Darstellung lokaler Wetterbedingungen und eine Erhöhung der Genauigkeit der Schätzung der GSR könnte demnach durch die Hinzunahme zusätzlicher Informationen, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, erreicht werden, da diese Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf das Wetter und somit auch auf die zukünftig auftreffende Globalstrahlung haben.

In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte somit eine systematische Untersuchung des Einflusses ergänzender Messdaten auf die Vorhersagegenauigkeit der globalen Solarstrahlung am Boden erfolgen. Es könnte darüber hinaus sinnvoll sein, geeignete Netzwerkarchitekturen, basierend auf Long Short-Term Memory (LSTM) Netzwerken, einzubeziehen, um eine präzisere Vorhersage der globalen Solarstrahlung für längere Zeiträume zu erreichen. Dies würde es ermöglichen, die von Photovoltaikanlagen gewonnene Energie, insbesondere an Orten ohne Messeinrichtungen, mit höchster Effizienz nutzen zu können.

## Quellen und Referenzen

[1] EUMETSAT. *Rapid Scan High Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG*. Online verfügbar über EUMETSAT-User Services Client: <https://archive.eumetsat.int/usc/UserServicesClient.html#sp::delm=O;noti=1;udsp=OPE;qqov=ALL;seev=0>. (Aufgerufen am 31.01.2023)

[2] EUMETSAT. (o. D.). *MSG Level 1.5 Image Data Format Description*. <https://www.eumetsat.int/media/45126>. (Aufgerufen am 31.01.2023)

[3] DWD Climate Data Center (CDC). Historische 10-minütige Stationsmessungen der Solarstrahlung, der atmosphärischen Gegenstrahlung und der Sonnenscheindauer in Deutschland, Version V1, [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/climate/10\\_minutes/solar/historical/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/10_minutes/solar/historical/). (Aufgerufen am 31.01.2023)

[4] Karen Simonyan und Andrew Zisserman. *Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition*. (2014). doi:10.48550/ARXIV.1409.1556. <https://arxiv.org/abs/1409.1556>. (Aufgerufen am 06.02.2023)

[5] Jiang, Hou & Lu, Ning & Qin, Jun & Tang, Wenjun & Yao, Ling. (2019). A deep learning algorithm to estimate hourly global solar radiation from geostationary satellite data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 114.109327.10.1016/j.rser.2019.109327. (Aufgerufen am 31.01.2023)



# Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf die elektrische Leitfähigkeit thermoplastischer Kunststoffe

Norman Katzer, Hagen Bankwitz, Jörg Hübler

Hochschule Mittweida, Professur Intelligente Maschinensysteme, 09648 Mittweida, Technikumplatz 17

## Abstract

Kunststoffe sind aufgrund ihrer sehr niedrigen elektrischen Leitfähigkeit allgemein als Isolationswerkstoff bekannt und sie werden daher in vielen Elektronikanwendungen als Isolator eingesetzt. Fügt man ihnen jedoch leitfähige Additive hinzu, so können sie auch elektrisch leitfähig gemacht werden. Man spricht dann von sogenannten extrinsisch leitenden Polymeren. Diese werden bspw. als Schutz vor elektrostatischer Entladung oder als elektromagnetische Abschirmung eingesetzt. Beginnt man nun die elektrische Leitfähigkeit dieser Kunststoffe als Messgröße in Abhängigkeit von unterschiedlichen Umwelteinwirkungen zu betrachten, so liegt der Schluss nahe, dass leitfähige Kunststoffe auch für Sensorik eingesetzt werden können. Im Zuge dessen untersuchen Forscher an der Professur Intelligente Maschinensysteme der Hochschule Mittweida extrinsisch leitfähige Kunststoffe hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeitseigenschaften unter Variation von Temperatur und Feuchtigkeit. Dazu wurden umfangreiche Messungen in einer Klimakammer mit verschiedenen leitfähig modifizierten Kunststoffen durchgeführt. Die Messreihen wurden als Temperaturwechseltests bei unterschiedlichen Luftfeuchten erbracht. Im hier eingereichten Beitrag wird die Messmethodik erläutert und die wichtigsten Ergebnisse präsentiert. Weiterhin wird ein Anwendungsbeispiel eines Kunststoffgleitlagers mit intelligenter Verschleißüberwachung beschrieben. Dabei wird eine Sensorik aus elektrisch leitfähigen Kunststoffen verwendet, die es ermöglicht, die Temperatur und den Verschleißgrad eines Kunststoffgleitlagers im Betrieb in Echtzeit zu bestimmen. Damit ermöglicht die Sensorik eine Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) und eine vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance) von Kunststoffgleitlagern.

## 1. Einleitung

Kunststoffe lassen sich grundsätzlich nach ihrem mechanisch-thermischen Verhalten in drei große Untergruppen einteilen. Dazu gehören Duroplaste, Elastomere und Thermoplaste. Die unterschiedlichen Polymerarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften aufgrund der unterschiedlichen Vernetzung der Polymere. Duroplaste zeichnen sich in ihrem Aufbau durch engmaschig vernetzte Polymere aus. Bei Elastomeren liegt hingegen ein weitmaschiges Netz vor. Die Gruppe der Thermoplaste besteht aus vollkommen unvernetzten Polymeren, die oft eine teilkristalline Struktur ausbilden. (Ehrenstein, 2011)

Die Besonderheit der Thermoplaste besteht darin, dass sie mehrere Male geschmolzen und umgeformt werden können, ohne dass es zu einer chemischen Zersetzung des Materials kommt. Diese Eigenschaft ist auf die langkettige Molekülstruktur der Thermoplaste zurückzuführen. Im Vergleich zu anderen Kunststoffarten, wie beispielsweise Duroplasten, die nach dem Erhitzen dauerhaft aushärten, bieten Thermoplaste dadurch

eine größere Flexibilität und Vielseitigkeit in der Verarbeitung und Anwendung. (Ebeling et al., 2015)

Sie werden daher in einer Vielzahl von Branchen eingesetzt, unter anderem in der Automobil-, Luft- und Raumfahrt-, Elektronik-, Medizin-, Verpackungs- und Baubranche. Einige gängige Beispiele für Thermoplaste umfassen Polyethylen, Polypropylen, Polycarbonat und PVC (Polyvinylchlorid). Jedes dieser Materialien hat einzigartige Eigenschaften, die es für bestimmte Anwendungen geeignet machen, wie z. B. hohe Festigkeit und Haltbarkeit, chemische Beständigkeit oder Flexibilität. Ein Anwendungsbeispiel in Form eines Kunststoffgleitlagers ist in Abbildung 1 dargestellt. Dieses soll später im Kapitel 7 noch näher betrachtet werden. (Dispan, 2013)

Einer der Hauptvorteile von Thermoplasten ist ihre Fähigkeit, recycelt und wiederverwendet zu werden, was sie für viele Anwendungen zu einer umweltfreundlichen Wahl macht. Darüber hinaus können Thermoplaste mit Additiven wie Füllstoffen, Verstärkungen und Stabilisatoren modifiziert werden, um ihre Eigenschaften und ihre Leistung in bestimmten Anwendungen zu verbessern. (Ebeling et al., 2015)

Insgesamt haben die Vielseitigkeit, Haltbarkeit und Recyclingfähigkeit von Thermoplasten sie zu einer beliebten Wahl für eine Vielzahl von Industrie- und Verbraucheranwendungen gemacht und sie sind weiterhin ein wichtiger und sich entwickelnder Bereich der Materialwissenschaft und -technik.

Der Einsatz thermoplastischer Kunststoffe als Sensormaterial ist allerdings noch relativ neu und bisher noch nicht ausreichend erforscht. Der Grundgedanke beim Einsatz eines Kunststoffs als Sensormaterial besteht darin, dass ihr elektrischer Widerstand gemessen wird und bspw. als Indikator für eine Temperaturänderung dient. Damit dies gelingt, müssen die im Allgemeinen als Nichtleiter bekannten Thermoplaste zunächst leitfähig gemacht werden. Alternativ können sogenannte intrinsisch leitfähige Polymere verwendet werden, die eine mit Metallen vergleichbare elektrische Leitfähigkeit besitzen. Ihre Leitfähigkeit wird durch konjugierte Doppelbindungen erreicht, die eine freie Beweglichkeit von Ladungsträgern im dotierten Zustand ermöglichen (Inzelt, 2008).



Abbildung 1: Kunststoffgleitlager aus leitfähigem und nichtleitfähigem thermoplastischem Kunststoff

## 2. Werkstoffphysikalische Grundlagen

Bei extrinsisch leitfähigen Polymeren werden elektrisch leitende Füllstoffe hinzugefügt. Zu den üblichen Füllstoffen gehören unter anderem kohlenstoffbasierte Materialien wie z.B. Ruß, Graphit, Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Graphen. Weiterhin können auch Metalle wie z.B. Silber, Kupfer, Nickel, Zinn und Aluminium, die alle in Fasern, Flocken, Dendriten und Sphäroiden vorhanden sind, beigemischt werden. Entscheidend für die elektrischen Leitfähigkeitseigenschaften ist die Konzentration der Füllstoffe im Kunststoff. Werden die Füllstoffe in zu geringer Konzentration dem Kunststoff beigemischt, so hat dies praktisch keinerlei Auswirkungen auf die elektrische Leitfähigkeit. Der Werkstoff besitzt dann weiterhin die ursprüngliche Leitfähigkeit der Polymermatrix. Erst ab einer bestimmten „kritischen Konzentration“  $K_C$  steigt die Leitfähigkeit in einem schmalen Konzentrationsbereich sehr stark an. Die Additive sind dann so zahlreich vorhanden, dass die Wahrscheinlichkeit einer Berührung untereinander so stark gestiegen ist, dass sie entsprechende leitfähige Strompfade ausbilden. Eine weitere Erhöhung der Additive sorgt dafür, dass sich immer mehr solcher Strompfade ausbilden und die elektrische Leitfähigkeit dementsprechend steigt. Schematisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 2 dargestellt. (Leute, 2015)

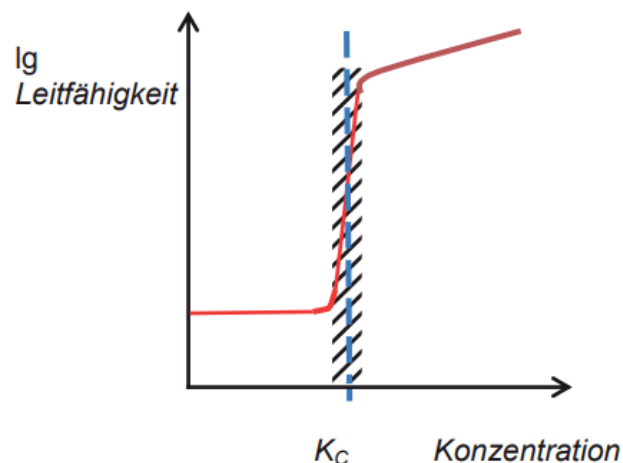


Abbildung 2: Logarithmische Darstellung des Verlaufs der Leitfähigkeit als Funktion der Additiv-Konzentration (Leute, 2015)

## 3. Motivation und Zielsetzung

Der Hintergrund der hier dargestellten Untersuchungen war es, ein tiefergehendes Verständnis über die Einflussgrößen auf den elektrischen Widerstand verschiedener thermoplastischer Kunststoffe zu gewinnen. Dieses Forschungsthema ergab sich im Rahmen der Bearbeitung eines Forschungsprojekts, bei dem ein Kunststoffgleitlager mit aus leitfähigen Kunststoffen bestehender Sensorik entwickelt wurde. Im Kapitel 7 wird ein noch umfassenderer Blick auf den Hintergrund der hier vorgenommenen Untersuchungen geliefert. Ziel war es, mithilfe einer Klimakammer unterschiedliche Umgebungsbedingungen auf verschiedene leitfähige Kunststoffe zu applizieren und dabei die Änderung des Widerstands zu detektieren. Am Ende sollten daraus Schlüsse über die Eignung der getesteten Werkstoffe als Sensormaterial gezogen werden.

#### 4. Methodik

Die methodische Vorgehensweise zur Untersuchung der Leitfähigkeitseigenschaften der thermoplastischen Kunststoffe untergliedert sich zunächst in drei wesentliche Arbeitsschritte: Versuchsplanung, Probenvorbereitung und Versuchsdurchführung.

Bei der Versuchsplanung wurden zunächst verschiedene Messregime für die Klimaprüfungen festgelegt. Für den Temperaturwechseltest (TWT) wurden zu Beginn die minimale und maximale Prüftemperatur, die Halte- und Anstiegszeiten, die Feuchtigkeit und die Zyklenzahl festgelegt (Tabelle 1). Weiterhin wurden für die Feuchtigkeitstests (FT) verschiedene Messparameter festgelegt (Tabelle 1). Die gewählten Parameter orientierten sich dabei an realistischen Umgebungsbedingungen für einen geplanten Anwendungsfall der Sensorik (siehe auch Kapitel 7).

Messregime	Temperaturbereich [°C]		Wechsel-/Haltezeit [min]	Prüfzyklen	Rel. Feuchte [%]
TWT 1	20	90	30/30	10	Ohne Regelung
TWT 2	20	90	30/30	10	50
TWT 3	20	90	30/30	10	10
TWT 4	20	90	30/30	10	90
TWT 5	20	90	120/120	10	50
FT 1	20	20	120/120	10	10 – 90
FT 2	20	20	30/30	10	10 – 90
FT 3	90	90	120/120	10	10 – 90

Tabelle 1: Auszug aus dem Versuchsplan

Untersuchungsgegenstand waren vier verschiedene leitfähige Kunststoffe: Thermoplastisches Polyurethan (TPU), Polyamid 66 (PA 66), Polybutylenterephthalat (PBT) und Polyphenylsulfid (PPS). Die Materialien lagen in kleinen Proben mit den Abmessungen 20x4x2 mm vor. Die geringe Probengröße bietet den Vorteil einer schnellen thermischen Durchwärmung während der Temperaturwechseltests.

Damit der elektrische Widerstand der Proben über den gesamten Versuchszeitraum hinweg gemessen werden konnte, mussten die Proben verkabelt werden. Dazu wurden diese mit den Anschlussdrähten verschweißt. In Abbildung 3 ist eine verschweißte Probe dargestellt. Als Schweißtemperatur wurde eine geringfügig höhere Temperatur als die Schmelztemperatur der Probewerkstoffe gewählt. Damit konnten die besten Ergebnisse hinsichtlich der Robustheit der Verkabelung mit den Proben gewonnen werden. Die Schweißtemperaturen je Probenmaterial sind in Tabelle 2 dargestellt.

Probe	TPU	PA 66	PBT	PPS
Schweißtemperatur [°C]	245	320	270	350

Tabelle 2: Schweißtemperaturen

Bei der Durchführung der Versuche wurden regelmäßig die Widerstandswerte der Proben überprüft, um zu gewährleisten, dass die Proben keine bleibenden Materialeigenschaftsänderungen während der Versuche erfuhren. Außerdem wurden pro Messregime

acht Proben gleichzeitig innerhalb der Klimakammer untersucht. Als Temperaturreferenz wurde die Solltemperatur des Temperaturwechselprofils der Klimakammer herangezogen.

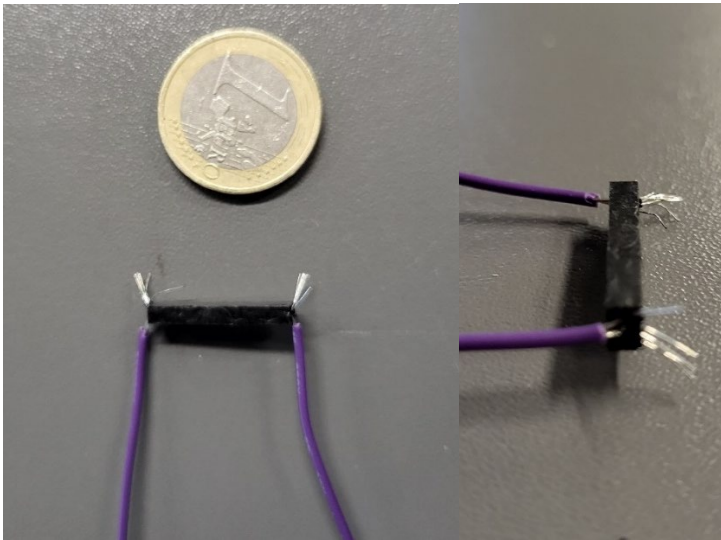


Abbildung 3: Kontaktierung des Anschlussdrahtes an die Materialproben mittels einer Schweißverbindung

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und des eingeschränkten Umfangs dieses Beitrags werden in diesem Kapitel nur ausgewählte Untersuchungsergebnisse dargestellt. Zu Beginn ist in Abbildung 4 das Messregime TWT 1 dargestellt. Neben den vier Kunststoffproben ist auch die Solltemperatur des TWT-Profiles auf der Sekundärachse dargestellt. Als Messgröße wurde hier die Spannung ausgewertet und im Diagramm aufgetragen, welche ebenfalls mit dem Widerstand korrespondiert.

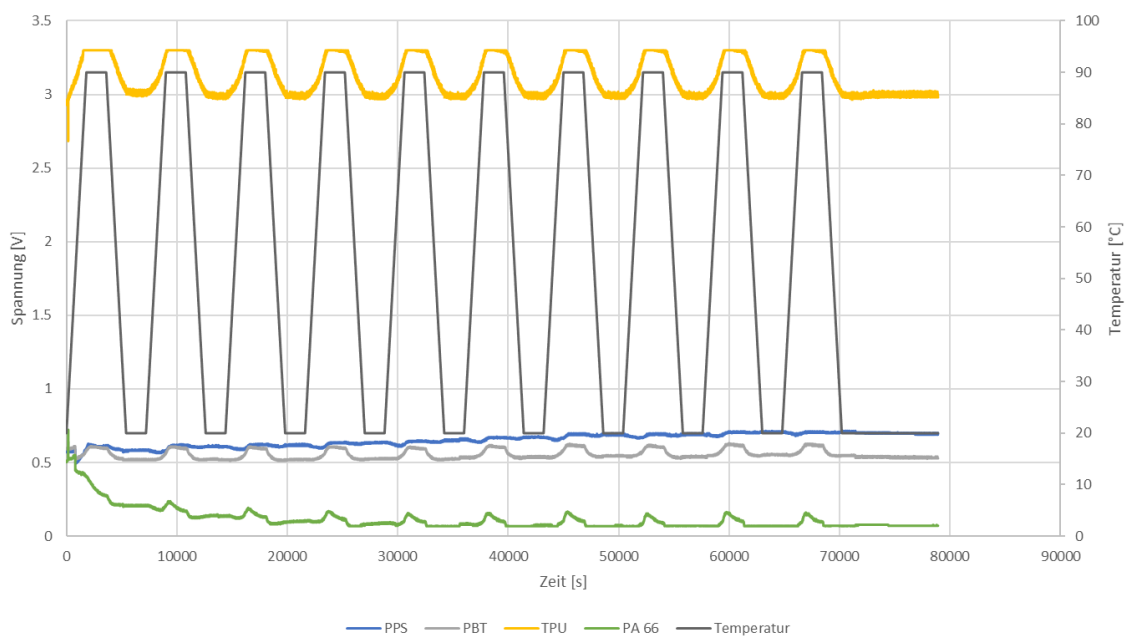


Abbildung 4: Spannungsänderung der vier untersuchten Kunststoffproben im Temperaturwechseltest

Es zeigt sich, dass vor allem das TPU dem Temperaturwechselprofil sehr gut folgt. Ebenfalls spricht das PBT sehr gut auf die Temperaturänderungen an, auch wenn die Amplituden hier deutlich kleiner sind. Dies ist allerdings auch in der Tatsache begründet, dass die elektrische Leitfähigkeit des modifizierten PBTs deutlich besser als die des TPUs ist. Weiterhin zeigt sich, dass das PA 66 zwar ebenfalls auf die Temperaturänderung reagiert, aber die Spannung schon bei der Phase der Haltetemperatur wieder abfällt. Außerdem ist erkennbar, dass das PPS nahezu keinerlei Änderungen in seiner elektrischen Leitfähigkeit aufweist. Es wird daher bereits jetzt deutlich, dass sich für ein Sensormaterial, welches bspw. die Temperatur messen soll, nur das TPU oder das PBT in Frage kommen kann. Unterstreicht wird dies, wenn man die Korrelationskoeffizienten berechnet, in dem man die gemessenen Spannungen den Solltemperaturen gegenüberstellt (Abbildung 5). Der Pearson-Korrelationskoeffizient beträgt in diesem Fall  $r = 0,96$  und deutet damit auf einen sehr starken Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannung bzw. Widerstand hin. Im Falle des PBTs wurde ein Pearson-Korrelationskoeffizient von  $r = 0,80$  berechnet. Ähnliche Effekte wurden bereits von Horibe et al. (2005) und Traina et al. (2007) für HDPE (Hart-Polyethylen) aufgezeigt. Es ist davon auszugehen, dass die Korrelationen noch höher ausfallen könnten, wenn statt der Solltemperatur der Klimakammer, die realen Proben temperaturen gemessen und gegenübergestellt worden wären. Dies begründet sich in der Tatsache, dass die Proben temperaturen immer etwas den Solltemperaturen der Klimakammer nachlaufen und die Durchwärmung der Proben, trotz ihrer geringen Größe, eine gewisse Zeit benötigt. Außerdem ist davon auszugehen, dass das Temperaturfeld in der Klimakammer nicht vollständig homogen ist, was wiederum weitere Messungenauigkeiten begünstigt.

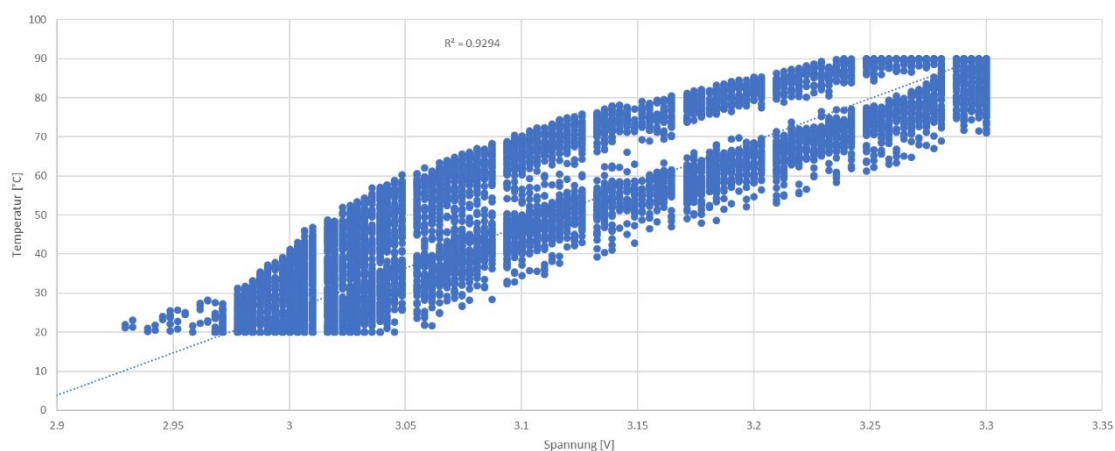


Abbildung 5: Korrelation zwischen Spannung und Temperatur am Beispiel des TPUs

Hinsichtlich der Feuchtigkeitstests zeigt sich, dass nur das TPU und der PA 66 auf die Feuchtigkeitsänderungen reagieren (Abbildung 6). Als Ursache dafür wird die wesentlich höhere Wasseraufnahme von TPU (0,8 %) und PA 66 (2,8 %) im Vergleich zu PPS (0,01 %) und PBT (0,25 %) herangezogen. Auffällig ist auch, dass das PA 66 am stärksten auf die Änderung der Feuchtigkeit reagiert. Dieses Verhalten steht in Einklang mit der hohen Wasseraufnahme des Materials PA 66.

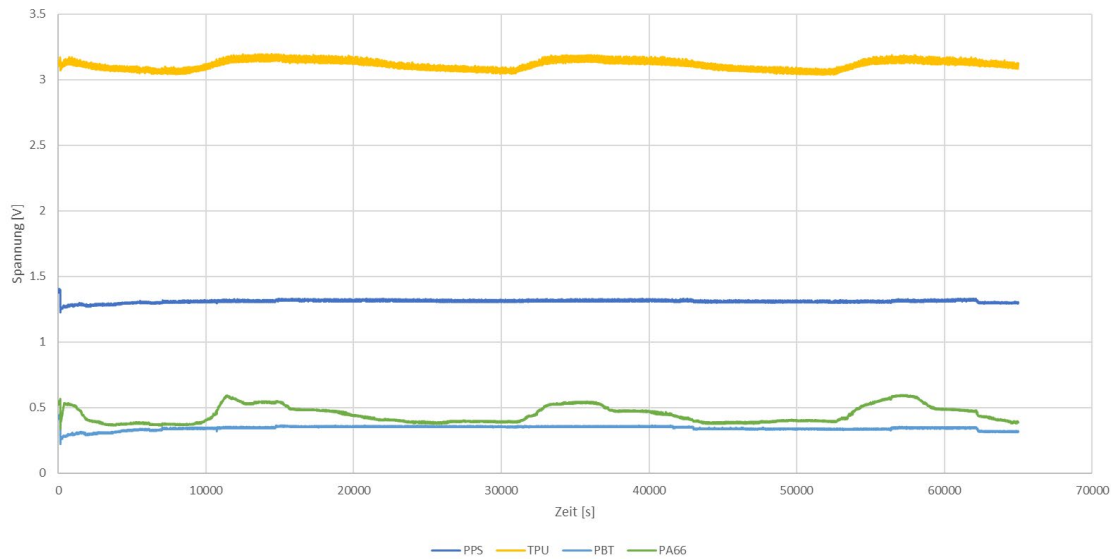


Abbildung 6: Spannungsänderung der vier untersuchten Kunststoffproben bei Feuchtigkeitsänderung

## 6. Anwendungsbeispiel

Als ein mögliches Anwendungsbeispiel für eine Sensorik aus leitfähigen thermoplastischen Kunststoffen wurde bereits in der Einleitung in Abbildung 1 ein Kunststoffgleitlager mit intelligenter Verschleißüberwachung vorgestellt. Der Grundgedanke hierbei ist, dass zwei Kunststoffe im Spritzgussverfahren miteinander gefügt werden, von denen einer der beiden elektrisch leitfähig ist und als Sensormaterial dient (Abbildung 7). Bei noch intakter Verschleißschicht kann das Sensorelement nun zunächst als Temperatursensor genutzt werden, da wie bereits im vorangegangenen Kapitel gezeigt, einige leitfähige Thermoplaste Temperaturänderungen gut anhand ihrer Widerstandsänderung abbilden können. Sobald das Lager verschlissen ist, tritt die Welle mit den Sensorelementen in Kontakt und sorgt dadurch für einen Kurzschluss zwischen zwei oder mehr Sensorelementen. Der so induzierte Spannungsabfall kann messtechnisch erfasst werden und liefert dem Anwender einen Hinweis darauf, dass das Lager verschlissen und zeitnah ausgetauscht werden muss. (Katzner et al., 2020)

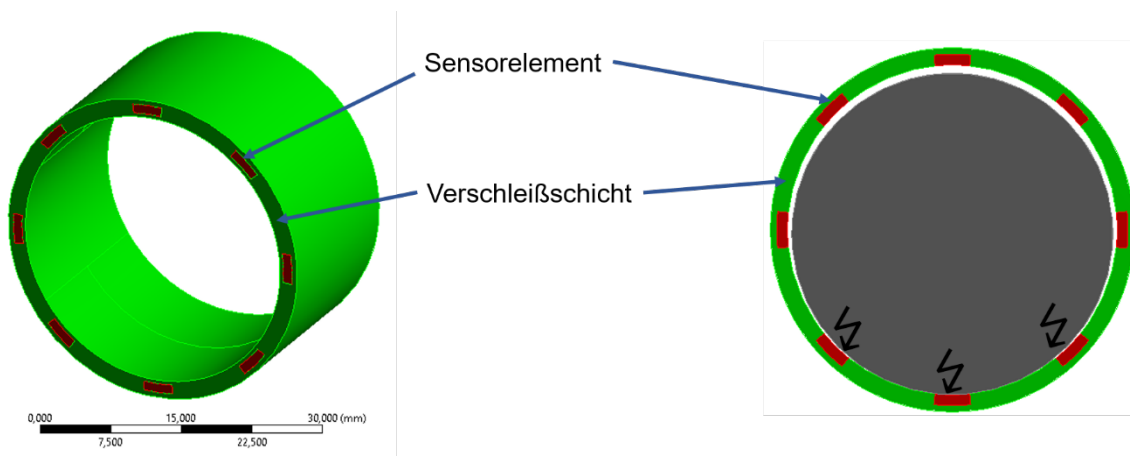


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Kunststoffgleitlagers mit intelligenter Verschleißüberwachung im unverschlissenen (links) und verschlissenen (rechts) Zustand (modifiziert aus Katzner et al., 2020)

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Ergebnisse lieferten wesentliche Erkenntnisse über die Einflüsse von Temperatur und Feuchtigkeit auf unterschiedliche leitfähige thermoplastische Kunststoffe. Mithilfe der messtechnischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sowohl das Material TPU als auch das PBT sehr gut in der Lage sind, Temperaturänderungen abzubilden. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit bereits veröffentlichten Forschungsarbeiten (Horibe et al., 2005; Traina et al., 2007). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das PPS und das PA 66 nicht für eine Anwendung als Sensorelement in Frage kommen, da sie entweder nicht oder nicht nachvollziehbar auf die Änderung der Temperatur reagieren. Hierbei wird beim PA 66 die hohe Wasseraufnahme als Ursache vermutet.

In weiteren Untersuchungen könnten noch bessere Zusammenhänge zwischen Temperatur und Widerstand des TPUs und des PBTs gefunden werden, wenn statt der Solltemperatur der Klimakammer, die Temperaturen mithilfe einzelner Thermoelemente direkt an den Proben abgegriffen werden. Außerdem könnten Langzeituntersuchungen einen Aufschluss darüber geben, ob Alterungserscheinungen der Kunststoffmaterialien die Korrelationen verschlechtern. Die genauen werkstoffphysikalischen Ursachen, können in weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen betrachtet werden.

## 8. Danksagung

Die ZIM-Vorhaben ZF 4516707LP9 und KK 5169407KU1 wurden im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

## Quellen

Dispan, J. (2013). Kunststoffverarbeitung in Deutschland: Branchenreport 2013: „Branchenanalyse Kunststoffverarbeitung“ zum Forschungsprojekt Nr. S-2013-620-1].

Ebeling, F., Richter, F. & Schwarz, O. (2015). Kunststoffkunde.

Ehrenstein, G. W. (2011). Polymer-Werkstoffe: Struktur - Eigenschaften - Anwendung.

Horibe, H., Kamimura, T. & Yoshida, K. (2005). Electrical Conductivity of Polymer Composites Filled with Carbon Black. *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(4R), 2025. <https://doi.org/10.1143/jjap.44.2025>

Inzelt, G. (2008). *Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry*. Springer Science & Business Media.

Katzer, N., Bankwitz, H. & Hübler, J. (2020). Kunststoffgleitlager mit intelligenter Verschleißüberwachung. *innoTRAC journal*, 1, 140–148. <https://doi.org/10.14464/innotrac.v1i0.467>

Leute, U. (2015). *Elektrisch leitfähige Polymerwerkstoffe: Ein Überblick für Studierende und Praktiker*. Springer-Verlag.

Traina, M., Pegoretti, A. & Penati, A. (2007). Time–temperature dependence of the electrical resistivity of high-density polyethylene/carbon black composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 106(3), 2065–2074. <https://doi.org/10.1002/app.26444>



# Einflüsse auf Ergebnisparameter bei bodenmechanischen Laborversuchen

Jonathan Beil, Hermann Busse, Alexander Knut, Julian Röntgen, Friedemann Sandig

HTWK Leipzig, Fakultät Bauwesen, GEONETIC, Karl-Liebknecht-Str. 132, 04277 Leipzig

## Kurzfassung

Bei bodenmechanischen Laborversuchen sind Streuungen der Ergebniswerte in der Regel durch das Bodenmaterial zu begründen. Teilweise sind sie jedoch auch auf Einflüsse aus der Durchführung des Versuches zurückzuführen. So wurde bei vergleichenden Untersuchungen mehrerer Labore starke systematische Abweichungen bei der Ermittlung der Scherparameter, mit Hilfe des Rahmenscherversuches beobachtet. Diese Abweichungen werden im vorliegenden Beitrag systematisch im Hinblick auf konkrete Einflussgrößen untersucht. Dabei wurde die in der statistischen Versuchsplanung verbreitete Methode nach Taguchi verwendet und durch eine Varianzanalyse (ANOVA) sowie eine Mittelwertanalyse (ANOM) ausgewertet. Im Beitrag wird die Streuung des Mittelwerts von Peak- und Restreibungswinkel eines enggestuften Sandes analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die gewählte Methode der Probenkörperherstellungsmethoden einen signifikanten und dominierenden Einfluss auf die Ergebnisgrößen hat.

## 1. Einleitung

Der Rahmenscherversuch ist ein genormter Versuch zur Ermittlung der Scherparameter (Reibungswinkel und Kohäsion) eines Bodens. Dazu wird eine Probe in einen horizontal geteilten Rahmen eingebaut, mit einer Normalkraft  $N$  beaufschlagt und somit konsolidiert. Nach abgeschlossener Konsolidation wird eines der Rahmenteile mit konstanter Geschwindigkeit verschoben, wodurch eine horizontale Kraft aufgebracht wird (Abbildung 1). Die dabei gemessene Scherspannung in Relation zur Normalspannung ist Grundlage für die Ermittlung des Reibungswinkels (DIN EN ISO 17892-10). Trotz der Standardisierung, variieren die Ergebnisse unterschiedlicher Labore in Vergleichenden Untersuchungen teilweise um  $\pm 15\%$  (Erik Schwiteilo, 2018). Da der Reibungswinkel und die Kohäsion, die mit dem Rahmenscherversuch ermittelt werden, für eine Vielzahl von geotechnischen Bemessungsaufgaben und Standsicherheitsuntersuchungen benötigt werden, ist eine hohe Qualität und damit einhergehend eine gute Vergleichbarkeit der ermittelten Daten von Bedeutung. Im vorliegenden Beitrag wurden insbesondere diejenigen Einflussgrößen untersucht welche in der nationalen sowie internationalen Normung unpräzise oder nicht eindeutig beschrieben sind und dem ausführenden Labor somit Spielraum bei der Durchführung des Versuches lassen.

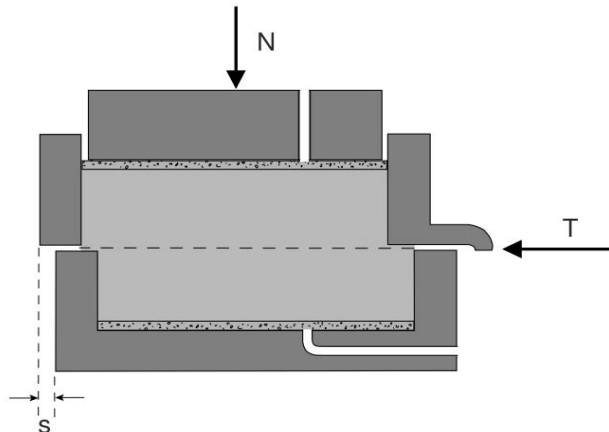


Abbildung 1 Prinzipskizze Rahmenscherversuch (Kolymbas, 2019)

## 2. Methodik und Material

Für die Versuchsdurchführung wurde ein enggestufter Mittelsand ohne Feinanteile gewählt. Dieser wurde trocken mit zwei verschiedenen, etablierten Methoden eingebaut. Durch die Einschränkung auf trockene Proben ohne Feinanteil soll die Reproduzierbarkeit erhöht und vor allem die Streubreite der Ergebnisse möglichst geringgehalten werden. Diese gewählten unabhängigen Randbedingungen reduzieren die Untersuchungen auf die abhängigen Ergebnisgrößen Peak- und Restreibungswinkel, da grobkörnige Böden keine tatsächliche Kohäsion aufweisen (Boley, 2012, S. 44). Der Peak-Reibungswinkel beschreibt die Tragfähigkeit bei maximaler Lastaufnahme, wohingegen der Restreibungswinkel die Tragfähigkeit nach großer Scherdeformation beschreibt.

Als Einflussfaktoren wurden die Schergeschwindigkeit (SG), das Öffnungsmaß des Scherspalts (SP), die Probengeometrie (PG) sowie die Probenherstellungsmethode (PM) gewählt, da diese Parameter entweder nach Normung eine Einstellbarkeit zulassen (*DIN EN ISO 17892-10*) oder ihnen in der Literatur zumindest in gewissem Maß ein Einfluss zugeschrieben wird (Fu et al., S. 7). Außerdem wurde untersucht, ob eine Wechselwirkung zwischen Scherspalt und Schergeschwindigkeit vorhanden ist (WW).

Die Probenherstellungsmethoden „Air Pluviation“ (AP) und Vibration unter statischer Auflast (V) sind für trockenes Material gut geeignet und besitzen eine hohe Reproduzierbarkeit (Miura & Toki, S. 68). Bei „Air Pluviation“ wird mittels eines Siebturms das Material in den Scherkasten eingebracht und überschüssiges Material abgezogen (Abbildung 2). Bei Einbau durch Vibration wird eine entsprechende Menge an Material in den Scherkasten mittels eines Trichters locker eingebracht und durch Vibration unter statischer Auflast auf die gewünschte Dichte verdichtet (Abbildung 3).



Abbildung 2 Air Pluviation

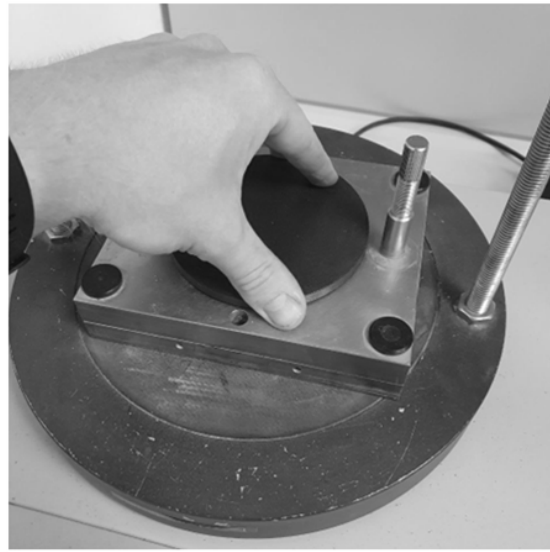


Abbildung 3 Vibration

Mittels der Taguchi Methode wurde ein hochvermengerter teilfaktorieller Versuchsplan erstellt (Tabelle 1), anhand dessen die Untersuchung durchgeführt wurde. Jede der dort gezeigten Versuchsanordnungen wurde drei Mal wiederholt, um statistische Relevanz zu gewährleisten. Die Ergebnisse wurden mittels einer angepassten Varianzanalyse (ANOVA<sup>1</sup>) und Mittelwertanalyse (ANOM<sup>2</sup>) ausgewertet. Bei der Mittelwertanalyse wird die mittlere Abweichung einer Faktorstufe vom Gesamtmittelwert analysiert und somit bestimmt, in welcher Richtung sich diese Einstellung auswirkt. Bei der Varianzanalyse werden die einzelnen Faktorstufen auf ihre prozentuale Wirkung auf die Zielgröße untersucht.

Tabelle 1 Hochvermengte teilfaktorielle Versuchsmatrix nach Taguchi

Experiment Nr.	Faktorzuweisung				
	SG [mm/min]	SP [mm]	WW	PG [cm <sup>2</sup> ]	PH
1	0,2	0,1	1	40	AP
2	0,2	0,1	1	70	V
3	0,2	0,3	2	40	AP
4	0,2	0,3	2	70	V
5	0,5	0,1	2	40	V
6	0,5	0,1	2	70	AP
7	0,5	0,3	1	40	V
8	0,5	0,3	1	70	AP

<sup>1</sup> ANOVA (Abk.) Analysis of Variance

<sup>2</sup> ANOM (Abk.) Analysis of means

### 3. Ergebnisse

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) als die prozentualen Effekte der Einflussgrößen auf den Peak-Reibungswinkel dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Probenherstellungsmethode den größten Einfluss auf das Ergebnis aufweist. Deutlich geringer, jedoch trotzdem signifikant, zeigt die Probengeometrie Einfluss auf den Peak-Reibungswinkel. Scherspalt und Schergeschwindigkeit weisen keinen signifikanten Einfluss auf. Der Fehler F2 steht für die Zufallsstreuung sowie für alle Einflüsse von nicht untersuchten Faktoren. Mit 7,77% fällt dieser Fehler verglichen mit den signifikanten Einflussgrößen gering aus, was die Auswahl der Einflussfaktoren bestärkt.

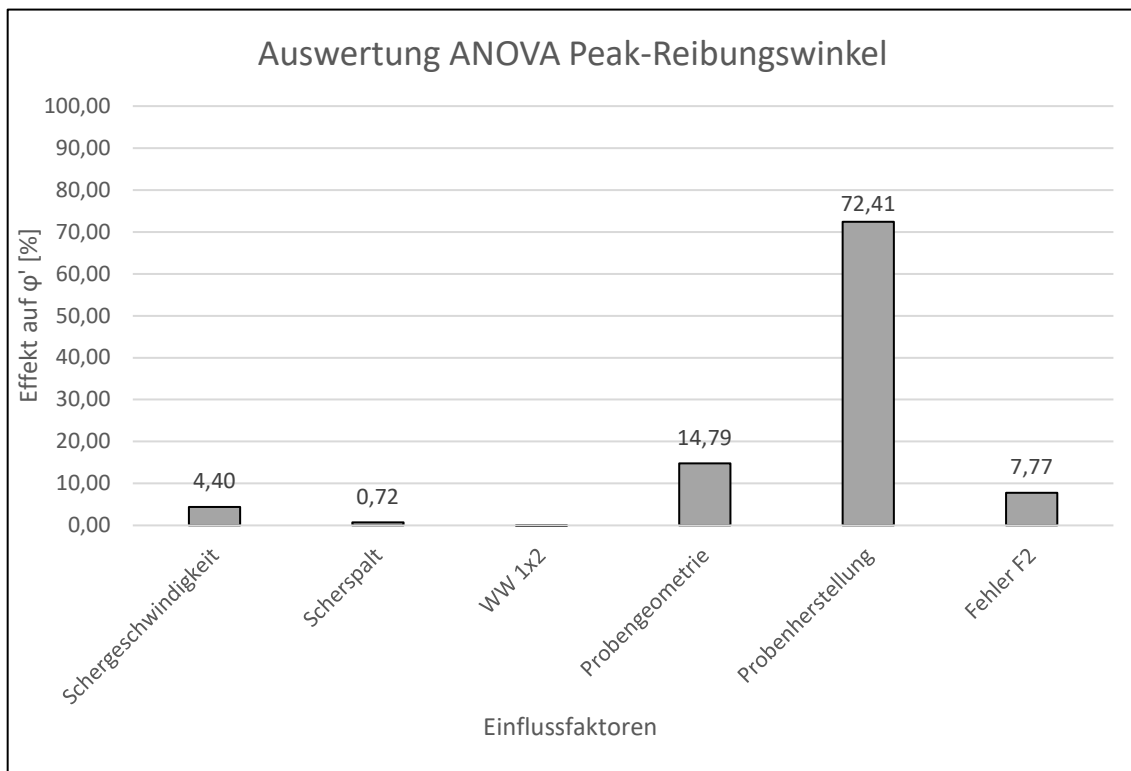


Abbildung 4 Ergebnisse Varianzanalyse (ANOVA) Peak-Reibungswinkel

Die Ergebnisse der Mittelwertanalyse (ANOM) zeigen, dass die ermittelten Peak-Reibungswinkel der mittels Air Pluviation hergestellten Proben deutlich größer sind als die der durch Vibration erzeugten Proben. Ein kleinerer Scherkasten verursacht ebenso einen größeren Peak-Reibungswinkel verglichen mit dem größeren Scherkasten (Abbildung 5). Die dort sichtbaren Einflüsse aus Scherspalt und Schergeschwindigkeit sind auf die Streuung der Ergebnisse zurückzuführen, da in der Varianzanalyse deutlich wurde, dass diese Einflussfaktoren keinen signifikanten Einfluss besitzen. Signifikante Einflüsse auf den Restreibungswinkel konnten nicht nachgewiesen werden.

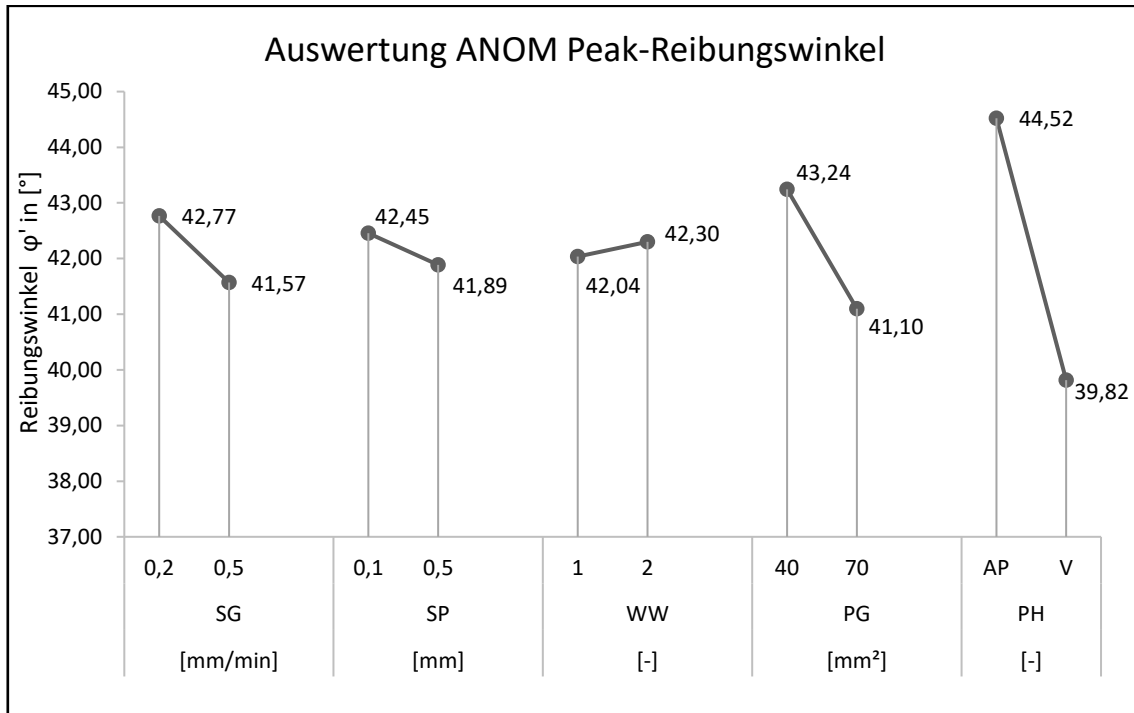


Abbildung 5 Ergebnisse Mittelwertanalyse (ANOM) Peak-Reibungswinkel

#### 4. Diskussion

Die Beobachtungen der eigenen experimentellen Arbeit zeigen, dass der Reibungswinkel stark von der Methode der Probenherstellung abhängt. Dies wird mit der unterschiedlichen Ausbildung des Korngerüsts, welche durch die Herstellungsmethode verursacht wird, begründet. Es wird angenommen, dass die Kornkontakte in eine Vorzugsrichtung ausgerichtet sind und so die geometrisch bedingte Anisotropie (Ning Guo, 2013), einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Für die vibrierende Methode der Probenherstellung scheint sich diese Vorzugsrichtung parallel zur Scherbelastung auszubilden, was in einer geringeren Lastaufnahme während der Deformation und somit in einem geringeren Peak-Reibungswinkel resultiert.

Das Korngerüst wird durch den Schervorgang umgeordnet. Partikel orientieren sich in einem neuen, über alle Versuche ähnlichen, Ordnungszustand was in den Experimenten eine immer gleiche Restscherfestigkeit zur Folge hat.

#### 5. Fazit

Bei der Ausführung und Auswertung des Scherversuchs wird der konkreten Methode der Probekörperherstellung, sowie dem Scherkastendurchmesser in der Regel kaum Aufmerksamkeit gewidmet. Die Untersuchungen zeigen allerdings eine Abweichung des Mittelwerts des Reibungswinkels durch unterschiedliche Probenherstellungsmethoden um knapp 5°. Je nach betrachteten Grenzzustand kann dieser Wert erhebliche Auswirkungen auf den ermittelten Ausnutzungsgrad haben, verstärkt durch die Unsicherheiten ergebend aus Probenentnahme und Probenanzahl. Um diese Unsicherheiten zu mindern, und somit sowohl angemessen wirtschaftlich als auch sicherheitsrelevant bemessen zu können, wird empfohlen, die Einbauvariante möglichst der lokalen Untergrund-

genese anzugleichen und zu dokumentieren. Weiterhin werden im aktuellen Normenentwurf des EC7-1 (prEN 1997-1:2022-10) statistische Verfahren zur Ermittlung des repräsentativen (vormals charakteristischen) Wertes als Basis für die Bemessung zugelassen. Diese Methoden erlauben eine unmittelbare Berücksichtigung der Unsicherheiten aus der Kennwertermittlung in Form eines Variationskoeffizienten. Eine kürzlich vorgeschlagene Erweiterung dieser Methoden (Tafur, Ziegler, 2022) liefert einen praktischen Leitfaden für den Umgang mit diesen Unsicherheiten bei der Ermittlung der Kennwerte als Basis für die geotechnische Bemessung.

## Literaturverzeichnis

- DIN EN ISO 17892-10:2019-04, Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Laborversuche an Bodenproben Teil 10 direkte Scherversuche.* Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- prEN 1997-1:2022-10 (2022). Eurocode 7: Geotechnical Design - Part 1: General Rules.* Draft.
- Boley, C. (2012). *Handbuch Geotechnik: Grundlagen - Anwendungen - Praxiserfahrungen.* Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Erik Schwiteilo, I. H. (2018). *Bewertung von Scherversuchen aus Vergleichsuntersuchungen an feinkörnigem Boden.* Institut für Geotechnik, Technische Universität Dresden.
- Kolybas, D. (2019). *Geotechnik.* Springer Vieweg Berlin, Heidelberg.
- Fu, W., Zheng, X., Lei, X. & Deng, J. (2015) *Using a modified direct shear apparatus to explore gap and size effects on shear resistance of coarse-grained soil.* *Particle Technology* 23, S. 82–89.
- Guo, Ning; Zhao, Jidong (2013): *The signature of shear-induced anisotropy in granular media.* *Computers and Geotechnics* 47, S. 1–15.
- Miura, S. & Toki, S. (1982) *A Sample Preparation Method and its Effect on Static and Cyclic Deformation-Strength Properties of Sand.* *Soils and Foundations* 22, S. 61–77.
- Tafur, E.; Ziegler, M. (2022) *Harmonisierung in der Geotechnik – eine statistische Methode zur Ermittlung der repräsentativen Werte geotechnischer Kenngrößen unter Berücksichtigung von Vorinformationen.* *Geotechnik* 45, S. 178–196.

# Galvanische Goldabscheidung aus cyanid-freien Goldelektrolyten

Tobias Schürer<sup>1</sup>, Lars Lehmann<sup>2</sup>

1 Hochschule Mittweida  
2 TU Chemnitz

## Einleitung

Das Vergolden für dekorative Anwendungen ist historisch weit bekannt. Seit dem 19. Jahrhundert gewinnt die funktionelle Vergoldung immer mehr an Bedeutung. Den größten Anteil der funktionellen Vergoldung nimmt die Mikroelektronik ein. Gold zeichnet sich durch seine chemische Stabilität, der hohen elektrischen sowie hohen Wärmeleitfähigkeit und der guten Bond- und Lötbarkeit aus. Goldschichten werden in Hart- und Feingoldschichten unterschieden. Hartgoldschichten sind Legierungen und bestehend einerseits aus Gold und andererseits aus einem Legierungsmetall wie Eisen, Kobalt oder Nickel. Diese Schichten besitzen eine höhere Verschleißbeständigkeit, weshalb sie bei Steckkontakten zum Einsatz kommen. Feingoldschichten wiederum sind reine Goldschichten. Diese finden Anwendung beim Golddrahtbonden als zuverlässige Methode für die Anbindung von Mikrochips an das Gehäuse oder auch direkt auf der Platine. In Abbildung 1 ist eine Übersicht der eingesetzten Goldelektrolyte dargestellt.

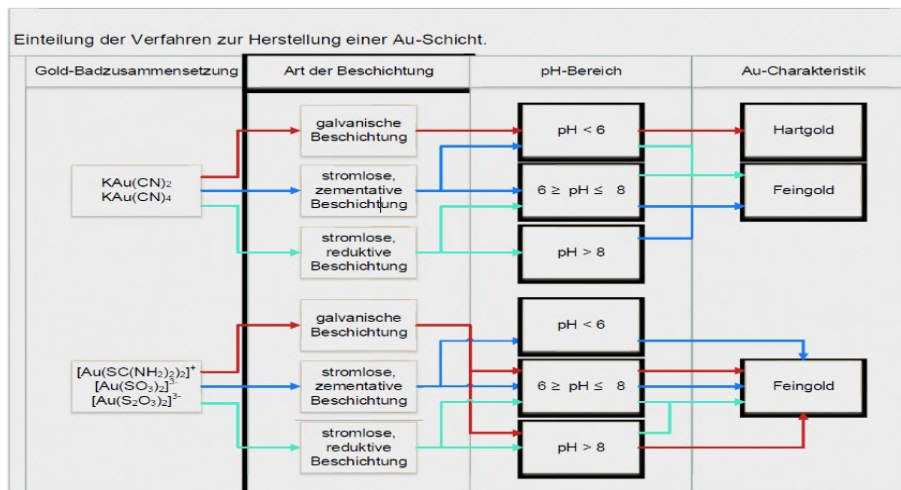


Abbildung 1: Einteilung der Vergoldungsverfahren [7]

## Eigenschaften cyanidischer Goldelektrolyte

Überwiegend wird bei den in der Abbildung 1 beschriebenen galvanischen Beschichtungsverfahren Kaliumgold(I)cyanid ( $\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ ) als Ausgangskomponente eingesetzt. Der Grund ist die gute Stabilität solcher Komplexe, wodurch eine prozesssichere Abscheidung gewährleistet wird.

Tabelle 1 zeigt ausgewählte Au(I)Komplexe mit deren Stabilitätskonstanten ( $\lg K_D$ ) und Standard-elektrodenpotenziale ( $E^0$ ) gegen die Normalwasserstoffelektrode (NWE). Die Angaben in der Tabelle zeigen deutlich, dass kein anderer Komplexbildner die hohe

Komplexbildung des Goldcyanids und damit verknüpft das stark negative Potential erreicht. Der zweitstabilste Komplex ist der Gold-Cystein-Komplex. Dieser Goldkomplex soll synthetisiert werden und für galvanische Beschichtungsversuche getestet werden.

Tabelle 1: Ausgewählte Au(I)-Komplex-Stabilitätskonstanten und Standardpotenziale; \*tu-thioharnstoff [1]

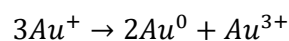
AU(I)-KOMPLEX	LG K <sub>b</sub>	E <sup>0</sup> (V) VS. NWE
[Au(CN) <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	38,7	-0,595
[Au(Cysteinate) <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	31,1	-0,144
[Au(tu*) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>	22,2	0,380
[Au(SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup>	26,8	0,111
AuBr <sub>2</sub> <sup>-</sup>	12,4	0,960
Au <sup>+</sup>	-	1,695

Der Goldsulfid-Komplex besitzt ebenfalls eine hohe Komplexbildung, hat aber einige Nachteile, wie fehlende Langzeitstabilität und ungünstiger pH-Arbeitsbereich, welche im nächsten Kapitel beschrieben werden.

Die Nutzung von cyanidhaltigen Elektrolyten ist mit einem erhöhten behördlichen Mehraufwand verbunden, da Cyanid ein sehr hohes Gefährdungspotenzial darstellt. Außerdem ist eine gesonderte Abwasserbehandlung durchzuführen. Dadurch fallen für die Unternehmen insgesamt Mehrkosten, bei der Verwendung von cyanidhaltigen Elektrolyte, an. Während des Beschichtungsprozesses wird Cyanid freigesetzt und kann in der Leiterplattenfertigung zum Underplating führen, da freiwerdendes Cyanid den Photoresist angreift und diesen unterwandert, wodurch Bereiche beschichtet werden, die nicht beschichtet werden sollten (Underplating) [2] [3]. Die Synthesen von neuen Goldkomplexen, die in cyanidfreien Elektrolyten verwendet werden können, stellen somit ein großes Forschungsfeld dar. [4]

### Alternative Gold(I)-Elektrolyte

Kommerzielle Sulfidbäder als Alternative zu cyanidhaltigen Goldelektrolyten sind verfügbar und werden von Fachfirmen angeboten (Micorchemicals GmbH; Metakem). Sulfidische Goldelektrolyte arbeiten im pH-Bereich von  $\geq 8$ , da sie bei niedrigeren pH-Werten instabil sind. Generell zeichnen sich diese Goldelektrolyte durch eine mangelnde Langzeitstabilität aus, da es zur Disproportionierung der Gold(I)-Ionen kommen kann.



Verwendung finden sulfidische Goldbäder bei Nischenanwendungen, wie z. B. zur Herstellung von Absorberstrukturen für die Röntgentiefenlithografie. Ausgehend von dem Syntheseweg des Dithioharnstoff-Gold(I)-Methansulfonats-Komplexes konnten neue Gold(I)-Komplexe synthetisiert werden, in dem die Methansulfonsäure (MSA) durch andere Säuren substituiert wurde. So konnte zum Beispiel mithilfe von Amidosulfonsäure ein Salz hergestellt und weiter untersucht werden. Bei diesen Versuchen wurde weiterhin Thioharnstoff als Komplexbildner verwendet. Die Substitution des Thioharnstoffs mit



alternativen Komplexbildnern (Selenharnstoff, Kalium-Xanthogenat, Natrium-diethyl-dithiocarbamat) konnten bisher nicht erfolgreich durchgeführt werden. Neben der elektrochemischen Synthese bieten sich auch nasschemische Synthesewege zur Darstellung von Goldkomplexen an.

### **Alternative Gold(III)-Elektrolyte**

Eine aus der Golderzlaugung bekannte Möglichkeit ist der Einsatz von N-bromosuccinimide (NBS) und Pyridin. [5] Durch die Oxidation und Komplexierung des Gold(III)-Ions kann das Gold in Lösung gebracht werden. [6] Dieses Verfahren stellte sich als ungeeignet heraus, da die Lösungsgeschwindigkeit sehr gering war und eine galvanische Abscheidung mit diesem Gold-Pyridin-Bromid-Komplex nicht realisiert werden konnte. Ein weiterer nasschemischer Syntheseweg ist die Auflösung des Goldes in Königswasser mit einer folgenden Umkomplexierung. Hierbei ist es wichtig, dass der Ligandenaustausch möglichst komplett abläuft, da Chloride in der Galvanik unerwünschte Reaktionen auslösen können. Versuche mit Cystein und 5,5-Dimethylhydantoin (DMH) zeigen großes Potenzial für eine weitere Elektrolytentwicklung. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine mit DMH additierte Gold(III)-Lösung für die Goldabscheidung, bei einem pH-Wert 6, auf Platin geeignet ist. Der Gold-DMH-Komplex sowie der Gold-Cystein-Komplex sollen isoliert und anschließend weiter charakterisiert werden. Außerdem werden die weiteren Parametereinflüsse auf die galvanische Goldabscheidung untersucht.

Prinzipiell können weitere Komplexbildner z. B. Mercaptoverbindungen zur Umkomplexierung mit Tetrachlorogoldsäure genutzt werden. Aber auch Vertreter aus der Arzneimittelbranche, wie Natriumgold(I)thiomalat (Tauredon) oder Goldthioglucose (Solganol) sind Komplexe, die als Ausgangskomponente für die Elektrolytentwicklung durchaus ein Nutzungspotenzial darstellen.

### **Literaturverzeichnis**

- [1] C. Elschenbroich, in Organometallchemie, Springer-Verlag, 2009, pp. 246-250.
- [2] T. A. Green, „Gold electrodeposition for microelectronic, optoelectronic and microsystem applications,“ Gold Bulletin, pp. 105-114, June 2007.
- [3] S. Dimitrijević, M. Rajčić-Vujanović und V. Trujic, „Non-Cyanide Electrolytes for Gold Plating – A Review,“ International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, pp. 6620-6646, 2013.
- [4] P. Kichigin, „Non-cyanide electrolytes for gold plating-a review,“ Journal Electrochemistry, pp. 6620-6646, 2013.
- [5] H. S. W.-J. L. B. G. X. D. X. Z. a. P. Y. Chunlin Yue, „Environmentally Benign, Rapid, and Selective Extraction of Gold from Ores and Waste Electronic Materials,“ Angewandte Chemie, pp. 9459-9463, 2017.
- [6] P. Yang und X. Zhang, „Nucleic acid-mediated gold oxidation: novel biolithography for surface microfabrication and new insight into gold-based biomaterials,“ The Royal Society of Chemistry, pp. 8787-8789, 2012.

[7] D. R. Ehnert, Synthese von Gold(I)-Dithioharnstoff-Methansulfonat und dessen Anwendungsmöglichkeiten, Chemnitz: Technische Universität Chemnitz, 2020.

# Konzeption und Entwicklung eines Systems zur automatischen Erfassung und Auswertung des Gebäudebaufortschritts ohne aktive Begehung der Baustelle

Lisa Schneeweiß<sup>1</sup>, Maria Schweigel<sup>1</sup>, Christian Hofmann<sup>2</sup>, Jörg Franke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Schmalkalden

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

## Abstract

Bei jedem Bauvorhaben ist eine genaue Planung des Bauwerks ebenso essenziell, wie eine lückenlose Dokumentation über den Baufortschritt und die frühzeitige Erkennung von Baufehlern. Bisher müssen dafür aufwendige und personalintensive Begehungen geplant und durchgeführt werden. Im Zuge dieser müssen der Bauherr und die Bauausführenden den geplanten Bau mit dem tatsächlich vorliegenden Bau händisch vergleichen. Auch die, durch die Digitalisierung der Gebäudedaten zur Verfügung stehenden, Software-Tools ermöglichen bisher noch keinen vollautomatischen Abgleich. In dem Forschungsprojekt BauKIRo – „Automatische Überwachung des Baufortschritts durch Anwendung von Künstlicher Intelligenz und Robotik“ soll ein autonomer Flugroboter entwickelt werden, dessen Aufnahmen des Gebäudeinnenbereichs zur automatischen und objektiven Überprüfung des Baufortschritts genutzt werden können und die diesen mittels Künstlicher Intelligenz vollautomatisch auswertet und dokumentiert.

## 1. Nutzen und Einsatz

Die Probleme im Gebäudebau sind vielfältig. Baufehler können leicht entstehen, verursachen aber hohe Kosten, da ihre Behebung oft viel Zeit und viele Ressourcen benötigt. Laut einer Umfrage des BauInfoConsult aus dem Jahre 2015 schätzen Architekten und Bauunternehmen den Fehlerkostenanteil durchschnittlich auf 14%. Dazu zählen unter anderem auch Ausführungs- und Montagefehler. Dies würde bei einem baugewerblichen Gesamtumsatz von 106,7 Milliarden im Jahr 2015 einer Schadenssumme von fast 14,1 Milliarden Euro entsprechen (IFB Bauforschung, 2018) (statista, 2023). Tendenziell steigen die absoluten Schadenskosten durch den Anstieg der Zahl der Bauvorhaben, da unter anderem dem aktuell herrschenden Wohnungsmangel begegnet werden muss (Bocksch, 2023). Erschwerend kommt hinzu, dass eine Vielzahl an Gewerken und Unternehmen an dem Bau eines Objekts beteiligt sind. Zudem fehlen Fachkräfte und die Bauvorhaben werden immer komplexer. Eine kontinuierliche und engmaschige Dokumentation des Baufortschritts und die frühzeitige Erkennung von Baufehlern, Mängeln oder Abweichungen von den Planungsdaten ermöglicht es, Kosten und Zeit einzusparen sowie Ressourcen zu schonen. Dies ist jedoch aktuell sehr personal- und zeitintensiv. Die so einsparbaren Ressourcen liefern jedoch einen weiteren guten Grund für die Verbesserung der Überwachung und Dokumentation, haben doch Lieferengpässe und fehlendes Baumaterial in den letzten Jahren viele Bauvorhaben zusätzlich belastet.

Durch einen automatisierten Abgleich der Ist-Daten (as-build-data) mit den Soll-Daten (as-planned-data) lassen sich Baufehler, wie vergessene Stromanschlüsse oder fehlende, aber benötigte Löcher für Belüftungen in Wänden frühzeitig entdecken. Anschließend können diese Mängel zeitnah und kostengünstiger behoben werden. Wird der Fehler erst bemerkt, nachdem die Wand bereits fertig aufgebaut, verbaut und verputzt ist, sind die entstehenden Kosten und der Aufwand der Fehlerbehebung viel höher. Zusätzlich steigt durch die nötige Fehlerbehebung auch die Bauzeit.

Zudem ist der automatische Vergleich der Ist-Daten mit den Soll-Daten durch eine KI deutlich objektiver und ermöglicht damit eine bessere Dokumentation des tatsächlichen Baufortschritts. So kann im Anschluss an die Erkennung des Baufortschritts die weitere Vorgehensweise schnell und datenbasiert beschlossen werden. Zudem gewährt dieser Vergleich eine erhöhte Kosten- und Terminalsicherheit. Durch die objektive Auswertung wird die Kommunikation aller Beteiligten vereinfacht, Unstimmigkeiten zwischen den verschiedenen Wahrnehmungen der unterschiedlichen Bauteilnehmer können einfacher geschlichtet werden und deren Ansichten vereint. So entstehen weniger Diskrepanzen zwischen den beteiligten Bauherren, den Bauausführenden, den Auftraggebern und Sponsoren.

## **2. Konzept und Zielstellung**

Im Laufe des kooperativen Forschungsvorhaben BauKIro der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Hochschule Schmalkalden soll ein autonomer Flugroboter entwickelt werden, der selbstständig durch verschiedene Baustellen manövrieren kann und dabei die Umgebung mit mehreren Sensoren aufnimmt. Anschließend sollen mit Hilfe dieser Sensordaten ein automatischer Abgleich der Ist-Soll-Daten durchgeführt werden und mögliche Abweichungen vom Bauplan diagnostiziert werden. Zudem sollen diese Daten den nächsten Flug des Roboters verbessern und den Baufortschritt dokumentieren.

Das entstehende Gesamtkonzept soll zukünftig Bauunternehmer bei einer digitalen Dokumentation ihrer Bauvorhaben unterstützen und Ihnen zudem die Überprüfung der termingerechten Baufortschritte erleichtern. So kann zukünftig besser geplant werden, die Termine im Bau besser und objektiver überprüft werden und zudem insgesamt günstiger und ressourcenschonender gebaut werden.

### **2.1 Der autonome Flugroboter**

Im Rahmen des Vorhabens soll ein autonom fliegender Multikopter zum Einsatz kommen, der die ihm gegebene Aufgabe der Erfassung des Bauzustandes selbstständig bewältigen kann. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die kollisionsfreie Wegfindung und die Lokalisierung innerhalb des Gebäudes dar. In Innenräumen von Baustellen kann sich in der Regel nicht auf externe Lokalisierungsverfahren mittels Funk oder GPS verlassen werden, sodass hier eine andere Lösung gefunden werden muss. Ein vielversprechender Lösungsansatz ist die visuell-inertiale Odometrie (VIO) in Verbindung mit Algorithmen zur gleichzeitigen Positionsbestimmung und Kartenerstellung (engl. simultaneous localization and mapping (SLAM)). Dieser Ansatz soll mit Hilfe semantischer Informationen aus Planungsdaten des Bauvorhabens (BIM) verbessert werden.

Eine zusätzliche Herausforderung stellt die Unvorhersehbarkeit jeder Baustelle dar. Neben beweglichen Hindernissen (Leitern, Werkzeug, Baumaterial), stellen auch statische, für den sicheren Bau unverzichtbare Objekte, wie Gerüste und Sicherungen ein potenzielles Problem dar. Sie verdecken große Bereiche der Wände und erschweren dem Roboter so die Orientierung. Zusätzlich können auch Staubwolken und ähnliches auftreten, welche den Multikopter stören können. Daher muss der Flugroboter auch verschiedene potenzielle Gefahren erkennen können und Lösungs- und Vermeidungsstrategien automatisch ausführen, ohne dabei seine Aufgabe zu vernachlässigen. Dies wird ihm durch seine Flugfähigkeit erleichtert, allerdings birgt diese auch zusätzliche Gefahren. So muss der Flugroboter ständig seine gesamte unmittelbare Umgebung überwachen, um Zusammenstöße, Unfälle und Abstürze zu verhindern. Dafür soll der Flugroboter mit verschiedenen Kameras und Sensoren ausgestattet werden, die gleichzeitig auch den Bauzustand aufnehmen. Neben der Lösung des Problems der unvorhersagbaren Bodenbedingungen ermöglicht das Fliegen aber auch einen mühelosen Wechsel zwischen den verschiedenen Ebenen der Baustelle.

Gleichzeitig muss aber auch darauf geachtet werden, dass der Flugroboter nicht zu schwer, nicht zu teuer und nicht zu groß wird. Bei zu hohen finanziellen Kosten für Anschaffung und Betrieb des Multikopters würde die Lösung für einen Großteil der Endanwender nur eingeschränkten bzw. keinen Mehrwert bieten.

## **2.2 Der automatische Abgleich und die Dokumentation**

Die von dem autonomen Flugroboter aufgenommenen Daten sollen im weiteren Verlauf zeitnah mit den Erwartungen des Baustellenzustandes verglichen werden. Dazu soll das BIM (Building Information Modell), ein digitales Model des Bauwerks, welches alle für seinen Lebenslauf relevanten Informationen und Daten enthält, verwendet werden. In einem BIM können alle Daten, die für das Bauvorhaben wichtig sind und wichtig werden, gemeinsam abgespeichert und visualisiert werden. So enthält es neben den Plänen der Architekten unter anderem auch die des Elektrikers und des Haustechnikers. Ebenso kann die Baureihenfolge geplant und eingespeichert werden. Es stellt eine sogenannte „Single Source of Truth“ dar. Darüber hinaus erleichtert es die Abstimmung der einzelnen am Bau beteiligten Unternehmen, sowie die spätere Instandhaltung, eine mögliche Renovierung und Reparaturarbeiten für die Zukunft des Bauwerks. Auch bei dem potenziell nötig werdenden Rückbau kann ein solches BIM helfen. Bereits 2015 wurde im Stufenplan Digitales Planen und Bauen das Ziel formuliert, dass ab Ende 2020 für jedes neu zu planende Bauvorhaben im Verkehrsinfrastrukturbau ein BIM Model verwendet werden soll (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015). 2022 wurde angekündigt, dass ab 2025 BIM neben dem Schienenbereich auch im Bundesfernstraßenbau standardmäßig eingesetzt werden (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022).

Aus dem BIM entstehen die Soll-Daten (as-planned), die mit den, aus den Sensordaten des Flugroboters gewonnenen, Ist-Daten (as-build) verglichen werden. Dazu soll einerseits eine Objekterkennung mittels eines Deep-Neural-Networks aus dem aufgezeichneten Videomaterial erfolgen. Diese soll sowohl die zu bauenden Objekte wie Fenster, Türen, Stützpfiler, Lüftungskanäle, Rohre und Stromanschlüsse erkennen und lokalisieren können, als auch die zu erwartenden Störobjekte einer Baustelle wie an der Wand lehrende Leitern, Werkzeuge und Maschinen, aber auch herumliegendes Material und Gerüste erkennen. Die Erkennung der erbauten Objekte soll der Dokumentation des

Baufortschritts dienen, während die Erkennung der Störobjekte die Genauigkeit erhöhen soll. So können erkannte Störobjekte aus dem im nächsten Schritt entstehenden 3D-Modell herausgerechnet werden und damit den Abgleich der Soll- und Ist-Daten erleichtern. In den Ist-Daten erkannte Objekte sind vorhanden und nicht gefundene Objekte aus den Soll-Daten können als fehlend markiert werden, sodass eine manuelle Überprüfung des potenziellen Fehlers angestoßen werden kann. Um den Baufortschritt dokumentieren zu können, werden aus den Soll- und den Ist-Daten sogenannte „Punktwolken“ erstellt, welche ebenfalls die dreidimensionale Umgebung abbilden und diese anschließend mit Methoden des maschinellen Lernens verglichen. So können auch nicht abgeschlossene Objekte erkannt und genau dokumentiert werden. Je mehr übereinstimmende Punkte gefunden werden, desto weiter ist der Baufortschritt, sodass auch eine noch nicht vollständige Wand erfasst werden kann. Zusätzlich ermöglicht dieser Vergleich eine genaue Angabe, wie weit der Bau des Objekts fortgeschritten ist. Dennoch birgt die hochdynamische Arbeitsumgebung einer Baustelle mit den vielen potenziellen Störobjekten unterschiedlichster Größen und Beschaffenheiten große Herausforderungen, da sie die zu erkennenden Oberflächen teilweise oder gänzlich verdecken. Zusätzliche Herausforderungen werden die hohe Individualität der verschiedenen Bauwerke, eine genaue Erkennung bzw. Errechnung der Tiefeninformationen, sowie die hohe Abhängigkeit der Ist-Daten von der genauen Position des Flugroboters in der Baustelle darstellen.

### 3. Fazit

Bei Gelingen des Forschungsprojektes stehen Bauunternehmen in Zukunft kraftvolle neue Werkzeuge zur Verfügung, mit denen Fehler frühzeitig erkannt werden können. Gleichzeitig kann die Dokumentation des Baufortschrittes leichter und qualitativ aufgewertet durchgeführt werden. Dies ermöglicht es im Idealfall sowohl Materialkosten als auch Zeit und Personalaufwand zu reduzieren. Zudem erleichtert die objektive Feststellung des Baufortschrittes die Kommunikation aller am Bau beteiligten Parteien.

### Quellen

Bocksch, R. (12. Jan 2023). *Wohnungsbau: So geht es in den Ländern voran*. (statista, Herausgeber) Abgerufen am 26. Jan 2023 von statista:  
<https://de.statista.com/infografik/29096/fertiggestellte-wohnungen-je-10000-einwohner-und-bundesland-in-deutschland/>

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (06. Jul 2022). *Bundeskabinett beschließt Digitalisierungsmaßnahmen zur Planungs- und Genehmigungsbeschleunigung*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von  
<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2022/046-bundeskabinett-beschliesst-digitalisierungsmassnahmen.html>

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (Dez 2015). *Stufenplan Digitales Planen*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von  
[https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile)

IFB Bauforschung. (30. Sep 2018). *Analyse der Entwicklung der Bauschäden und der Bauschadenskosten – Update 2018*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von  
[https://www.aia.de/fileadmin/AIA/Service\\_Kunden/Dokumente/pdf/Analyse\\_de](https://www.aia.de/fileadmin/AIA/Service_Kunden/Dokumente/pdf/Analyse_de)

r\_Entwicklung\_der\_Bauschaeden\_und\_der\_Bauschadenkosten\_  
\_Update\_2018.pdf

statista. (2023). *Umsatz im gewerblichen Hochbau in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2021*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252817/umfrage/umsatz-im-gewerblichen-tiefbau-in-deutschland/>

*Dieses Forschungsvorhaben wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (IGF-Vorhaben Nr.: 22223 BG).*

# **Erfahrungen mit der Entwicklung und Nutzung eines hybriden Remote-Labors im Bereich Robotik für Bildung und Lehre**

Torsten Wieck, Prof. Christian Bunse

Hochschule Stralsund, Zur Schwedenschanze 15, 18435 Stralsund

## **Abstract**

Für die MINT-Lehre sind traditionell anwesenheitspflichtige Laborveranstaltungen ein wesentlicher Bestandteil. Sie bieten den Studenten die Möglichkeit, ihr erworbenes Wissen zu vertiefen und für das Lösen spezifischer Problemstellungen anzuwenden. Allerdings weisen diese Art von Laborveranstaltungen erhebliche Defizite im Ressourcenmanagement (Personal, Zeit und Ausrüstung) auf. Diese Arbeit stellt die laufenden Entwicklungen und ersten Erkenntnisse des DistLab Projekts an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Stralsund dar. Mithilfe von DistLab wird eine übertragbare Konzeption für hybride Remote-Labore in der MINT-Ausbildung entwickelt und untersucht. Die hybriden Fernlabore beinhalten die Kombination aus fern-steuerbaren Systemen, die ortsabhängig sind, deren Bearbeitungen und Untersuchungen jedoch ortsunabhängig stattfinden. Aufgrund der physisch vorhandenen Systeme sind die Laborversuche auch in Präsenz durchführbar, was die Vielseitigkeit des Prüfstands steigert und den Studenten zusätzlich eine hands-on Mentalität ermöglicht. Die echtzeitfähige Kopplung zwischen Studenten und Labor gewährleistet eine sofortige Reaktion und Behebung von Fehlern, sobald diese auftreten. Erste Zwischenergebnisse, die mittels eines questionnaire generiert wurden, haben gezeigt, dass die Ressourcenunabhängigkeit dieses Laborkonzeptes, die Lerninhalte flexibler und uneingeschränkter für den Studenten bereitstellt. Allerdings erfordert diese Flexibilität ein hohes Maß an Selbstdisziplin und Selbst-Organisation von den Studenten.

## **1. Motivation/Problemstellung**

Klassische Präsenzlabore sind ein essenzieller Bestandteil der Hochschullehre und sind besonders in den MINT-Fächern ein wesentliches Mittel, um theoretisch erworbenes Wissen praktisch anzuwenden. Im Zuge der COVID-19-Pandemie ist die ohnehin im Fokus stehende Digitalisierung eine große Herausforderung im tertiären Bildungsbereich. Ein wesentlicher Schritt bei der Digitalisierung ist die Virtualisierung von Laborveranstaltungen, um den Fernzugriff (bspw. Via Internet) zu ermöglichen (Cao et al., 1998). Die sogenannten Remote-Labore sind softwarebasierte Labore, die es den Studenten ermöglicht extern auf Standortgebundene reale Geräte zuzugreifen. Remote-Labore bieten die Möglichkeit Ressourcen (Personal, Laborausrüstung) optimiert einzusetzen, mit dem Ziel ähnliche Erfahrungen und Lernfortschritte wie bei traditionellen Präsenzveranstaltungen zu realisieren (Lindsay & Good, 2005). Aufgrund der Vielzahl an bereits vorhanden Remote-Labor Konzepten, die spezifisch nach dem Anwendungsfall und den technischen Gegebenheiten vor Ort ausgerichtet sind, ist eine Übertragbarkeit oft nicht möglich. Neben technischen Restriktionen stellen unterschiedliche ortsabhängige Bestimmungen (IT-Sicherheit, Netzwerkkommunikation) eine



Herausforderung dar. Diese Problematik führt zu Insellösungen, sodass kein allgemeingültiges Konzept für die Umwandlung und Implementierung von Präsenz-labore in Remote-Labore vorliegt.

## 2. Die DistLab-Vision

Der im DistLab Projekt untersuchte Ansatz beinhaltet die Virtualisierung und Evaluierung von Distanzlaboren im ingenieurwissenschaftlichen Bereich. In Abbildung 1 sind die zwei Konzeptideen: Hybrid-Labore und Virtuelle-Labore dargestellt. In der vorliegenden Arbeit wird die laufende Konzipierung für ein Hybrid-Labor an der Hochschule-Stralsund (Fakultät Elektrotechnik und Informatik) erläutert und erste Zwischenergebnisse präsentiert.

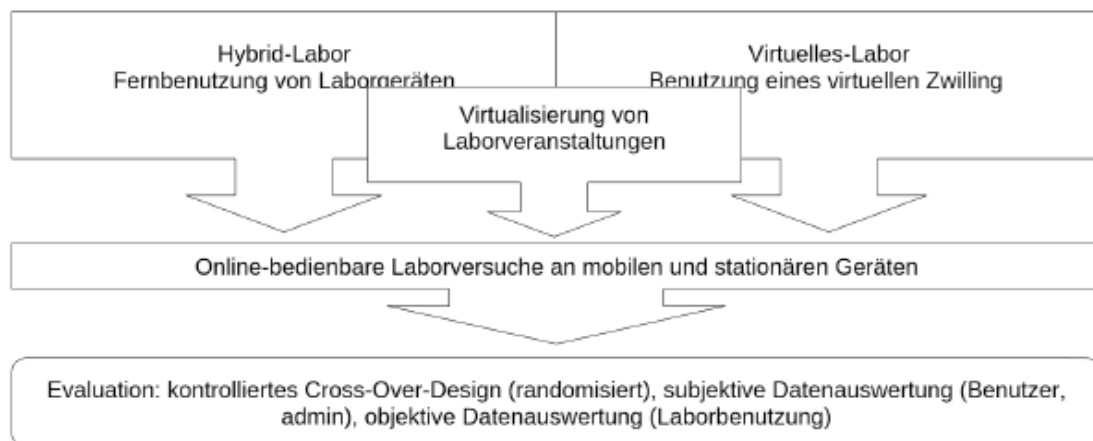


Abbildung 1: DistLab Virtualisierungs- und Evaluierungsstrategie

## 3. Ausrichtung und Aufbau des Hybrid-Labor

Aus dem MINT-Bereich heraus ist der Prüfstand für Bachelor- und Masterstudiengänge (Bachelor im höheren Semester) im IT-Sektor konzipiert. Problemstellungen Autonomer Systeme und Robotik können mit dem Prüfstand untersucht werden. Neben der Erfahrung mit dem Umgang solcher modernen Systeme sind die Lehraufgaben so ausgerichtet, dass die Nutzer grundlegende Programmierparadigma (OPP) mithilfe bekannter Programmiersprachen (Python, C++) zum Absolvieren der Prüfversuche anwenden. Der Prüfstand (Abbildung 2) basiert auf dem jährlich stattfindenden Turtlebot AutoRaceChallenge (2020 Version) Wettbewerb, bei dem mobile Roboter einen definierten Kurs absolvieren, der verschiedene Szenarien des autonomen Fahrens abbildet. Die Aufgabe ist es, den Kurs möglichst schnell und fehlerfrei zu durchlaufen. Die Aktionsfläche des Prüfstands ist flexibel gestaltet, sodass neue Kurse und Problemstellungen entwickelt und untersucht werden können.

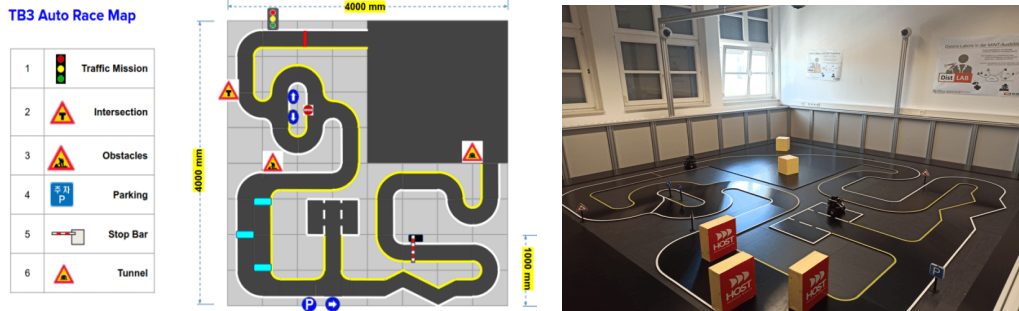


Abbildung 2: Links: Turtlebot AutoRaceChallenge 2020 Schema Rechts: Prüfstand Hochschule Stralsund

Als Untersuchungs- und Entwicklungsplattform wird der ROS2-basierte Turtlebot3 Roboter verwendet. ROS (Robot Operating System) ist ein OS-Framework, welches Betriebssystem-Funktionen und Software-Werkzeuge beinhaltet, um Roboter effizient zu programmieren. Die einzelnen Aufgabenstellungen (Parken, Tunnel etc.) werden mithilfe von dem Roboter bereitgestellten Kamera- und 2D-Lidar-Sensordaten programmieretechnisch gelöst. Der als Präsenzversuch konzipierte Prüfstand lässt sich durch gezielte Modifikation zum Remote-Labor virtualisieren. Das beinhaltet die Erweiterung durch IP-Kameras sowie die Umstrukturierung der Nutzer-Roboter Kommunikation auf Fernzugriff (Bunse & Wieck, 2022).

#### 4. Realisierung

Die erfolgreiche Realisierung des vorgestellten DistLab Konzepts beruht auf der Netzwerkkonstruktion und dem Managementsystem. Bei der Kommunikations- und Applikationsinfrastruktur setzt DistLab auf ein zentralisiertes Hosting aller eingesetzten Komponenten durch das Hochschulrechenzentrum (Abbildung 3). Aufgrund der Struktur wird ein sichererer und performanterer Zugang zum Prüfstand gewährleistet. Gleichzeitig müssen die Nutzer keine zusätzliche Software installieren und bestimmte Geräteanforderungen für die Benutzung des Prüfstands bereitstellen, da bei der Versuchsdurchführung virtuelle Maschinen (Linux-basierend) zum Einsatz kommen.

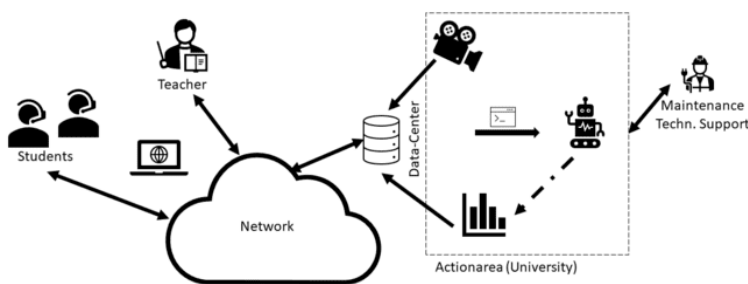


Abbildung 3: DistLab Architektur Hybrid-Labor (Bunse, 2021)

Das derzeit in Entwicklung stehende Managementsystem übernimmt die Nutzerverwaltung und die Zugriffskontrolle sowie die Ressourcenreservierung im Hybrid-Labor. Technisch gesehen, baut das Management-System auf das WebLab-Deusto Framework auf (Orduna, 2013) und erfolgt in Zusammenarbeit mit LabsLand. Neben der Instanziierung von Remote-Laboren bietet das Framework die Verbundmöglichkeit mit anderen Laboren sowie die Bereitstellung für entfernte Institutionen. Derzeit läuft eine Testphase, in der das Hybrid-Labor Studierenden der TU

Freiberg bereitgestellt wird an. Des Weiteren ermöglicht das Management-System eine dynamische Einbindung von LMS-Plattformen (Moodle) welche den admin seitigen Aufwand reduziert.

## 5. Ergebnisse

Aufgrund der laufenden Arbeit wurde das DistLab Konzept noch nicht vollständig durch eine empirische Studie evaluiert. Eine Vorevaluierung (60 Informatikstudenten (6 Semester Bachelor), 66% Antwortquote) wurde durch einen Fragebogen, der die subjektive Nutzerperspektive aufgreift, durchgeführt und lässt sich in 3 Evaluationspunkte unterteilen. 1. Auswirkung des Hybrid-Labor: 84% der Befragten gaben an, dass die jederzeitige Nutzung des Remote-Labor Ihnen geholfen hat Ihre Lernergebnisse zu verbessern bei geringerem Lernaufwand. 2. Benutzerfreundlichkeit des Hybrid-Labor: 79% gaben an, dass die bereitgestellte Benutzungsumgebung einfach zu bedienen und das Programmiertechnische Testen und Observieren erleichtert. Des Weiteren empfanden 92%, dass der nicht festgesetzte Zeitplan Ihrem eigenen Lerntempo zugutekommt. 3. Betreuung im Hybrid-Labor: Alle Befragten gaben an, dass zum Beginn des Laborversuchs persönliche Unterstützung in Präsenz oder Online zum Umgang mit dem Prüfstand erforderlich sei, aber in den späteren Phasen des Kurses vernachlässigbar ist. Während der Vorevaluierung ist gleichzeitig die echtzeitfähige Performance des Hybrid-Labor getestet worden. Der Netzwerkzugriff und die Kommunikation zum Roboter wurden hierfür mit VPN-Verbindungen realisiert. Die Latenzmessungen im Bildbereich (Entscheidungsfaktor) ergaben eine Verzögerung von 250ms, was dem Anwendungsprofil (weiche Echtzeit) entspricht und eine echtzeitfähige Systemsteuerung des Hybrid-Labors ermöglicht.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit beschreibt das DistLab-Projekt, welches die Konzipierung eines Remote-Labor im Ingenieurtechnischen Bereich untersucht, um ressourcenorientiert komplexe Lehrinhalte einfach und flexibel für Studenten bereitzustellen. Das DistLab Projekt ist als transferierbares und skalierbares Konzept für Remote-Labore in der MINT-Ausbildung anzusehen. Erste Evaluierungsschritte haben gezeigt, dass Remote-Labore den Nutzern eine selbstbestimmte Arbeitsweise ermöglichen auf gleichen Qualitätsniveau wie traditionelle Präsenzlabore. Gleichzeitig konnte die Funktionalität der DistLab-Architektur für das vorgestellte Hybrid-Labor evaluiert werden. Erst eine vollständige Evaluation wird zeigen ob Remote-Labore traditionelle Labore ersetzen können oder ein kombinierbares Zusatzangebot zum traditionellen Labor darstellt.

## Quellen

Bunse, C. (2021). Distanzlabore in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Digitale Bibliothek - Gesellschaft für Informatik e.V.  
<https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/37656>

Bunse, C. & Wieck, T. (2022). Experiences in Developing and Using a Remote Lab in Teaching Robotics. In *2022 IEEE German Education Conference (GeCon)*.  
<https://doi.org/10.1109/gecon55699.2022.9942749>

Cao, Y., Chen, T., Harris, M. P., Kahng, A. B. & Lewis, M. P. (1998). A Remote Robotics Laboratory on the Internet. *Proc. INET-95*.

Lindsay, E. & Good, M. (2005). Effects of Laboratory Access Modes Upon Learning Outcomes. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 619–631.  
<https://doi.org/10.1109/te.2005.852591>

Orduna, P. (2013). Transitive and scalable federation model for remote laboratories.  
[http://www.weblab.deusto.es/pub/dissertation\\_pablo.pdf](http://www.weblab.deusto.es/pub/dissertation_pablo.pdf)

# Additive Herstellung leitfähiger Strukturen auf Basis niedrigschmelzender Metalle mittels FDM-Verfahren

Joshua Voll, Stefan Roth

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Maschinenbau, Blechhammer 4-9, 98574 Schmalkalden

## Abstract

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Bewertung eines Filaments auf Basis niedrigschmelzender Metalle und Kupferfasern. Es konnte ein Filament auf Basis einer Polyethylenmatrix in Kombination mit Kupferfasern und Zinn entwickelt werden. Das Filament besteht zu etwa 82 Vol.-% aus Polyethylen, 11 Vol.-% aus Kupferfasern und 7 Vol.-% aus Zinn und wurde mit einem Durchmesser von 3 mm hergestellt. Anschließend wurde das Filament mit dem 3D-Drucker Ultimaker S5 verarbeitet und zu einfachen Bahnen gedruckt. An diesen Bahnen wurde die elektrische Leitfähigkeit mittels 4-Leiter-Technik gemessen, wobei spezifische Leitfähigkeiten von 2241 S/m erreicht wurden. Weiterhin wurden Untersuchungen der sich ausbildenden Morphologie mittels Computertomographie durchgeführt. Dabei konnte eine Vorzugsorientierung der Kupferfasern in Verarbeitungsrichtung des Druckers bestätigt werden. Das Zinn ummantelt die Kupferfasern und verbindet somit die Kupferfasern miteinander. Die prinzipielle Verarbeitbarkeit von Filamenten auf Basis niedrig schmelzender Metalle und Kupferfasern im FDM-Verfahren konnte anhand erster Untersuchungen bereits nachgewiesen werden.

## 1. Einleitung

Die aktuelle Entwicklung hin zur Elektromobilität erweitert den Bedarf und erhöht im gleichen Maße die Anforderungen an zukünftige elektrische und elektronische Anwendungen. In diesem Zusammenhang erweisen sich elektrisch modifizierte Kunststoffe (EMK) aufgrund ihrer relativ geringen Dichte und niedrigen Verarbeitungstemperaturen als äußerst vorteilhaft. EMK bestehen aus einem elektrisch nicht leitfähigen Kunststoff und elektrisch leitfähigen Füllstoffen. Dadurch ist es möglich, das Material mit den üblichen Kunststoffherstellungsverfahren zu verarbeiten und gleichzeitig eine elektrische Leitfähigkeit zu erreichen. In zahlreichen Publikationen wurden bereits verschiedene EMK hinsichtlich ihrer maximalen Leitfähigkeit und Verarbeitbarkeit im Spritzgießprozess untersucht (Pfefferkorn, 2009; Fragner, 2014). Die vielversprechendste Rezeptur konnte dabei auf Basis niedrigschmelzender Metalle in Kombination mit Kupferfasern erzielt werden. Das so hergestellte EMK erreicht Leitfähigkeiten von  $8,7 \cdot 10^5$  S/m (Pfefferkorn, 2009). Die hohe elektrische Leitfähigkeit ist auf die geringe Grenzflächenspannung zwischen den Kupferfasern und dem niedrigschmelzenden Metall zurückzuführen. Während des Verarbeitungsprozesses lagert sich ein Großteil des Metalls an die Kupferfasern an und umhüllt diese (Hopmann et al., 2011). Dies führt zu einer Verbesserung der Kontaktierung zwischen den Fasern und zu einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit im Kunststoff. Aufgrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit dieser Füllstoffkombination eignet sich diese Rezeptur auch für die Herstellung elektrisch leitfähiger Bauteile mittels additiver Fertigungsverfahren

(AM). Diese gewinnen im Bereich elektrischer und elektronischer Anwendungen aufgrund der Möglichkeit, kundenspezifische Änderungen zeitnah in Prototypen umzusetzen sowie der wirtschaftlichen Herstellung von Einzelteilen zunehmend an Bedeutung (Kaiser, 2020). In diesem Zusammenhang erweist sich das kostengünstige und effiziente additive Fertigungsverfahren Fused Deposition Modeling (FDM) als vielversprechend. Bei diesem Verfahren wird ein vorgefertigter Kunststoffstrang (Filament) durch eine beheizte Düse extrudiert, dort aufgeschmolzen und anschließend entsprechend der eingelesenen Geometrie in X- und Y-Richtung auf der Bauplattform abgelegt. Anschließend wird die Bauplattform um eine Schichtdicke in Z-Richtung verfahren und das Bauteil so sukzessive aufgebaut. Die Untersuchung von EMK auf Basis niedrigschmelzender Metalle und Kupferfasern im FDM-Verfahren ist bisher noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen. Daher wird im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit die prinzipielle Verarbeitbarkeit einer solchen Materialrezeptur für den FDM-Prozess untersucht und der Einfluss des FDM-Prozesses auf die Morphologie und die elektrische Leitfähigkeit analysiert.

## 2. Eingesetzte Materialien und Methoden

Die Kombination von Kupferfaser und niedrigschmelzendem Metall zeigte bereits die höchste elektrische Leitfähigkeit von EMK im Spritzgießprozess. Daher werden diese Komponenten auch für die Filamentherstellung gewählt. Dazu wurden Kupferfasern mit einem Aspektverhältnis von 20 (Länge 0,8 mm, Durchmesser 40 µm) und Zinn in Granulatform mit einem Schmelzpunkt von 237 °C verwendet. Als Matrixkunststoff wurde Polyethylen (PE) mit hoher Dichte (MFI von 4 g/10min) verwendet.

Die Materialien wurden mit dem gleichläufigen Doppelschneckenextruder DSE 20/40 der Firma Brabender GmbH mit einem Schneckendurchmesser von 20 mm zu Filament verarbeitet. Abbildung 1 zeigt die Schneckenkonfiguration und die Materialdosierung.

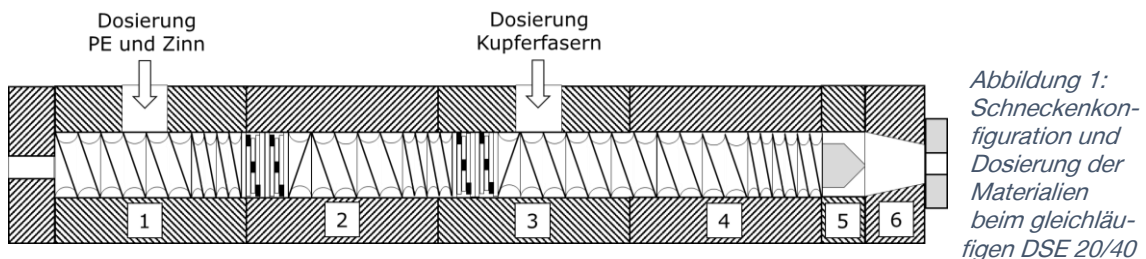


Abbildung 1: Schneckenkonfiguration und Dosierung der Materialien beim gleichläufigen DSE 20/40

Die Matrix (82 Vol.-%) und das Zinn (7 Vol.-%) werden zu Beginn über den Haupttrichter dosiert. Diese durchlaufen zwei Knetblöcke. Dabei werden die Kunststoffmatrix und das Zinn aufgeschmolzen. Die Kupferfasern (11 Vol.-%) werden erst in Zone drei nach den Knetblöcken zugegeben, um einen Faserlängenabbau zu vermeiden. Alle Füllstoffe werden gravimetrisch dosiert. Abschließend wird die Mischung zu einem Strang mit einem Durchmesser von 3 mm extrudiert. Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Parameter des DSE 20/40

Drehzahl in 1/min	Temperatur in °C der Heizzonen					
	1	2	3	4	5	6
200	200	210	220	230	240	240

Das hergestellte Filament wurde anschließend mit dem FDM-Drucker Ultima-

ker S5 zu einfachen Bahnen ( $100 \times 1,5 \times 0,6 \text{ mm}^3$ ) verarbeitet (siehe Abbildung 2). Dabei wurde ein Düsendurchmesser von 1,5 mm verwendet. Zur Definition der Prozessparameter wurde die Software Ultimaker Cura verwendet. Folgende Prozessparameter wurden eingestellt: Schichthöhe 0,6 mm, Düsentemperatur 250 °C, Bauplattentemperatur 110 °C, Verarbeitungsgeschwindigkeit 10 mm/s.



Abbildung 2: Lichtmikroskopische Aufnahme der gedruckten Bahn

An den hergestellten Probekörpern wurde anschließend die elektrische Leitfähigkeit in Druckrichtung gemessen. Dazu

wurde der in Abbildung 3 dargestellte Versuchsaufbau verwendet. Hierbei wird die Probe in eine Vorrichtung eingelegt und mit zwei Kupferelektroden kontaktiert. Die Elektroden haben einen Abstand von  $L = 80 \text{ mm}$  zueinander und werden mit einer Prüfkraft von  $F_E = 10 \text{ N}$  auf die Probe gedrückt. Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte anschließend mittels Vielleitertechnik, die in Abbildung 4 schematisch dargestellt ist. Dabei wird ein konstanter Strom von  $I = 0,1 \text{ A}$  auf den Versuchsaufbau geleitet und die Spannung ( $U$ ) zwischen den Elektroden gemessen.

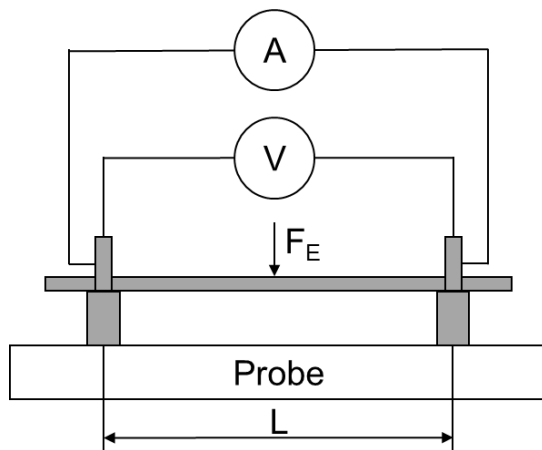


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Charakterisierung der elektrischen Leitfähigkeit

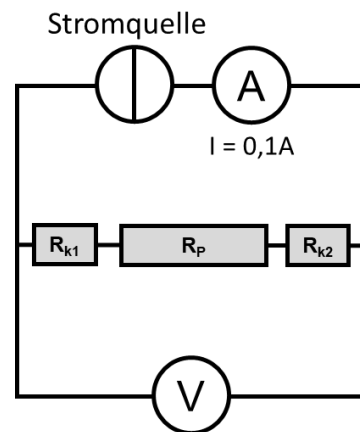


Abbildung 4: Schaltbild zur Charakterisierung der elektrischen Leitfähigkeit

Anschließend wird der Gesamtwiderstand ( $R_m$ ) des Prüfaufbaus mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes berechnet (1). Im nächsten Schritt werden die beiden Elektrodenwiderstände ( $R_{k1}$ ,  $R_{k2}$ ) von  $R_m$  subtrahiert (2), um den Prüfkörperwiderstand ( $R_p$ ) zu ermitteln. Zur Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit (3) wird im letzten Schritt der Kehrwert von  $R_p$  gebildet und mit dem Probenquerschnitt  $A$  und dem Elektrodenabstand  $L$  verrechnet.

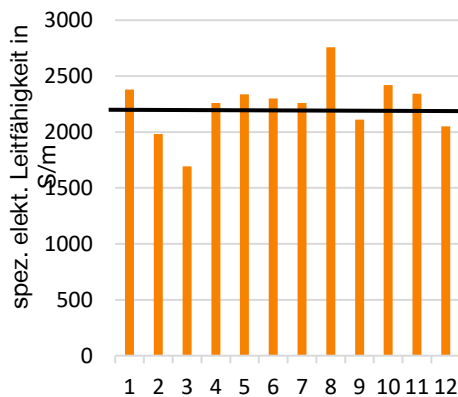
$$R_m = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (1)$$

$$R_p = R_M - R_{k1} - R_{k2} [\Omega] \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1}{R_p \cdot \frac{A}{L}} \left[ \frac{S}{m} \right] \quad (3)$$

Zur Beurteilung der Morphologie wurden mit dem Zeiss Metrotom 800 Computertomographen (CT) aufnahmen der additiv gefertigten Bahnen angefertigt. Die Kupferfasern sind in der Aufnahme orange und das Zinn grau dargestellt (vgl. Abbildung 6).

### 3. Ergebnisse



Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit wurden an 12 Proben durchgeführt. Die Ergebnisse der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit sind in Abbildung 5 zusammengefasst. Im Mittel wurde eine spezifische elektrische Leitfähigkeit von 2241 S/m erreicht. Die Ergebnisse liegen in einem für EMK typischen Toleranzbereich und zeigen  $\sigma$  bereits bei relativ geringen Füllstoffgehalten eine hohe elektrische Leitfähigkeit.

Abbildung 5: Spezifische elektrische Leitfähigkeit der gedruckten Bahnen in Druckrichtung

Abbildung 6 zeigt eine CT-Aufnahme der gedruckten Bahn. Es ist eine bevorzugte Orientierung der Kupferfasern in Druckrichtung zu erkennen. Dies deutet darauf hin, dass die Faserorientierung durch den FDM-Prozess beeinflusst werden kann. Des Weiteren werden die Kupferfasern mit Zinn ummantelt, wodurch zusätzliche Kontaktstellen in der Leitstruktur entstehen. Dieser Effekt führte bereits in Spritzgießversuchen zu einer signifikanten Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit und konnte nun auch für das FDM-Verfahren nachgewiesen werden.

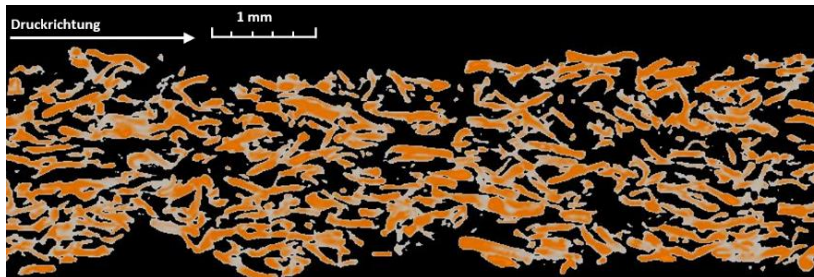


Abbildung 6: CT-Aufnahme der gedruckten Bahn; Kupferfasern orange, Zinn grau

### 4. Fazit und Ausblick

Mit den Untersuchungen konnte bereits die prinzipielle Verarbeitbarkeit von Filamenten auf Basis niedrigschmelzender Metalle und Kupferfasern im FDM-Verfahren nachgewiesen werden. Die Untersuchungen zeigen bereits ein großes Potential hinsichtlich der erreichbaren elektrischen Leitfähigkeit der gedruckten Bauteile. Dies ist vor allem auf die Orientierung der Kupferfasern in Druckrichtung und die zusätzlichen Kontaktstellen durch das Zinn zurückzuführen. Um die elektrische Leitfähigkeit der hergestellten Bauteile weiter zu steigern, muss im nächsten Schritt der Füllstoffanteil von Kupferfasern und Zinn erhöht werden.

### Quellen

Fragner, J. (2014). Elektrisch leitfähige Kunststoffcompounds auf Basis von Füllstoffkombinationen. Dissertation.



Hopmann, C.; Michaeli, W.; Fragner, J. (2011). Analyse und Optimierung der Werkzeug- und Verfahrenstechnik zum Spritzgießen hoch gefüllter Thermoplast-Compounds auf Basis niedrig schmelzender Metalle. Institut für Kunststoffverarbeitung, RWTH Aachen, IGF-Vorhaben Nr. 15259 N.

Kaiser, V. (2020). Additive Fertigung in der elektrischen Verbindungstechnik: Potenziale und Anforderungen. Leitfaden. Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie e.V. Frankfurt.

Pfefferkorn, T. (2009). Analyse der Verarbeitungs- und Materialeigenschaften elektrisch leitfähiger Kunststoffe auf Basis niedrig schmelzender Metalllegierungen. Dissertation.

# Entwicklung eines Phasenschiebers zur Ansteuerung einer Schwingungsanregung im Ringgitterprüfstand Göttingen (RPG)

Marvin Tilgner, Heiko Böhlken

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Institut für Aeroelastik; Bunsenstraße 10, 37073 Göttingen

## Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklung eines Systems zur Phasenverschiebung von magneterregten Ringgitterschaufeln des Ringgitterprüfstandes Göttingen. In diesem werden Turbinenschaufeln in zwangserregte Schwingungen versetzt, um aeroelastische Versuche durchzuführen. Die Ringgitterschaufeln werden zueinander phasenverschoben erregt, die Phasenverschiebung soll einstellbar sein. Der Fokus des Systems liegt auf einer hohen Präzision der Phasenverschiebung und einer analogen Signalzeugung, um Diskretisierungen zu vermeiden.

## 1. Einleitung

Den Ringgitterprüfstand Göttingen (RPG) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt betreibt das DLR-Institut für Aeroelastik am Standort Göttingen. Im RPG können Turbinen- und Verdichterschaufeln untersucht werden. Dabei werden die im Ringgitter befestigten Schaufeln bei einer bestimmten Umströmungsgeschwindigkeit zwangserregt. Mit Hilfe der aus den Versuchen folgenden Ergebnissen werden sowohl numerische Verfahren als auch das physikalische Verständnis von aeroelastischen Problemstellungen verbessert [1].

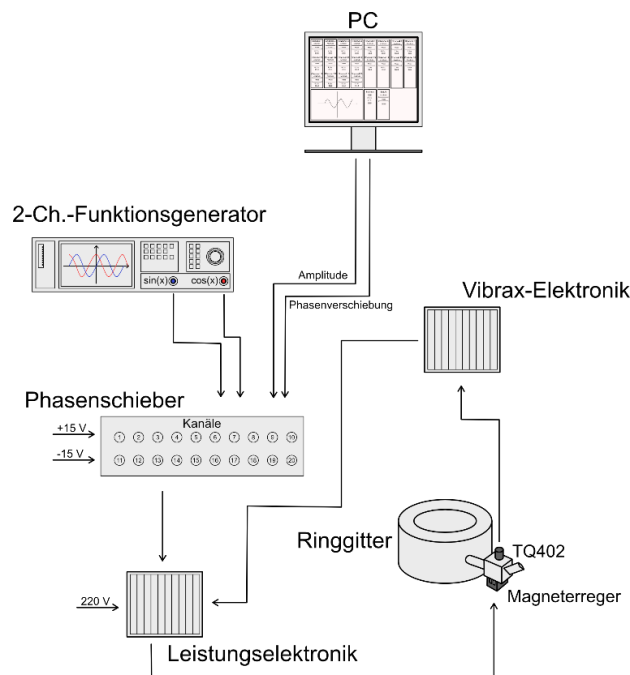


Abbildung 1 Schematische Darstellung vom Aufbau des Gesamtsystems zur zwangserregten Schwingungsanregung einer Ringgitterschaufel.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein System zur Anregung der Ringgitterschaukeln mit einer gewünschten einstellbaren Phasenverschiebung und Amplitude entworfen. Der Windkanal besitzt 20 Ringgitterschaukeln und daher besteht das Gesamtsystem aus 20 baugleichen Schwingungsanregungen, welche alle von einer Anwendung gleichzeitig steuerbar sein sollen. Das erzeugte Signal soll dabei Diskretisierungen vermeiden und für einen bestimmten Frequenzbereich einstellbar sein. Das System zur Steuerung der Phasenverschiebung ist in Abbildung 1 dargestellt. Zentraler Baustein des Gesamtsystems ist ein Arduino, der als Phasenschieber eingesetzt wird. Eine Desktopanwendung dient zur Eingabe und Übermittlung der gewünschten Amplituden und Phasenverschiebungen an den Arduino. Die analogen Signale, welche durch den Phasenschieber verschoben werden, werden von einem zweikanaligen Funktionsgenerator erzeugt. Nach der Signalerzeugung folgt die Leistungselektronik, welche das Signal für die Magneterregung ausreichend verstärkt. Das Resultat wird an die Magneterreger der verschiedenen Kanäle angelegt, womit die Ringgitterschaukeln durch die variierenden Kräfte des Magnetfelds zueinander phasenverschoben zur Schwingung angeregt werden. Die resultierende Schwingung wird vom TQ402, einem berührungslosen Näherungssensor, aufgenommen und an die Vibrax-Elektronik weitergeleitet. Die Vibrax-Elektronik kann als eine Art Messdatenerfassung für die Sensorwerte verstanden werden.

## 2. Konzept

Die Entwicklung eines phasenverschobenen trigonometrischen Signals kann mit Hilfe eines Digital-Analog-Wandlers durchgeführt werden. Dafür wird die benötigte Amplitude der phasenverschobenen Sinusschwingung berechnet. Der daraus benötigte Funktionswert kann anschließend durch die Addition von digitalen Teilschwingungen mit verschiedenen Amplituden erstellt werden. Die Addition und Erstellung eines analogen Signals übernimmt der D-/A-Wandler. Dadurch entstehen Sprünge im Signalverlauf, was bei der Entwicklung des Systems vermieden werden sollte [2].

Durch die gestellten Anforderungen der Vermeidung von Diskretisierungen, des vorgegebenen Frequenzbereiches und der Einstellbarkeit der Phasenverschiebung konnten auch keine induktiven und kapazitiven Lasten fest verbaut werden und somit wurde sich für die folgende Variante entschieden.

Für die analoge Signalerzeugung wird eine Sinusschwingung, welche gleichzeitig als Referenz verwendet wird, und eine Kosinusschwingung verwendet. Diese beiden Signale werden im Phasenschieber zusätzlich umgekehrt. Es entstehen vier um  $90^\circ$ -phasenverschobene trigonometrische Signale, die für die Signalerzeugung benötigt werden. Zur Signalerzeugung wird die Amplitude jeder Teilschwingung angepasst und anschließend addiert. Durch die Beeinflussung der Amplitude wird eine Phasenverschiebung der resultierenden Schwingung erzeugt. Die notwendigen Amplituden für eine gewünschte Phasenverschiebung können rechnerisch ermittelt werden. Das erzeugte Signal des Kanals wird daraufhin an die entsprechende Leistungselektronik geschickt. Diese verstärkt das Signal und beinhaltet auch die Regelung der Amplitude. Durch diese Vorgehensweise kann ein analoges Signal erzeugt werden, welches in seiner Glätte durch den Funktionsgenerator und nicht durch die Schaltung zur Signalerzeugung begrenzt wird. Bei eingestellter Phasenverschiebung entsteht ein analoges phasenverschobenes Signal, welches nur beim Einstellen einer anderen Phasenverschiebung einen Sprung aufweist.

### 3. Realisierung

Das analoge Signal lässt sich durch die Addition von vier Teilschwingungen erzeugen und basiert auf der Beeinflussung der Amplitude  $A_{\varphi+}$ ,  $A_{\varphi-}$ ,  $B_{\varphi+}$ ,  $B_{\varphi-}$  der jeweiligen Teilschwingungen. Das Signal lässt sich grundsätzlich mit der Formel

$$u = \cos(\varphi_u) \cdot \sin(\omega t) + \sin(\varphi_u) \cdot \cos(\omega t),$$

also mit nur zwei Koeffizienten, ausreichend beschreiben. Es werden trotzdem vier Koeffizienten benötigt, weil die Koeffizienten durch ein ohmsches Widerstandsverhältnis abgebildet werden und somit keine negativen Vorzeichen besitzen können. Somit sind zwei Koeffizienten für die positive Halbwelle und zwei für die negative Halbwelle vorgesehen. Die resultierende Spannung  $u$  lässt sich dabei durch

$$u = A_{\varphi+} \cdot \sin(\omega t) + B_{\varphi+} \cdot \cos(\omega t) - A_{\varphi-} \cdot \sin(\omega t) - B_{\varphi-} \cdot \cos(\omega t)$$

beschreiben, mit der Definition

$$A_{\varphi+} = \begin{cases} \cos(\varphi_u) & | \cos(\varphi_u) > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad B_{\varphi+} = \begin{cases} \sin(\varphi_u) & | \sin(\varphi_u) > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$A_{\varphi-} = \begin{cases} -\cos(\varphi_u) & | -\cos(\varphi_u) > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad B_{\varphi-} = \begin{cases} -\sin(\varphi_u) & | -\sin(\varphi_u) > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

für die Koeffizienten. Somit gilt für die Koeffizienten, dass

$$\{\{A_{\varphi+}\}, \{A_{\varphi-}\}, \{B_{\varphi+}\}, \{B_{\varphi-}\}\} \in \mathbb{R}_0^+$$

und damit folglich, dass keine negativen Koeffizienten entstehen können. Die Koeffizienten stellen die Verstärkungsfaktoren der verschiedenen Teilschwingungen dar. Der Verstärkungsfaktor wird durch einstellbare ohmsche Widerstände in einer Operationsverstärkerschaltung realisiert, dargestellt in Abbildung 2. Der Verstärkungsfaktor lässt sich in der vorliegenden Schaltung mit dem Verhältnis von Rückkoppelwiderstand zu Vorwiderstand berechnen. Der Rückkoppelwiderstand ist konstant und der Wert des Vorwiderstands lässt sich beeinflussen, um den Verstärkungsfaktor verändern zu können.

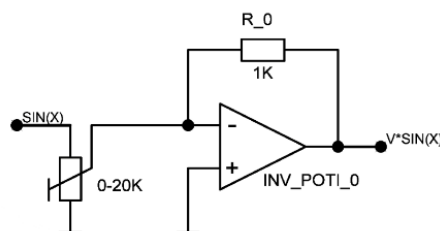


Abbildung 2 Schaltplan der Amplituden- beziehungsweise Verstärkungsfaktorverstellung einer Teilschwingung

Hierfür werden Digitalpotentiometer verwendet, welche über den Arduino und einen SPI-Bus verbunden sind. Der Arduino berechnet mittels der hergeleiteten Formeln die gewünschte Phasenverschiebung und somit einen Widerstandswert, welcher an das

jeweilige Digitalpotentiometer übergeben wird. Die angestrebte Phasenverschiebung wird in der Desktopanwendung eingestellt. Die Desktopanwendung wurde unter der Verwendung von Flutter programmiert und innerhalb der Anwendung kann die Verbindung zum Arduino per USB aufgebaut werden. Des Weiteren kann die Verbindung auch getestet werden. Die Hauptaufgabe der Anwendung ist das Eingeben der gewünschten Phasenverschiebungen und Amplituden, welche an den Arduino in einem definierten String-Format gesendet werden. Für eine bessere Vorstellung der eingestellten Werte ist auch eine grafische Darstellung der Phasenverschiebungen in Form eines Graphen implementiert. Die Leistungselektronik verändert auf Grundlage des erzeugten Signals das Magnetfeld durch die resultierende Stromstärke. Durch das Magnetfeld wird die Ringgitterschaukel in Schwingung versetzt. Die benötigte Stromstärke lässt sich über die vom Magnetfeld erzeugte Kraft berechnen. Durch den Sensor TQ402 wird die Auslenkung der Ringgitterschaukel gemessen und als Rückführung des Regelkreises verwendet. Der Sensor liefert eine Spannung, welche sich auf die Auslenkung zurückführen lässt. Es wurde für die Regelung ein P-Regler mit dem Verstärkungsfaktor Eins verwendet, weil sich durch die sich verändernden Umgebungsbedingungen keine allgemeingültige Übertragungsfunktion ermitteln lässt.

#### **4. Ergebnisse**

An dem System konnten einige Tests zur Bestimmung der Genauigkeit der Phasenverschiebung durchgeführt werden. Es werden Ergebnisse zur Genauigkeit der Phasenverschiebung mit und ohne Verwendung des P-Reglers verglichen. Es wurde dabei nicht über die gesamte Periode gemessen, weil eine Genauigkeit von  $0,1^\circ$  erzielt werden sollte und somit der Messaufwand für eine ganze Periode sehr groß gewesen wäre. Dadurch wurde für beide Tests das gleiche Intervall einer Periode ausgewählt, um die Ergebnisse möglichst repräsentativ interpretieren zu können. Ohne die Verwendung des P-Reglers schwankte die Genauigkeit der Phasenverschiebung zwischen  $0,1 - 0,6^\circ$ , was deutlich mehr als gefordert waren. In dem Verlauf der unterschiedlichen Genauigkeiten konnten keine Schlüsse aus dessen Herkunft getroffen werden. Durch die Verwendung des P-Reglers konnten die Abweichungen bis auf bei einem Wertepaar auf  $0,01 - 0,03^\circ$  verringert werden, was den Anforderungen entspricht. Das eine Wertepaar mit einer höheren Abweichung wird dabei als Ausreißer betrachtet. Außerdem zeigen die Tests an der Signalerzeugung, dass die Signale nach den hergeleiteten Formeln erstellt und auch mittels der entwickelten Desktopanwendung gesteuert werden können. Dabei können nur Annahmen über ein Teilsystem getroffen werden, weil die Leistungselektronik auf Grund von Lieferproblemen nicht rechtzeitig einsatzbereit war. Durch einige Überlegungen im Projektverlauf ist die Regelung der Phasenverschiebung deutlich einfacher ausgefallen als anfangs geplant, konnte aber durch Tests in den Grundzügen als ein funktionsfähiges Konzept bewertet werden. Das Gesamtsystem wird am Windkanal betrieben und optimiert.

#### **Literatur**

- [1] Dr.-Ing. Joachim Belz: [https://www.dlr.de/ae/desktopdefault.aspx/tabid-10029/17107\\_read-41425/](https://www.dlr.de/ae/desktopdefault.aspx/tabid-10029/17107_read-41425/), Stand 29.03.2023
- [2] Thomas Schaerer (2007): <https://www.elektronik-kompendium.de/public/schaerer/scsing.htm>, Stand 28.03.2023

# Konzeptentwicklung für die Hybridisierung der Grundlagenlabore der Elektrotechnik am Beispiel eines Laborversuches und unter Berücksichtigung der Sichtweise von Studierenden

Sergej Lamanov, Shk. Iheb Belaiba, Sebastian Azer, Matthias Haupt

Jade Hochschule, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Friedrich-Paffrath-Straße 101

## Abstract

An der Jade Hochschule erlernen die Studierenden in den Grundlagenlaboren der Elektrotechnik den Umgang mit den wichtigsten Laborgeräten wie Signalgeneratoren und Oszilloskopen. Sie erstellen und analysieren Schaltungen und führen Fehlersuchen durch. Dabei verknüpfen die Lernenden die vorher erworbenen theoretischen Grundlagen mit der Praxis. Bisher wurden diese Versuche nur in reiner Präsenzform angeboten. Dies stellt i.a. eine hohe Eintrittshürde für die Studierenden dar, die vor allem mit der begrenzten Zeit, in der sie die Versuche durchführen sollen, überfordert sind. Daher werden in dem Projekt Futur. A virtuelle und Remote-Versuche für die Studierenden im Grundlagenstudium konzipiert. Allerdings fehlt es derzeit aufgrund häufig spezifischer Anforderungen aus technischer und didaktischer Sicht an konkreten Modellen für die Umsetzung digitaler Labore im ingenieurwissenschaftlichen Basisstudium. Die Umstellung der Grundlagenlabore auf hybride Lehrformate erfordert daher eine gründliche Analyse derzeitiger Präsenzlabore, um eine optimale technische Durchführung zu erzielen. Als Startpunkt wird durch eine angepasste Umfrage die Sichtweise der Studierenden berücksichtigt, die Aufschluss über die Bedürfnisse sowie Lernstrategien von Studierenden bei der Vorbereitung und Auswertung von Laborversuchen gibt. Darauf basierend beginnt die Konzipierung für die Transformation von Laborversuchen auf digitale Lehrformate. Hierbei werden einzelne Versuche im Hinblick auf Ablauf sowie eingesetzte Geräte untersucht, um eine Einschätzung zu erreichen, ob virtuelle oder hybride Umsetzungen möglich bzw. sinnvoll sind. Aus den Sicherheitsanforderungen wird auf einem eigenen Server eine eigenständige Versuchsoberfläche (für Simulationen und Fernzugriff) erstellt. Da ein Remote-Versuch nur von einer Person gleichzeitig bedient werden kann, bietet sich der Einsatz eines Buchungssystems mit Authentifizierungsschlüssel an. Die Umsetzung eines ersten Laborversuches „Messen im Drehstromnetz“ ergibt die Fragestellung, inwieweit Remote-Versuche bei der Vorbereitung sowie der Auswertung unterstützen können. Der Praxisbezug ist ein wichtiger Aspekt im Grundlagenstudium, der durch eine reine digitale Labordurchführung entfallen würde. Es wird daher mit der Planung eines hybriden Laborversuches begonnen, dessen Durchführung mehrere Schritte beinhaltet. Des Weiteren stellt sich die Frage bezüglich der „Messbarkeit“ von Lernerfolgen durch den Einsatz digitaler Laborversuche. Durch die analytische Untersuchung eines Experiments mit zwei Probanden-Gruppen aus dem Studierendenkreis können mögliche Potenziale für eine optimierte technische Umsetzung identifiziert werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Vorgehensweise bei der Konzeptentwicklung und Umsetzung hybrider Labore sowohl aus didaktischer als auch aus technischer Sicht. Die Ergebnisse der Studierendenbefragungen zum Themenkomplex hybride Laborversuche werden präsentiert.

## 1. Einleitung

Das Grundlagenlabor der Elektrotechnik verfügt über eine Vielzahl umfangreicher Laborversuche. Herkömmliche Lehrmethoden mit klassischen Laboranleitungen und Vor-Ort-Laborversuchen sind oft unzureichend, um die Studierenden auf die Laborversuche und die erforderlichen Fähigkeiten im Hauptstudium vorzubereiten. Digitale Lehrformate können hierbei eine Unterstützung bei der Vor- und Nachbereitung von Laborversuchen darstellen. Eine schrittweise Einführung der Studierenden in die Komplexität der Lehrinhalte durch die Hybridisierung der Elektrotechnik-Laborversuche ist das Ziel.

## 2. Sichtweise von Studierenden zu digitalen Lehrformaten

Um ein erfolgreiches Konzept zu erstellen, ist es unerlässlich die Wünsche und Perspektiven der Studierenden zu berücksichtigen. Insgesamt haben 40 Studierende an der Vorevaluation teilgenommen, wobei 18 von ihnen aus dem Studiengang Elektrotechnik stammen und die restlichen 22 aus den sogenannten 3M-Studiengängen: Maschinenbau, Medizintechnik und Meerestechnik. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Umfrage präsentiert, die für die Entwicklung des Konzeptes relevant sind.

Die meisten befragten Studierenden haben eine technische Ausbildung und Erfahrungen beim Umgang mit elektrischen Laborgeräten. Es ist wichtig, sich auch an den Bedürfnissen und Fähigkeiten von Studierenden zu orientieren, die keinen technischen Hintergrund haben. Die Hybridisierung von Laborversuchen sollte so gestaltet werden, dass sie für alle Studierenden zugänglich ist, unabhängig von ihrem Hintergrund oder Vorerfahrung. Die grundlegenden Funktionen der Geräte sollten detaillierter erklärt werden.

Zu Beginn der Konzeptentwicklung wurden Überlegungen angestrebt, in welchem Format die virtuellen/hybriden Labore den Studierenden zur Verfügung gestellt werden sollten. Die Auswertung der Frage zur mög-

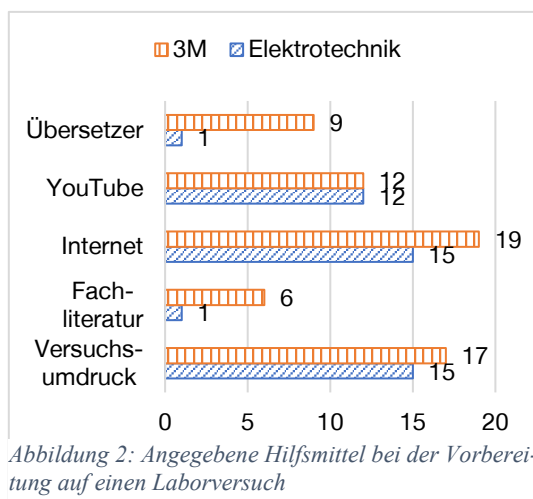


Abbildung 2: Angegebene Hilfsmittel bei der Vorbereitung auf einen Laborversuch

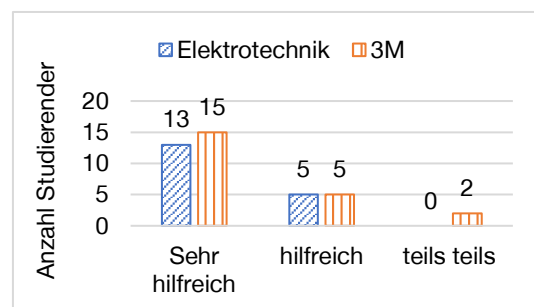


Abbildung 1: Wie hilfreich wäre eine Online-Lernplattform zur Vorbereitung auf Laborversuche?

lichen Nutzung einer Online-Lernplattform, in der die Studierenden die Möglichkeit hätten, Laborversuche durchzuführen, zeigt Abb. 1. Daraus ist ein Trend zu erkennen, dass die Studierenden solch eine Lernplattform zur Vorbereitung nutzen würden. Das Erstellen einer Online-Lernplattform hat viele Vorteile, unter anderem kann das Netzwerk

durch Bestandteile wie Lernvideos, Fragen-Quiz, Videokonferenzen, virtuelle Treffen etc. erweitert werden (Sturm & Rundnagel, 2021). Ebenso wurde bei der Umfrage das persönliche Lernverhalten von Studierenden berücksichtigt. Abb. 2 gibt einen Überblick darüber, welche Hilfsmittel sie benutzen, um sich auf praktische Laborversuche vorzubereiten. Durch persönlichen Austausch mit Studierenden wurde deutlich, dass sie bei der Vorbereitung nach Erklärungen für konkrete Aufgabenstellungen im Internet beispielsweise auf YouTube suchen. Um die Produktivität bei den Studierenden zu erhöhen kann die Unterstützung des Vorbereitungs-

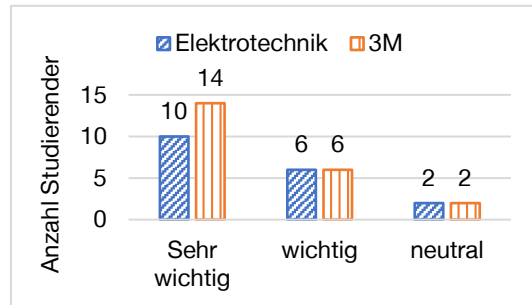


Abbildung 3: Wie wichtig finden Sie es, sich vor dem Labor einen Überblick über die Geräte zu verschaffen?

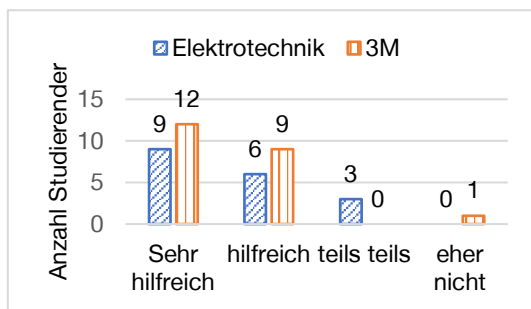


Abbildung 4: Experimentieren am Lernort mit Laborversuchen im Kleinformat

prozesses durch ein Lernvideo passend zu dem Labor erfolgen, in dem sowohl theoretische als auch praktische Aspekte erläutert werden (Sacher & Bauer, 2020). Viele Studierende erachten es außerdem als sinnvoll, sich vor dem Labortermin einen Überblick über die Messeinrichtung zu verschaffen (Abb. 3). Abschließende Selbsttests, z.B. in Form von Multiple-Choice-Quiz können das Verständnis technischer Zusammenhänge fördern (Borukhovich-Weis et al., 2021). Im

Grundlagenlabor der Jade Hochschule arbeiten die Studierenden in Gruppen von zwei bis drei Personen und eher selten in einer Vierergruppe zusammen. Dadurch kommt es häufig zu einer ungleichmäßigen Arbeitsverteilung. Manche Studierende trauen sich nicht am Laborequipment zu experimentieren und etwas auszuprobieren, da sie Angst davor haben, etwas falsch zu machen. Bruchmüller & Haug (2001) definieren das Grundlagenlabor als ein klassisches Anfängerpraktikum, das speziell empirischen Untersuchungen grundlegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen dient. Insgesamt 30 von 40 Studierenden gaben an, dass sie bei der Labordurchführung im Sinne der erfolgreichen Kompetenz- und Erkenntnisgewinnung lieber alleine statt in einer Gruppe arbeiten würden. Diese Erkenntnis führte zu Überlegungen für den Aufbau eines s.g. Laborkoffers, der nahezu alle Versuche im Kleinformat beinhaltet und ausgeliehen werden kann. Die Mehrheit der Studierenden fand eine derartige Möglichkeit als hilfreich (Abb. 4). Damit können die Studierenden die Laborversuche auch an einem alternativen Lernort praktisch ausüben. Damit wird angenommen, dass sich die Studierenden damit effizienter auf Laborversuche vor Ort vorbereiten können.



### 3. Konzeptentwicklung und Serverstruktur

Insgesamt zehn Laborversuche müssen die Studierenden absolvieren, um das Grundlagenstudium an der Jade Hochschule erfolgreich abzuschließen. Nach Analyse bestehender Laborversuche konnten gleichartige Versuche zu Einem zusammengefasst werden. So wurden z.B. Laborversuche „Messen mit Oszilloskop“ und „Schaltungsanalyse“ zu einem Versuch 1 „Oszilloskop“ vereint. Hierbei werden beide Versuchsteile in einem Turn durchgeführt. Durch das neue Konzept kann der technische Aufwand für die Digitalisierung reduziert werden. In Abb. 5 ist eine Gegenüberstellung des klassischen und hybriden Konzeptes zur Vorbereitung auf die Laborversuche dargestellt.

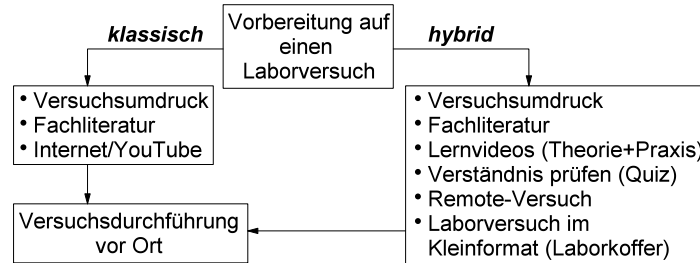


Abbildung 5: Gegenüberstellung des klassischen und hybriden Konzeptes zur Vorbereitung auf Laborversuche

Als Basis für die Hybridisierung aller Laborversuche soll am Beispiel des Versuches „Messen im Drehstromnetz“ das neue Konzept untersucht werden. Hierbei sollten Möglichkeiten identifiziert werden, um bei der bestehenden Lernplattform, den Inhalt sowie den Ablauf beim Remote-Versuch zu optimieren. Dafür bekommen die Studierenden im laufenden Sommersemester (2023) den Zugang zur Lernplattform, in der sie sich auf o.g. Laborversuch gemäß Abb. 5 vorbereiten können. Über den Moodle-Kurs können die Lernenden dazu ihr Feedback und Erfahrungen abgeben. Es laufen bereits Entwicklungen des Versuches im Kleinformat. Nach Fertigstellung soll das neue Konzept durch ein Experiment mit zwei Probandengruppen aus dem Studierendenkreis analytisch untersucht werden. Das Feedback sowie die Ergebnisse der Untersuchung sollen helfen, mögliche Optimierungen für technische Umsetzung zu identifizieren sowie den Lernerfolg „messbar“ zu machen.

Die im Labor der Jade Hochschule entwickelte Serverstruktur zeigt Abb. 6. Das Ziel der technischen Konzeptentwicklung ist es, Open-Source-Anwendungen zu verwenden. Für zahlreiche Hardware-Komponenten stehen ausgereifte Python-Bibliotheken zum Anbinden von http-Anfragen zur Verfügung.

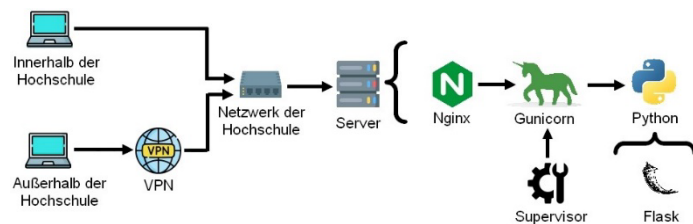


Abbildung 6: Netzwerk- und Serverstruktur

Zur Realisierung von Webseiten mit dynamischen Inhalten wurde JavaScript-Code geschrieben. Um die asynchronen Anfragen vom Webinterface an den Server zu leiten wurde das Ajax-Konzept benutzt. Beim Aufbau der lokalen Serverstruktur wurde ein Nginx-Webserver verwendet, da dieser erfahrungsgemäß gute Performance aufweist. Als Web-Server-Gateway-Interface (WSGI) wurde Gunicorn eingesetzt. Um die Überwachung von Gunicorn-Prozessen zu gewährleisten wurde ein s.g. Supervisor (Prozesssteuerungssystem) verwendet. Die Online-Plattform bietet den Zugang zu Laborversuchen, die webbasiert angesteuert werden. Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung haben die Studierenden die Möglichkeit Lernvideos zur Theorie und Praxis anzuschauen und anschließend ihr Wissen mit einem Fragen-Quiz zu überprüfen. Da nur ein Studierender gleichzeitig an einem

Remote-Versuch teilnehmen kann, wurde ein System zur Generierung von Zugangsschlüsseln entwickelt, das über ein Dashboard für Informationsmanagement verwaltet wird. Das Dashboard ermöglicht außerdem die Organisation von weiteren Diensten wie der Erstellung von Fragen, der Bereitstellung von Hardware und dem Führen eines Logbuches.

## Quellen

- Bruchmüller, H.-G. & Haug, A. (2001). Labordidaktik für Hochschulen. Eine Hinführung zum praxisorientierten Projekt-Labor. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag.
- Sacher, M. D & Anna, B. B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix, K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre* (S. 51 – 66), doi:10.3278/6004804w
- Sturm, N & Rundnagel, H. (2021). Agiles Lernen digital gestützt: Die Methode *eduScrum* in der Hochschullehre, [https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8_32). In Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.), *Digitalisierung in Studium und Lehre gemeinsam gestalten* (S. 577 – 598). Stifterverband Berlin, Deutschland, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8>
- Borukhovich-Weis, S., Gryl, I., Łaczkowska, E., Bulizek, B. (2021). Mobiles Lernen, Selbststeuerung und Gamification. Ergebnisse einer qualitativen Begleitstudie zu Chancen und Grenzen einer Inverted-Classroom-Veranstaltung in der Lehrer\*innenprofessionalisierung. In Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.), *Digitalisierung in Studium und Lehre gemeinsam gestalten* (S. 475 – 505). Stifterverband Berlin, Deutschland, [https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-658-32849-8_27)

# Veranschaulichung flugmechanischer Zusammenhänge im Windkanal anhand eines additiv gefertigten Prüfkörpers

Jakub Dlouhý <sup>1</sup>, David Rieck <sup>2</sup>, Lars Muth <sup>3</sup>

1 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, jakub.dlouhy@th-wildau.de

2 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, david.rieck@th-wildau.de

3 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, lars.muth@th-wildau.de

## Abstract

Das Ziel der hier beschriebenen Arbeit ist es, die Anwendbarkeit additiv gefertigter Prüfkörper für die Veranschaulichung flugmechanischer Zusammenhänge, vor allem in Bezug auf die statische Längsstabilität, im Windkanal an der Technischen Hochschule Wildau zu untersuchen. Nach der Festlegung der Anforderungen an den zu entwerfenden Prüfkörper wird ein Windkanalmodell mittels des FDM-Verfahrens hergestellt. Mit diesem können die Einflüsse der Schwerpunktverschiebung und der Veränderung des Höhenleitwerkeinstellwinkels auf die Momentenkennlinie demonstriert werden.

## 1. Einleitung

Im Rahmen einer Abschlussarbeit wurde der Frage nachgegangen, inwieweit additive Fertigungsmethoden eingesetzt werden können, um die Grundsätze der statischen Längsstabilität eines Flugzeuges bei der Lehre an der Technischen Hochschule Wildau zu demonstrieren. Dabei wird das Ziel verfolgt, mittels der FDM-3D-Drucktechnologie einen Prüfkörper für den GUNT HM 170 Windkanal herzustellen, der über notwendige Merkmale verfügt, mit denen grundlegende Zusammenhänge der Flugmechanik demonstriert werden können.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Statische Längsstabilität eines Flugzeuges

In der Flugmechanik wird unter statischer Längsstabilität laut Fichter (2015, S. 1) verstanden, „ob sich eine konstante Fluggeschwindigkeit einstellen kann und ob diese beibehalten werden kann, auch wenn zeitweise Störungen wie z.B. Windböen von außen einwirken.“ Das bedeutet, dass bei einer Veränderung des Anstellwinkels eines ausgetrimmten Flugzeuges ein rückstellendes Moment um den Schwerpunkt entstehen muss, welches das Flugzeug in seine Ausgangslage bringt. Ob das entstandene Moment positiv oder negativ ist und somit der Anstellwinkel entweder weiter vergrößert oder das Flugzeug in seine Ausgangslage gebracht wird, hängt von der Lage des Flugzeugschwerpunktes relativ zum Gesamtneutralpunkt ab.

Wie in Abbildung 1 veranschaulicht wird, wird als Gesamtneutralpunkt der Bezugspunkt eines Flugzeuges betrachtet, in dem der resultierende Zusatzauftrieb  $\Delta A_{Res}$  bei einer Veränderung des Anstellwinkels um  $\Delta\alpha$  gegenüber dem Referenzzustand  $\alpha_r$  angreift (Fichter, 2015, S. 7 f). Dieser zusätzliche Auftrieb  $\Delta A_{Res}$  erzeugt ein Drehmoment  $\Delta M$  um den Flugzeugschwerpunkt und bringt somit das Flugzeug in seine Ausgangslage bei  $\alpha_r$  zurück.

Aus diesem Sachverhalt ist zu entnehmen, dass sich der Schwerpunkt vor dem Gesamtneutralpunkt befinden und  $x_N$  somit negativ sein muss, damit bei einer Veränderung des Anstellwinkels ein negatives Rückstellmoment entsteht und das Flugzeug statisch längs stabil ist. Das bedeutet gleichzeitig, dass die Steigung des Momentenverlaufs über dem Anstellwinkel  $\alpha$  negativ sein muss.

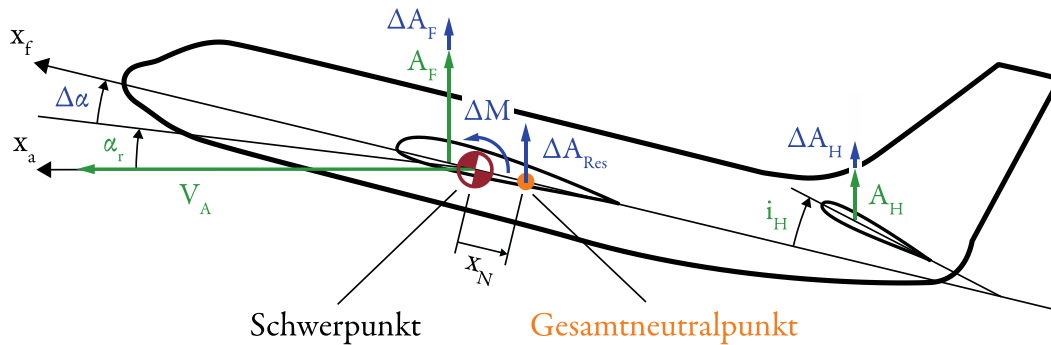


Abbildung 1: Störverhalten eines statisch längsstabilen Flugzeuges<sup>1</sup> (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Brockhaus et al., 2011, S. 12)

Aus dieser Tatsache lässt sich die grundlegende Bedingung für ein statisch längsstabiles Flugzeug formulieren (Brockhaus et al., 2011, S. 11 ff):

$$\frac{\partial C_M}{\partial \alpha} < 0 \quad (1)$$

Der Verlauf des Momentenbeiwertes  $C_M$  über dem Anstellwinkel  $\alpha$  (auch häufig als Momentenkennlinie bezeichnet) kann bei kleinen Anstellwinkeln als linear angenommen werden und lässt sich anhand der Veränderung der Schwerpunktlage oder des Höhenleitwerkeinstellwinkels  $i_H$  beeinflussen.

<sup>1</sup> In der Grafik wird der Fall einer Windkanalmessung betrachtet, weshalb Vereinfachungen im Vergleich zu einem realen Flugzeug zu beachten sind.

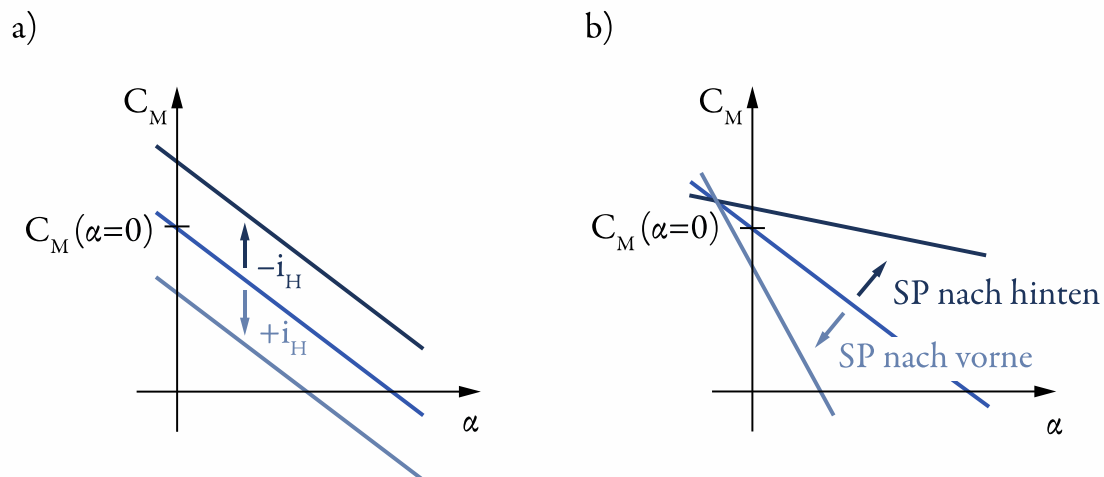


Abbildung 2: Beeinflussung der Momentenkennlinie anhand der Veränderung von  $i_H$  und der Schwerpunktlage

Wie in Abbildung 2 dargestellt, verursacht die Veränderung des Höhenleitwerkeinstellwinkels  $i_H$  die Parallelverschiebung der Momentenkennlinie. Eine Veränderung der Schwerpunktlage resultiert in einer Veränderung der Steigung ( $C_{M\alpha}$ ) der Momentenkennlinie (Fichter, 2015, S. 3).

## 2.2 Additive Fertigung

Als additive Fertigungsverfahren (AM, engl. Additive Manufacturing) bezeichnet man nach Klahn et al. (2018, S. 11) eine „Gruppe von Fertigungsverfahren, die dreidimensionale Bauteile in einem automatisierten, schichtweisen Prozess aus einem formlosen oder formneutralen Material aufbauen.“ Dieser Begriff beschreibt besser die Vielfalt der einzelnen Fertigungsmethoden als der in der Umgangssprache verwendete „3D-Druck“, da manche der dazugehörigen Verfahren dem allgemeinen Verständnis des 3D-Drucks nicht direkt entsprechen, aber trotzdem auf dem Prinzip der additiven Fertigung beruhen (Klahn et al., 2018, S. 13).

Während der Untersuchung für diese Arbeit werden vor allem die Möglichkeiten der FDM-3D-Drucktechnologie analysiert. Fused Deposition Modelling (FDM) oder Fused Filament Fabrication (FFF) kann ins Deutsche als Schmelzschichtung übersetzt werden (Ritter, 2020). Wie in Abb. 3 schematisch dargestellt, wird bei diesem Verfahren ein drahtförmiger Kunststoff (Filament) in einer Düse geschmolzen und schichtweise aufgetragen, um die gewünschte Geometrie zu erzeugen (Mohamed et al., 2015, S. 43).

## 3. Entwurf eines Laborversuches zum Thema statische Längsstabilität

### 3.1 GUNT HM 170 Windkanal

Das Fachgebiet Luftfahrttechnik der Technischen Hochschule Wildau verfügt über einen GUNT HM 170 Windkanal offener Bauweise (Eiffel-Windkanal), der zur Demonstration und Messung von aerodynamischen Eigenschaften verschiedener Modelle verwendet wird. Das zu untersuchende Modell bleibt in Ruhe, während die Luft von einem Gebläse durch eine Messstrecke gesaugt und damit die gewünschte Umströmung erzeugt wird. Im Bereich der geschlossenen Messstrecke können Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu  $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  erreicht werden (G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2023, S. 1). Die Messstrecke

hat einen quadratischen Querschnitt und ist 420 mm lang und 292 mm breit, wobei während des Prüfkörperentwurfs ein Mindestabstand zu den Windkanalwänden von 25 mm eingehalten wird, um Grenzschichteneinflüsse zu minimieren. Das Versuchsmodell wird 90° um die Längsachse gedreht untersucht und über eine Stahlstange in einer Kraftmessdose befestigt (vgl. Abb. 4).

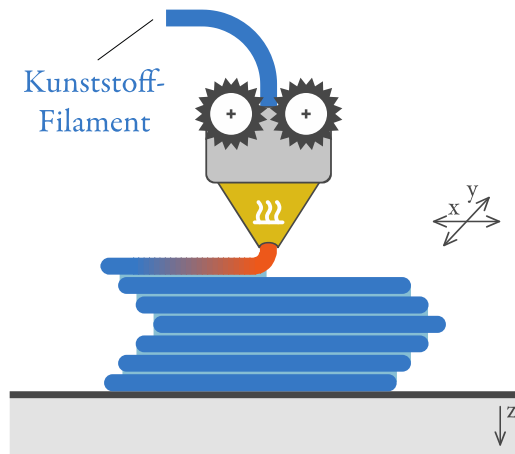


Abbildung 3: Schematische Darstellung des FDM/FFF-Verfahrens (Quelle: Eigene Darstellung Anlehnung an Ritter, 2020)

### 3.2 Anforderungen an den Prüfkörper

Das Ziel des angestrebten Laborversuches ist es, den Einfluss der Schwerpunktlage sowie des Höhenleitwerkeinstellwinkels auf die statische Längsstabilität zu vermitteln. Zur Minimierung der Einflüsse der Stabbefestigung auf die Modellgeometrie sowie auf die Umströmung wird in diesem Fall ein Halbmodell verwendet (vgl. Abb. 8).

Um die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Einflüsse des Einstellwinkels vom Höhenleitwerk sowie der Schwerpunktlage demonstrieren zu können, muss das Versuchsmodell über zwei Merkmale verfügen:

- Verstellbares Höhenleitwerk
- Verschiebbarer Schwerpunkt

Während ein verstellbares Höhenleitwerk unkompliziert umgesetzt werden kann, stellt vor allem der verschiebbare Schwerpunkt eine Herausforderung dar. Im Windkanal der TH Wildau ist die Idee der Veränderung des tatsächlichen Modellschwerpunktes nicht umsetzbar, da die Prüfkörper bei der Vermessung im Windkanal um 90° gedreht werden. Diese Drehung führt dazu, dass die Gewichtskraft nicht entlang der Hochachse, sondern in Richtung der Querachse des Flugzeuges wirkt. Der Schwerpunkt eines Flugzeuges ist nicht nur der Angriffspunkt der resultierenden Gewichtskraft, sondern auch der Punkt, um den das Nickmoment durch die am Flügel und am Höhenleitwerk wirkenden Kräfte erzeugt wird. Mit der Überlegung, dass der Schwerpunkt die Funktion eines zentralen Drehpunktes erfüllt, ist es möglich, auch die zweite Forderung umzusetzen.



Abbildung 4: Im Kraftsensor befestigter Prüfkörper

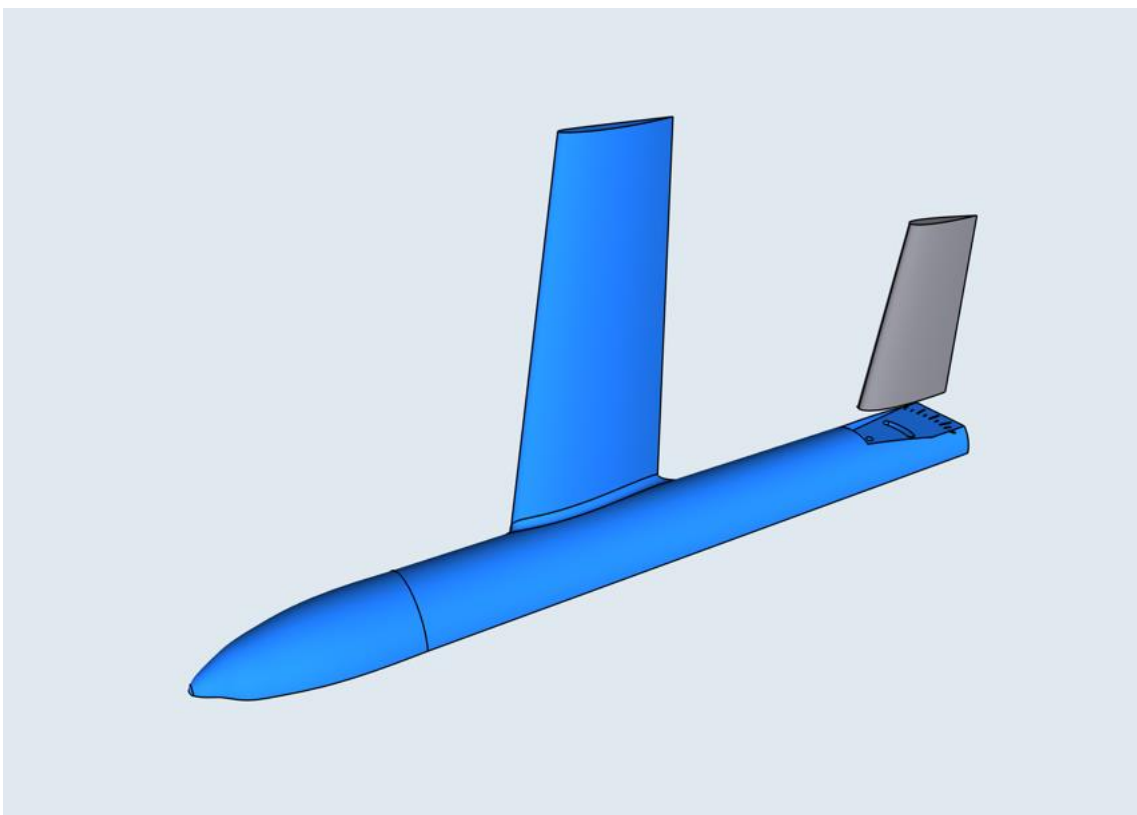


Abbildung 5: Versuchsmodellentwurf in Fusion 360

Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, werden die Modelle mittels eines Haltestabes im Kraftsensor befestigt. Da der Haltestab gleichzeitig die Funktion einer Drehachse erfüllt, kann der Punkt, an dem er mit dem Versuchsmodell verbunden ist, als „virtueller Schwerpunkt“ betrachtet werden. Wird dieser Punkt verschoben, können identische Effekte wie bei Veränderung der Schwerpunktlage beobachtet werden.

### 3.3 Entwurf und Fertigung des Prüfkörpers

In Folge der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Überlegungen wird mittels einer CAD-Software ein Versuchsmodell entworfen (siehe Abb. 5), bei dem zum einen der Einstellwinkel vom Höhenleitwerk und zum anderen der Punkt, an dem der Stab befestigt ist, verändert werden kann. Die Unterseite enthält Elemente, die zur Befestigung des Haltestabes (vgl. Abb. 6) sowie zur Veränderung des Höhenleitwerkseinstellwinkels (siehe Abb. 7) vorgesehen sind. Der Haltestab kann somit an drei verschiedenen Stellen befestigt werden (vgl. Abb. 9), wobei  $d_{SV}$  die vordere Schwerpunktlage (weit vor dem Neutralpunkt),  $d_{SM}$  die mittlere Schwerpunktlage (möglichst nah am Neutralpunkt) und  $d_{SH}$  die hintere Schwerpunktlage (hinter dem Neutralpunkt) darstellt. Dieses Modell wird mittels des FDM-3D-Druckverfahrens gefertigt und die Oberfläche mit 2-Komponenten-Harz beschichtet, um eine möglichst reibungsfreie Umströmung im Windkanal sicherzustellen.

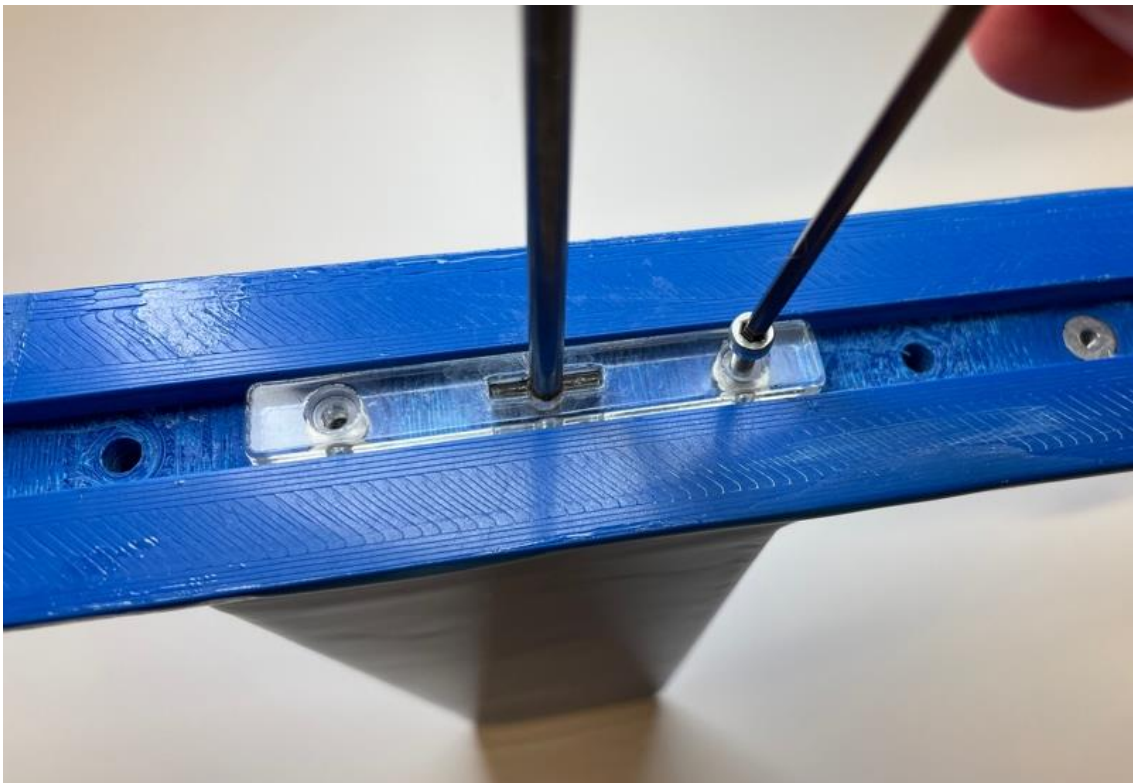
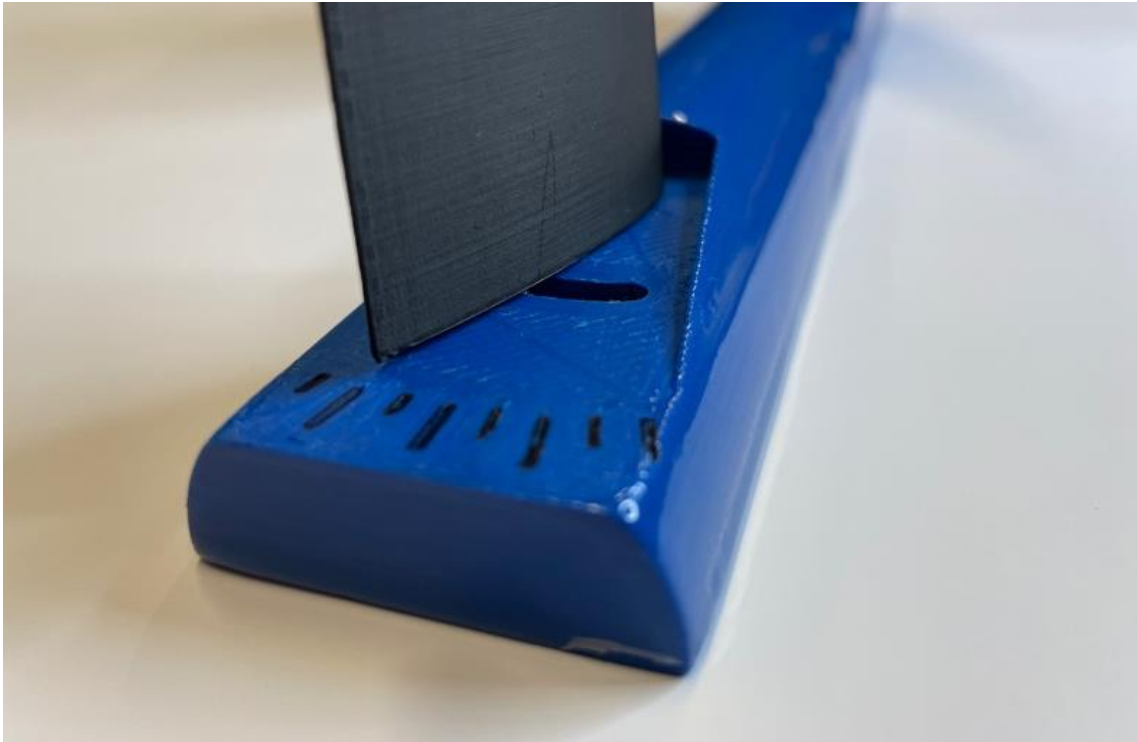


Abbildung 6: Befestigung des Haltestabes im Versuchsmodell





*Abbildung 7: Veränderbarer Einstellwinkel des Höhenleitwerks*



*Abbildung 8: Hergestellter Prüfkörper für den Laborversuch*

#### 4. Diskussion der Ergebnisse

Zunächst wird überprüft, ob das Konzept des virtuellen Schwerpunktes in der Praxis funktioniert. Wie in Abb. 10 zu sehen, können klare Unterschiede zwischen den einzelnen Momentenkennlinien beobachtet werden. In allen drei Fällen ist der Verlauf von  $C_M$  über  $\alpha$  linear und mit der Verschiebung der Schwerpunktlage nach hinten (in Richtung Neutralpunkt) ändert sich die Steigung dieser Kurve. Bei mittlerer Schwerpunktlage (blau) bleibt das Nickmoment nahezu konstant und der virtuelle Schwerpunkt befindet sich dementsprechend unmittelbar am Neutralpunkt. Bei hinterer Schwerpunktlage (rot) liegt der virtuelle Schwerpunkt hinter dem Neutralpunkt, was zu einer positiven Steigung der Kennlinie und somit einem instabilen Verhalten des Flugzeugmodells führt.

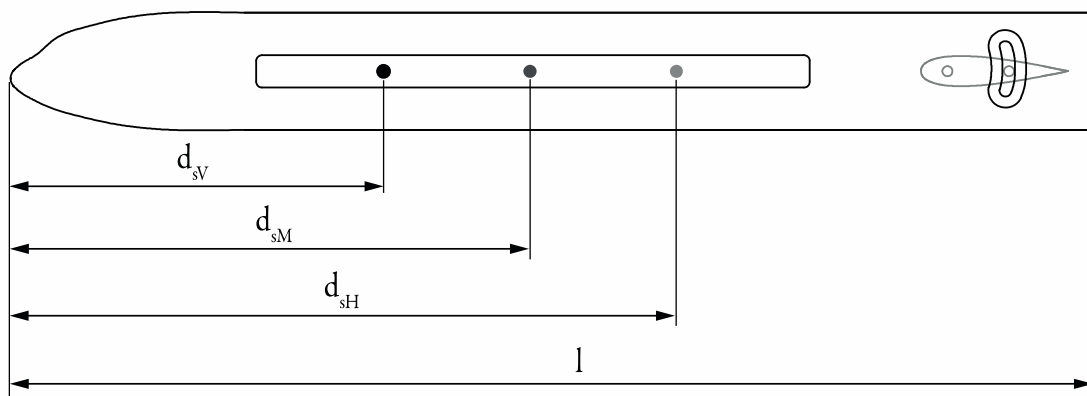


Abbildung 9: Abstände zwischen der Flugzeugnase und den Befestigungsstellen

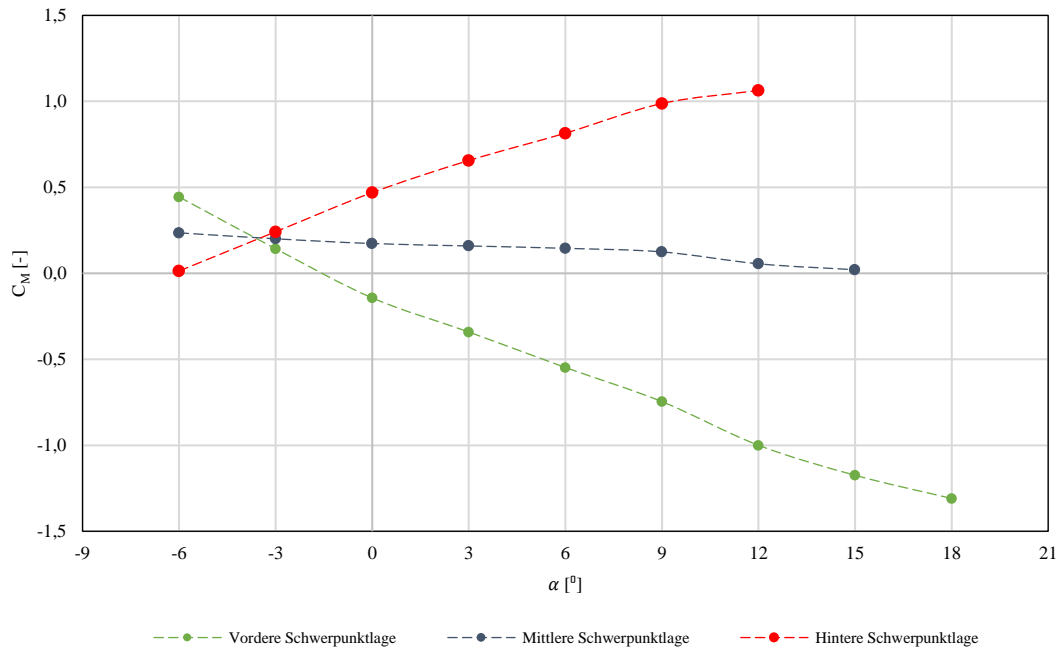


Abbildung 10: Nickmomentenbeiwert bei verschiedenen Schwerpunktlagen und  $i_H = 0^\circ$

Anschließend wird der Einfluss des Höhenleitwerkeinstellwinkels  $i_H$  auf die Momentenkennlinie bei allen drei Schwerpunktlagen untersucht. Wie beispielhaft für die vordere Schwerpunktlage in Abb. 11 dargestellt, kann die Parallelverschiebung der Momentenkennlinie aufgrund der Veränderung des Höhenleitwerkeinstellwinkels  $i_H$  anhand des Versuchsmodells demonstriert werden.

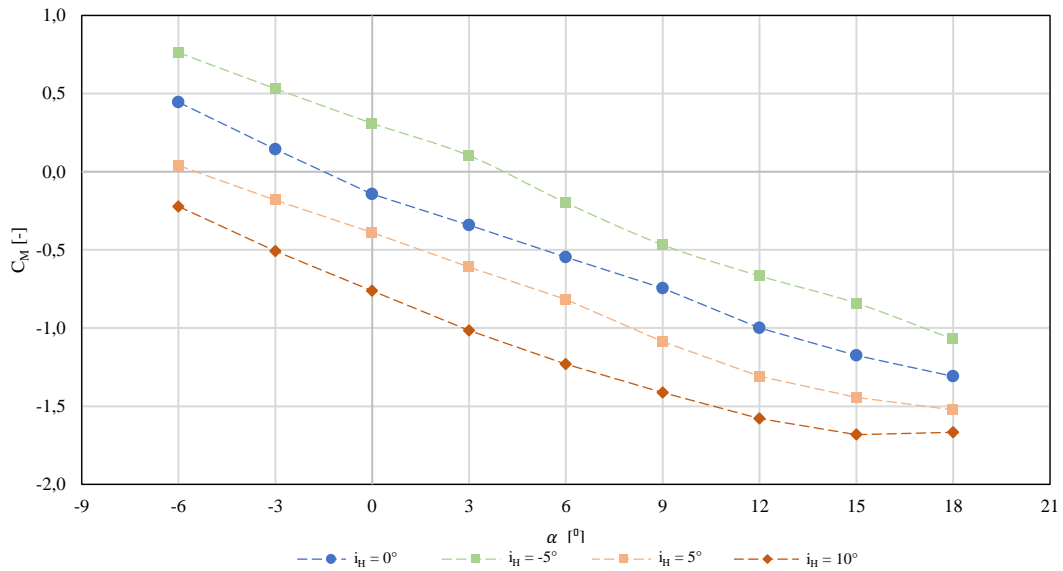


Abbildung 11: Nickmomentenbeiwert bei vorderer Schwerpunktlage und verschiedenen Höhenleitwerkeinstellwinkeln

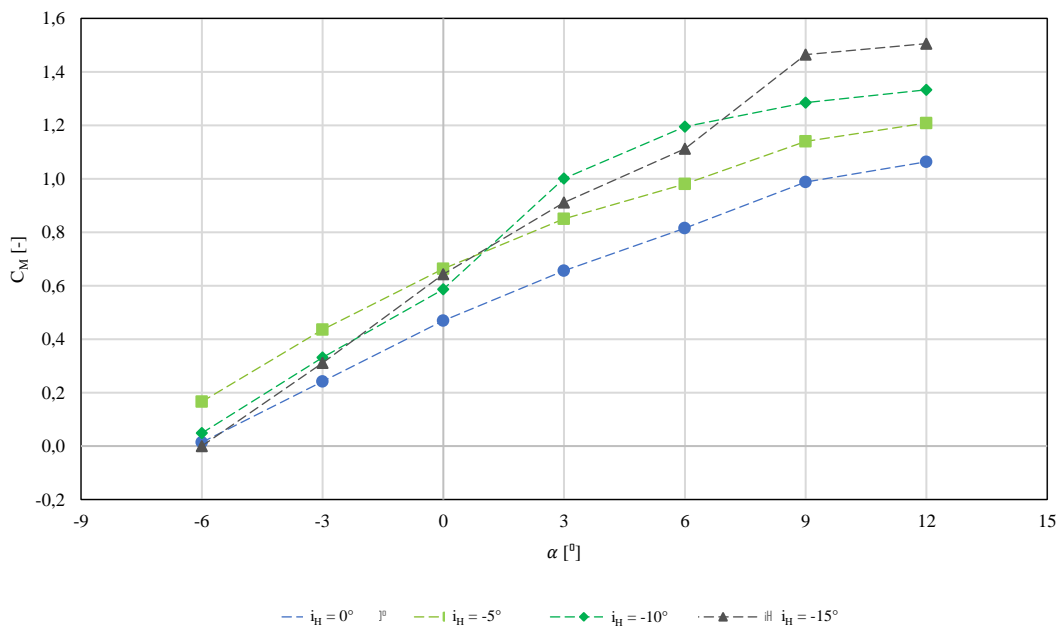


Abbildung 12: Veränderung der Momentenkennlinie bei hinterer Schwerpunktlage und größeren Höhenleitwerkeinstellwinkeln

Neben der Veranschaulichung der Einflüsse von  $i_H$  und  $x_N$  auf den Momentenverlauf ermöglicht der Prüfkörper die Untersuchung weiterer dazugehöriger Effekte. Bei größeren Einstellwinkeln ( $i_H < -5^\circ \wedge i_H > 10^\circ$ ) können Strömungsabriss am Höhenleitwerk beobachtet werden (siehe Abb. 12). Des Weiteren reißt die Strömung am Höhenleitwerk bei positiven Anstellwinkeln deutlich später und bei negativen Einstellwinkeln deutlich früher ab, was auf den Einfluss des vom Flügel erzeugten Abwindes zurückzuführen ist.

## 5. Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung lässt sich schließen, dass der Einfluss der Schwerpunkt- und Höhenleitwerkeinstellung auf die statische Längsstabilität eines Flugzeuges anhand eines additiv gefertigten Versuchsmodells im GUNT HM 170 Windkanal demonstriert werden kann. Das entworfene Versuchsmodell und der dazugehörige Laborversuch haben sich bereits in der Lehre an der Technischen Hochschule Wildau bewährt.

## Quellen

- Brockhaus, R., Alles, W., & Luckner, R. (2011). *Flugregelung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: ISBN 978-3-642-01442-0.
- Fichter, W. (2015). *Statische Stabilität der Längsbewegung*. Stuttgart, Deutschland.
- G.U.N.T Gerätebau GmbH (2023), *HM 170 Offener Windkanal*, [https://www.gunt.de/images/data\\_sheet/769/HM-170-Offener-Windkanal-gunt-769-pdf\\_1\\_de-DE.pdf](https://www.gunt.de/images/data_sheet/769/HM-170-Offener-Windkanal-gunt-769-pdf_1_de-DE.pdf)
- Klahn, C., Meboldt, M., Fontana, F., Leutenecker-Twelsiek, B., & Jansen, J. (2018). *Entwicklung und Konstruktion für die Additive Fertigung*. (C. Klahn, & M. Meboldt, Hrsg.) Würzburg: Vogel Business Media GmbH & Co. KG.
- Mohamed, O.A., Masood, S.H. & Bhowmik, J.L. *Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects*. Adv. Manuf. 3, 42–53 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0097-7>
- Ritter, S. (2020). *Formnext AM Field Guide Compact*. Frankfurt am Main: Mesago Messe Frankfurt GmbH.

# Miniaturisierung einer Starrflügeldrohne für die Luftaufklärung bei Vegetationsbränden

Lars Muth<sup>1</sup>, David Rieck<sup>2</sup>

1 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, lars.muth@th-wildau.de

2 Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, david.rieck@th-wildau.de

## Abstract

Luftaufklärung liefert bei Vegetationsbränden bereits jetzt schon wertvolle Informationen für die Einsatzleitung. Bisher eingesetzte unbemannte Systeme sind fast immer Multicopter. Starrflügler fliegen deutlich effizienter, können dadurch größere Flugzeiten erreichen und größere Strecken befliegen. Je kleiner diese Starrflügelsysteme sind, desto einfacher ist deren Handhabung. In diesem Projekt wurde untersucht, ob eine Miniaturisierung der Technik auf eine Spannweite unter 2,5 m möglich ist, ohne den Informationsgewinn gegenüber deutlich größeren und komplexeren Systemen einzuschränken

## 1. Einleitung

Infolge des globalen Klimawandels ist es in Deutschland vermehrt zu verheerenden Waldbränden gekommen. Insbesondere die schweren Waldbrandjahre 2018, 2019 und zuletzt 2022 sind vielen Menschen in Erinnerung geblieben (Statista, o.D.). Es ist davon auszugehen, dass diese Ereignisse zukünftig verstärkt auftreten werden. Nicht nur in diesen Einsätzen werden unbemannte Luftfahrtsysteme zur Lageaufklärung und -beobachtung verwendet. Das Potenzial dieser Fluggeräte bei der einsatztaktischen Einbindung wird bei weitem noch nicht voll ausgeschöpft. Mit den im Forschungsprojekt ALARM (gefördert vom Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung) gewonnenen Erkenntnissen kann dies geändert werden. In diesem Förderprojekt ist ein System entstanden, welches als Gesamtpaket bei Großschadenslagen eine effektive Luftaufklärung liefert und so zur sicheren und effektiven Durchführung des Einsatzes beitragen kann. Das Potential eines solchen Systems wurde immer wieder gemeinsam mit Retungskräften überprüft und bewertet.



Abbildung 1: ATISS Starrflügeldrohne mit 5 m Spannweite und bis zu 25 kg Abfluggewicht

Die Kernfähigkeiten, die in ALARM erprobt wurden, sollten nun nach Abschluss des Projektes in ein kleineres und für die Einsatzkräfte einfach zu bedienendes System überführt werden.

Es wurde ein Proof of Concept eines unbemannten Starrflüglers entwickelt und gebaut, der bei der Lageaufklärung über weite Strecken und längere Zeiträume (>2 h) eingesetzt werden kann. Der Starrflügler wird durch innovative Lösungen im Bereich der Funkreichweitenmaximierung sowie der Luftraumdarstellung und -überwachung ergänzt.

## 2. Starrflügler statt Multicopter

Im Gegensatz zu den heute weit verbreitet eingesetzten Drehflüglern (Multicopter) ermöglichen Starrflügler durch ihren erheblich effizienteren Flug deutlich größere Reichweiten und längere Flugzeiten. Der bisherige Vorteil von Coptern senkrecht starten und landen zu können, kann durch automatische Handstarts und Landungen ausgeglichen werden. Durch die höheren Reichweiten findet sich im näheren Umfeld auch immer ein geeignetes Start- und Landegebiet.

Die simple Handhabung des Starrflüglers wird durch die Miniaturisierung der Technik erreicht. In ALARM wurde ein Starrflügler (ATISS) mit 25 kg maximaler Abflugmasse und 5 m Spannweite als Sensorträger genutzt. Durch die Verwendung hochintegrierter Einzelsysteme und die Reduzierung auf die jeweils kleinsten und leichtesten Komponenten konnte die Spannweite auf 2,40 m und das Abfluggewicht auf unter 3 kg reduziert werden. Dabei wurde der Funktionsumfang nicht eingeschränkt. Lediglich die Bewegung der Kamera wurde auf eine Achse verringert, was aber in dem geplanten Einsatzszenario keine Einschränkung darstellt, da das Video von der Kamera selbst softwareseitig stabilisiert wird.

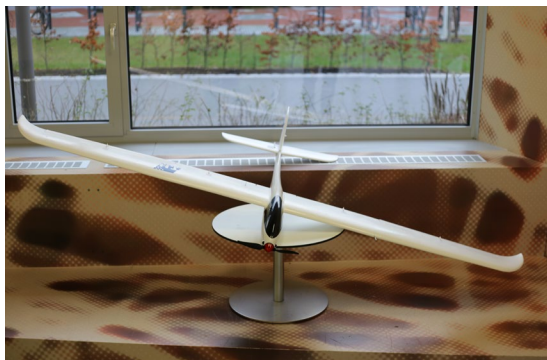


Abbildung 2: Proof of Concept für die Miniaturisierung des ATISS (2,40 m Spannweite)

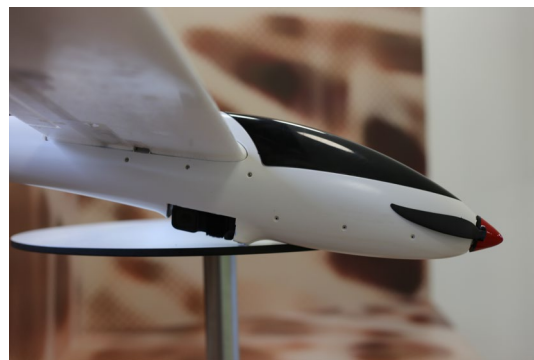


Abbildung 3: unten im Rumpf ist die Kamera mit Bildstabilisierung angebracht

## 3. Verkleinerung des Starrflüglers

Nach einer Aufstellung der notwendigen Komponenten wurde für einen ersten Proof of Concept ein kommerzielles Modellflugzeug als Basis gewählt, welches einem Segelflugzeug nachempfunden ist. Die Vorteile dieses Modells bestehen im verfügbaren Platz zur Unterbringung der Komponenten und den effizienten Flugleistungen, welche ein Flugmodell dieser Konfiguration mit sich bringt. Der Rumpf ist aus dünnwandigem Kunststoff und bietet somit genügend Stabilität und gleichzeitig ein großes Volumen, während die Flügel aus leichtem und robusten EPP gefertigt sind, und somit für die

geplanten Umbauten gut zu bearbeiten sind. Das Modell wurde inklusive des Antriebes und der Rudermaschinen gekauft.

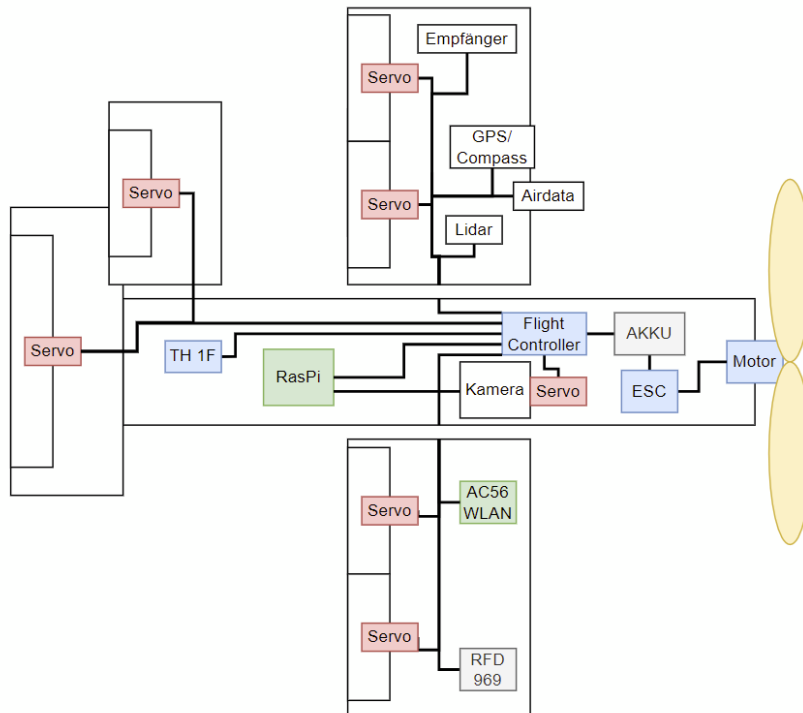


Abbildung 4: vereinfachte Übersicht der Komponenten

Alle weiteren Komponenten wurden anschließend zusätzlich integriert. Die erhebliche Reduzierung der Größe und des Gewichts gegenüber dem ATISS konnte nur durch eine Verteilung der Komponenten auf alle Baugruppen des Flugmodells erreicht werden. So sind verschiedene Empfangs- und Sendesysteme (RC-Empfänger 2,4 GHz, Telemetrie 868 MHz, GPS 1575,42 MHz, Video 5,8GHz, Transponder: ADS-B und FLARM) und weitere Sensoren (LIDAR, Luftdatensonde) in den Tragflächen untergebracht. Dadurch kann der Abstand zwischen den einzelnen Funksystemen ausreichend groß gestaltet werden. Elektrische und mechanische Anschlüsse wurden so umgebaut, dass sie selbstständig beim Zusammenstecken der Flügel einrasten. Im Rumpf wurde auf kleinem Raum das Herzstück der Elektronik untergebracht. Ein Flightcontroller mit sehr geringen Abmessungen, der Ardupilot – eine Open-Source-Autopiloten-Software Suite – unterstützt, wurde für die Videoübertragung um einen Raspberry Pi Zero ergänzt. Die dazugehörige Stromversorgung und die Stecker für die elektrischen Verbindungen zu den Flügeln wurden kompakt auf einer additiv hergestellten Basis untergebracht. Unter dieser Basisplatte wurde die Mechanik befestigt, welche die Kamera um die Flugzeuglängsachse drehen und für die Landung einfahren kann. Die Kamera stabilisiert softwareseitig die aufgenommenen Bilder. Der verbleibende Raum im Rumpf wurde für die Integration des Akkusystems genutzt. Dieses basiert auf Lilon-Rund-Zellen, welche zur Einhaltung des Schwerpunktes über weite Teile des Rumpfes verteilt wurden.

Der Autopilot ermöglicht automatische Starts und Landungen. Nach dem Aktivieren wird der Starrflügler gegen den Wind ungefähr horizontal geworfen. Dies wird vom Autopiloten erkannt und der Motor wird gestartet und der Steigflug zum ersten Wegpunkt

eingeleitet. Am Ende der Mission oder jederzeit auch auf Befehl über die Ground-Control-Station kehrt das System zum Startplatz zurück und landet im Umkreis weniger Meter an der Stelle, an welcher der Start stattfand.

Durch die starke Gewichtsreduzierung könnte zukünftig eine Klassifizierung des Starrflüglers in der EASA-Drohnenkategorie C2 erfolgen und somit ein Betrieb in der Unterkategorie A2 erfolgen, was das Einsatzgebiet des Starrflüglers über den BOS-Bereich hinaus ermöglichen würde (EASA, o.D.).

#### 4. Gesamtsystem

Eine Videoübertragung basierend auf einer Open-Source Lösung (OpenHD) ermöglicht die Übertragung des hoch aufgelösten Videos in nahezu Echtzeit. Die Reichweite wird durch eine fliegende Relaisstation – bestehend aus einem kabelgebundenen Copter, welcher die Empfangstechnik trägt - erweitert. So kann von der Bodenstation aus mittels Netzkabel ein Videostream in die Einsatzleitung geliefert werden.



*Abbildung 5: Relaisstation bestehend aus Octocopter mit Empfangs- und Sendetechnik und Tetherstation*

Zusätzlich wurde eine Softwarelösung entwickelt, welche eine Luftraumdarstellung ermöglicht, in der alle Teilnehmer des Luftverkehrs angezeigt werden. Dies wird durch die Verwendung von Transpondertechnologie (ADS-B und Flarm) ermöglicht, welche in der bemannten Luftfahrt bereits etabliert ist. Auch bereits vorhandene Drohnen können leicht nachgerüstet werden.

#### 5. Fazit/Ausblick

Eine verkleinerte speziell angepasste Version des ATISS ist umsetzbar und funktionsfähig. Flugzeiten von ca. 2 h sind mit dem System möglich und einsatztaktisch wertvoll. Die Reduzierung auf die wesentlichen Komponenten bedeutet weniger Aufwand im Betrieb und geringere Kosten. Das gewählte Flugmodell bietet eine gute Basis, birgt aber noch Potential zur weiteren Optimierung. Geplant sind Verbesserungen an der Aerodynamik und eine genauere Anpassung des aerodynamischen und flugmechanischen Entwurfs an die teilweise noch zu bestätigenden Leistungsanforderungen im Einsatz. Die weitere Integration der Elektronischen Bauteile zur Erhöhung der Ausfallwahrscheinlichkeiten und der Verringerung des Aufwandes bei Fertigung, Wartung und Reparatur. Weiterhin bieten Transport und Aufbau am Einsatzort noch Potential zur Verbesserung.



## **Literaturverzeichnis**

EASA. (o. D.). Open Category - Civil Drones.

<https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/drones-regulatory-framework-background/open-category-civil-drones>

Statista. (o. D.). Von Waldbränden betroffene Fläche in Deutschland bis 2021.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/177439/umfrage/von-waldbraenden-betroffene-flaeche-in-deutschland/?locale=de>

# Simulationsberechnungen eines Spektrometers mit Rowlandkreis und Simulation einer Eintrittsöffnung mit großer NA

Katharina Strathmann, Oliver Lass, Sebastian Smarzyk, Matthias Haupt

Jade Hochschule, Friedrich-Paffrath-Str. 101, 26389 Wilhelmshaven

## Abstract

An der Jade Hochschule in Wilhelmshaven wird im Projekt „MiniSpectral“ ein integriertes, miniaturisiertes Spektrometer zur Herstellung in Kunststoffspritzguss entwickelt, welches sowohl kostengünstig als auch hochauflösend sein wird. Dadurch ist der Einsatz in der Medizin, nicht nur stationär in der Praxis oder im Krankenhaus, sondern auch mobil im Feldeinsatz denkbar. Die Grundlage des Spektrometers stellt eine Rowlandkreis-geometrie dar, in welche die zu untersuchende Strahlung mittels einer optischen Polymerfaser (POF) eingekoppelt wird. Neben der Variation von Gitterkonstanten und Rowlandkreisradien werden Einflüsse von Parametern wie Material oder Wellenlänge erfasst und optimiert. Darüber hinaus wird anhand von Experimenten das Temperaturverhalten und die Spritzbarkeit verwendeter Materialien untersucht. In der vorliegenden Veröffentlichung liegt der Fokus auf der Erstellung der Simulation.

## 1. Einleitung

Moderne, kommerziell verfügbare Spektrometer weisen in der Regel Nachteile in Bezug auf Größe, Gewicht und Justage sowie Preis und Auflösung auf. In der vorliegenden Veröffentlichung wird ein Spektrometer in kleiner Bauform betrachtet. Ziel ist es, ein integriertes, justagefreies Spektrometer mit hoher Auflösung zu entwickeln, das kostengünstig in nur einem Schritt spritzgegossen werden kann. Dieses Spektrometer wird auf einer Rowlandkreisgeometrie basieren. Die Lichteinkopplung erfolgt mittels einer optischen Polymerfaser (POF), welche mit einem UV-aushärtenden Polymer passender Brechzahl  $n$  direkt an die Rowlandkreisgeometrie angeklebt wird. Im Projekt wird eine Dichte von 1000 Linien/mm und eine zu erreichende Auflösung  $<1$  nm angestrebt.

Die möglichen Einsatzbereiche eines solchen Spektrometers sind breit gefächert: Aufgrund des kompakten Aufbaus und des günstigen Preises sind Einsätze in Laboratorien ebenso denkbar wie im Feld, wo insbesondere die Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen und somit auch die Justagefreiheit eine große Rolle spielen. Explizit wird der Einsatz eines solchen Spektrometers in den Bereichen Umweltanalytik (beispielsweise zur Analyse der Gewässerqualität oder von Gaszusammensetzungen), Lebensmittelkontrolle, Medizintechnik, oder auch in landwirtschaftlichen Betrieben (beispielsweise zur Analyse von Futtermitteln oder der Bodenqualität) gesehen.

## 2. Rowlandkreisgeometrie

Als Rowlandkreis wird eine Geometrie bezeichnet, die Henry A. Rowland 1883 beschrieb (Rowland, 1883). Das Funktionsprinzip basiert auf zwei Kreisen mit dem Radienverhältnis 1:2, wie Abbildung 1 zeigt. Der Kreis mit kleinerem Radius wird als Rowlandkreis bezeichnet. Der Kreis mit größerem Radius trägt ein entsprechend gekrümmtes Dispersionsgitter, entsprechend wird dieser Kreis als Gittergrundkreis bezeichnet. Bei Einkopplung von fokussierter polychromatischer Strahlung (hier aus einer POF austretend) auf dem Rowlandkreisradius wird diese Strahlung am Gitter gebrochen. Die enthaltenen Wellenlängen werden dann getrennt voneinander an anderer Stelle auf dem Rowlandkreisradius fokussiert. Je nach Anordnung von Quelle und Gitter können dabei verschiedene Beugungsordnungen beobachtet werden.

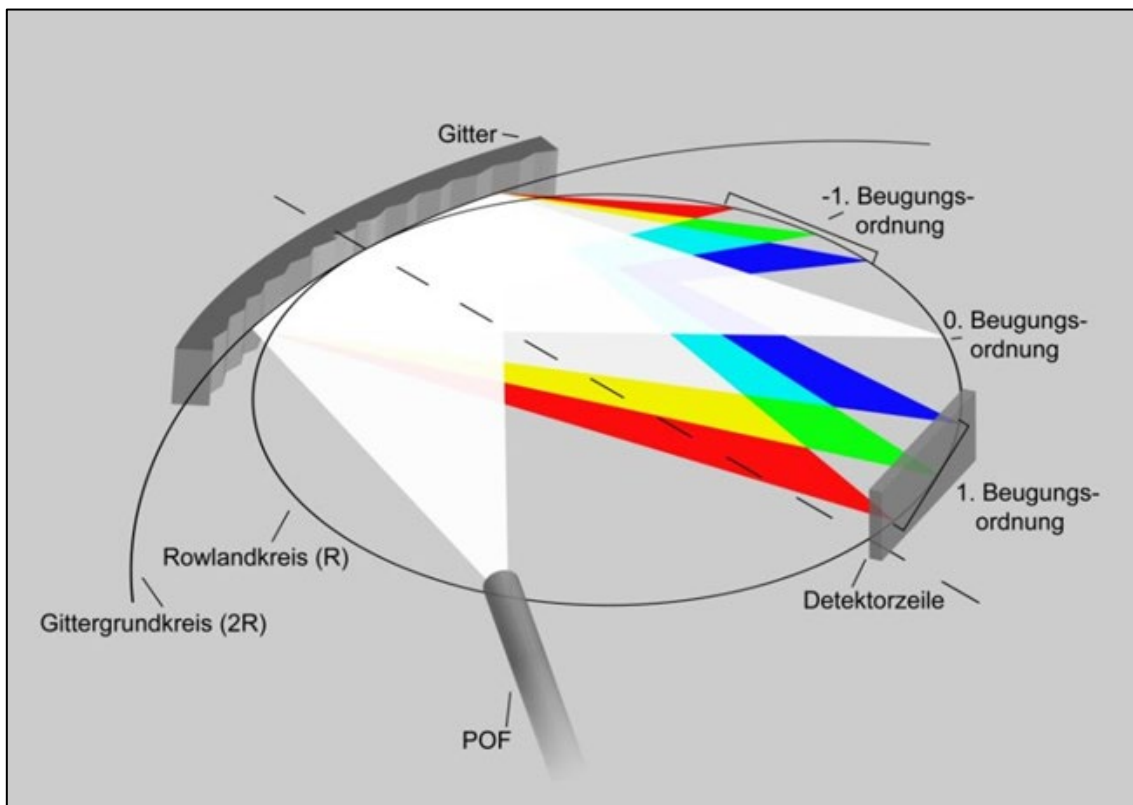


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Rowlandkreisgeometrie (Rowlandkreis und Gittergrundkreis), mit Einkopplung polychromatischer Strahlung aus einer POF und Auftrennung dieser Strahlung in drei Wellenlängen (verschiedene Beugungsordnungen) (Fischer & Haupt, 2010)

## 3. Erstellung einer ersten Simulation

Zunächst wird unter Verwendung der Software *Ansys Zemax OpticStudio* ein Grundaufbau des Spektrometers angefertigt. Als Eingangsfaser wird eine Standard-SI-POF angenommen, an die sich direkt die Rowlandkreisgeometrie anschließt. Als Material wird zunächst Polymethylmethacrylat (PMMA) eingesetzt. Simuliert wird mit vier Wellenlängen: 405 nm, 450 nm, 520 nm, 660 nm. Der Übersicht halber erfolgt die Darstellung dieses Grundaufbaus in Abbildung 2 lediglich zweidimensional. Der vollständige Kreis stellt den Rowlandkreis dar. Auf der linken Seite ist die Einkopplung, und auf der rechten Seite ist als Teilkreis der Gittergrundkreis erkennbar. Farblich entsprechend ihrer Wellenlänge sind die Strahlengänge der vier simulierten Wellenlängen dargestellt.

Weitere Linien sind der Konstruktion des Grundgerüsts innerhalb der Software geschuldet.

Für die in dieser Veröffentlichung vorgestellten ersten Ergebnisse wurden folgende Annahmen getroffen:

1. Einkopplung aus einer Punktquelle mit Numerischer Apertur einer Standard-SI-POF. Die der Realität näherkommende Simulation von Strahlen bei Austritt aus einer Multimodefaserendfläche erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.
2. Einsatz eines sphärischen Gitters. Da die fokussierende Eigenschaft der Rowlandkreisgeometrie nur in der Ebene zutrifft, wird zur Verringerung von Bildfehlern in der Bildebene bzw. Detektorebene des Spektrometers ein asphärisches Gitter zum Einsatz kommen.

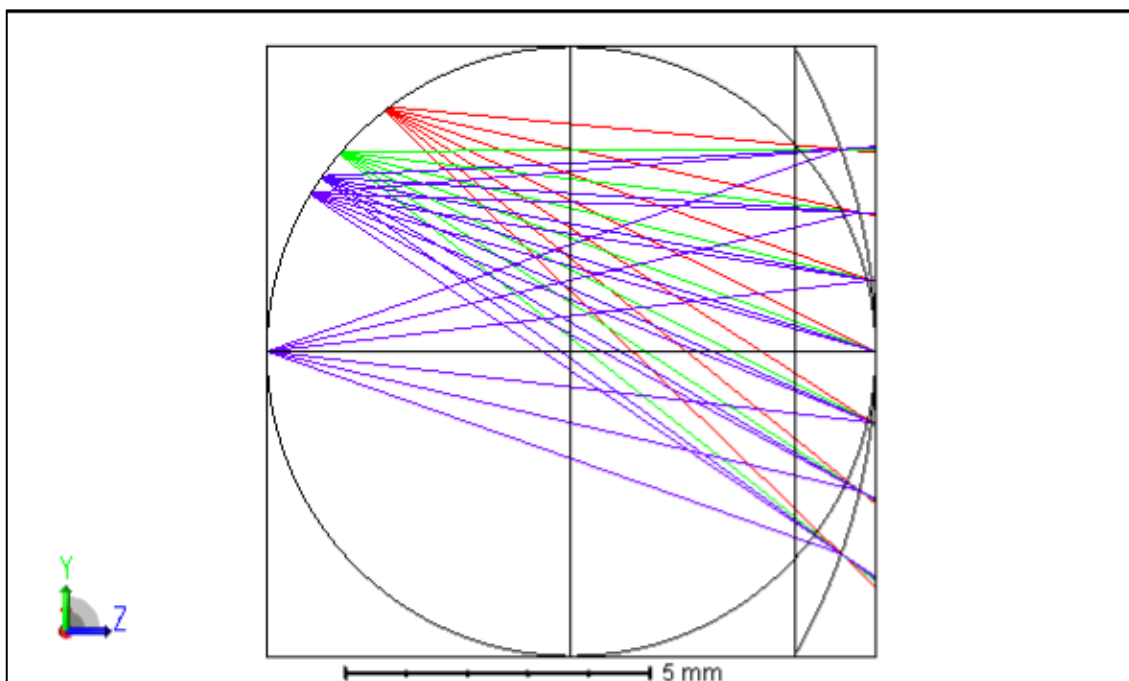


Abbildung 2: Simulation einer Rowlandkreisgeometrie mit Einkopplung von vier Wellenlängen aus einer Punktquelle (links) sowie Beugung dieser am Gitter (rechts), zweidimensionale Darstellung. Rowlandkreisradius 5 mm; 1000 Linien/mm; Wellenlängen 405 nm, 450 nm, 520 nm, 660 nm (entsprechend ihrer Lichtfarbe dargestellt); PMMA.

Wesentliche Parameter wie die Anzahl der Linien/mm, die Radien der Rowlandkreisgeometrie oder die Wellenlänge werden im Folgenden variiert. Als Ausgangsgrößen wurden neben oben genannten Wellenlängen und Material eine Linienzahl von 1000 Linien/mm sowie ein Rowlandkreisradius von 5 mm gewählt. Die Abstände der Fokuspunkte der Einzelwellenlängen auf der Detektorebene des Spektrometers können innerhalb der Software ausgemessen werden. Die Spotdurchmesser selbst können aufgrund des Einsatzes eines sphärischen Gitters lediglich abgeschätzt werden, da aufgrund des Einsatzes des sphärischen Gitters die Spots entlang der x-Achse deutlich verbreitert sind, wie das Spot-Diagramm in Abbildung 3 zeigt. Daher wird im nächsten Schritt die Implementierung eines torischen Gitters angestrebt.

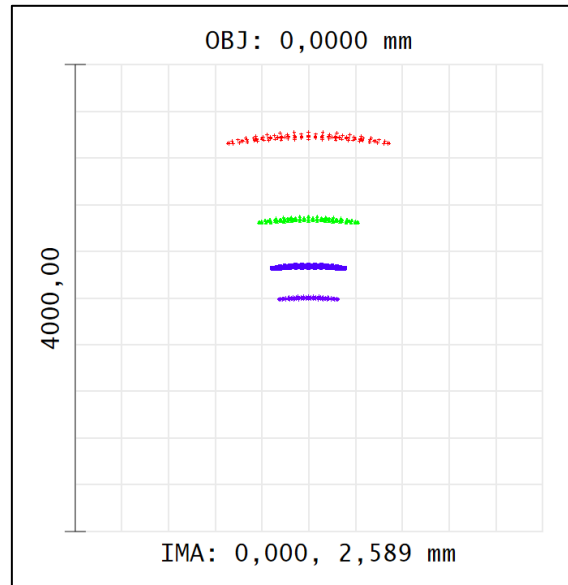


Abbildung 3: Spot-Diagramm zur Veranschaulichung von Bildfehlern (Verbreiterung der Spots entlang der x-Achse) beim Einsatz eines sphärischen Gitters (Einheiten sind  $\mu\text{m}$ ). Rowlandkreisradius 5 mm; 1000 Linien/mm; Wellenlängen 405 nm, 450 nm, 520 nm, 660 nm (entsprechend ihrer Lichtfarbe dargestellt); PMMA.

#### 4. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt erste Schritte der Entwicklung der Simulation eines miniaturisierten hochauflösenden Spektrometers auf Polymerbasis, dessen Grundlage eine Rowlandkreisgeometrie ist. Neben der erfolgreichen Trennung der vier eingesetzten Wellenlängen ist bereits erkennbar, dass ein asphärisches Gitter essentiell ist, um in der Bildebene des Spektrometers möglichst kleine und aberrationsfreie Spots zu erreichen. Weiterhin ist zu prüfen, welchem Abstand auf dem Rowlandkreis eine Wellenlängendifferenz von 1 nm entspricht und ob dieser Abstand mit gängigen Detektorzeilen korreliert. Um hier die angestrebte Kongruenz zu erhalten, kommt die Variation der Parameter Kreisradien, Material und Gitterkonstante zum Tragen. Dies wird in einer nachfolgenden Veröffentlichung untersucht.

#### Quellen

Rowland, H. A. (1883). XXIX. On concave gratings for optical purposes. *The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science*. <https://doi.org/10.1080/14786448308627419>

Fischer, U. & Haupt, M. (2010). Integrated WDM System for POF Communication with Low Cost Injection Moulded Key Components. *Advanced Photonics & Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1364/anic.2010.awb2>

# Additive Manufacturing of Electrodes: Innovative Applications and Opportunities

Mike T. Hauschultz<sup>1\*</sup>, Maria H. Friedo<sup>1</sup>, Torsten Döhler<sup>1</sup>, Andrea Böhme<sup>1</sup>, Maria Richetta<sup>2</sup>, Andreas H. Foitzik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Applied Sciences Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, University of Rome Tor Vergata, Via del Politecnico 1, 00133 Rome, Italy

\* Correspondence: mike.hauschultz@th-wildau.de

## Abstract

Additive manufacturing, also known as 3D printing, has gained tremendous importance in recent years. One of the areas where additive manufacturing is particularly useful is in the fabrication of electrodes. Electrodes are an important component of a wide range of applications, including electrochemistry, biomedical engineering, energy storage, analytics, electronics as well as life sciences. Traditionally, electrodes have been manufactured through costly processes such as etching, electroplating or cutting and milling. Additive manufacturing offers a new way to fabricate electrodes by depositing materials layer by layer (Yap et al., 2015). This opens up new possibilities for designing electrodes with complex geometries and structures that would not be possible using conventional methods. As a result, 3D printed electrodes are gaining interest in fields such as electromobility, water disinfection, manufacturing, and life sciences, which will be presented in this paper.

## Introduction

The purpose of this paper is to provide an overview of several innovative applications where 3D printing is, or could be, used in the manufacture of electrodes. Since electrodes are mostly metallic, this work focuses mainly on applications where selective laser melting could be used. There are other 3D printing techniques that would also be applicable, but they are not the focus of this work. These are among others fused filament fabrication (FFF), printing of conductive materials or post-processing of regular filament prints, binder jetting and sintering and direct metal laser sintering (DMLS).

## Selective Laser Melting (SLM)

Selective Laser Melting (SLM) is a technology that can be used to create three-dimensional metal objects. This process uses a layer-by-layer approach to manufacturing. At the beginning of the process, a thin layer of metal powder (pure metal or alloy) is deposited on the print bed. Then a laser, directed by a galvo mirror system, melts the metal powder locally where a 3D object is to be built. The print bed is lowered by the height of one layer before this process is repeated layer by layer to form a 3D object. This allows for overhangs, bridges and complex internal structures that would not be possible with 2.5D milling or subtractive manufacturing. As many SLM printers allow recycling of excess powder, the process is environmentally friendly compared to conventional manufacturing techniques. To enable recycling, the formation of metal oxides must be avoided, so the printing process is performed under inert gas. This also prevents burning and combustion effects.

The manufacturing process is also easier to learn and automate than traditional techniques. These factors, along with the freedom of design, are why this process is widely used in prototyping and lightweight manufacturing. (Yap et al., 2015)

### **Electric Field Forming Applications**

The applications of electric field forming, 3D printed electrodes could be divided into two categories: life science applications and electronics applications.

#### Application in Electronics and Fabrication

Starting with electronics, there are already many applications using 3D printed parts, such as printing entire circuits using conductive filaments on an FFF 3D printer (Nassar & Dahiya, 2021). This makes it possible to better fit a circuit board into small spaces with special requirements. These applications are compact and flexible in their use cases. Other applications in this area include the fabrication and tuning of specific millimeter-wave antennas, as demonstrated by Zhang's research team (Zhang et al., 2016).

Besides applications in electronics, there are several applications for 3D printing in electrochemistry, as Browne's team reports. In addition to developing energy storage based on supercapacitors and batteries, there are prospects for creating energy conversion systems based on 3D printed electrodes for water splitting applications. Since SLM 3D printed electrodes have higher conductivity, they see more opportunities in using them over FFF printed electrodes. (Browne et al., 2020)

There are technologies that are highly dependent on the shape of the electric field. Even though they used subtractive manufacturing fabricated electrodes in their research, their work could be extended and followed up by using 3D printed electrodes because they have more freedom of shape. Two of these technologies are plasma forming and electrodeposition. In plasma forming, 3D electrodes were used to improve NO<sub>x</sub> removal (Takaki et al., 2004). In electrolytic deposition, the thickness of the deposited material is directly dependent on the strength of the electric field. The so-called "dog-bone effect" has been used in reverse to influence the deposition by structuring the electrode, which changes the electric field as to be seen in Figure 1 (Döhler, Böhme, Geissler, et al., 2022; Döhler, Böhme, Neumann, et al., 2022). To extend this work, a 3D-printed electrode can be evaluated that offers more possibilities in shaping the electric field.

Another technology based on the electric field is EDM (electrical discharge machining), which is used to create negatives of 2.5-dimensional electrodes, even with high aspect ratios. The use of 3D printed electrodes is already state of the art for complex structures that can't be produced by subtractive manufacturing. Different 3D printing techniques are used for this process in the literature, including an FFF process combined with washing and sintering (Bordón et al., 2022) or a DMLS process comparable to the SLM process (Reddy et al., 2020).

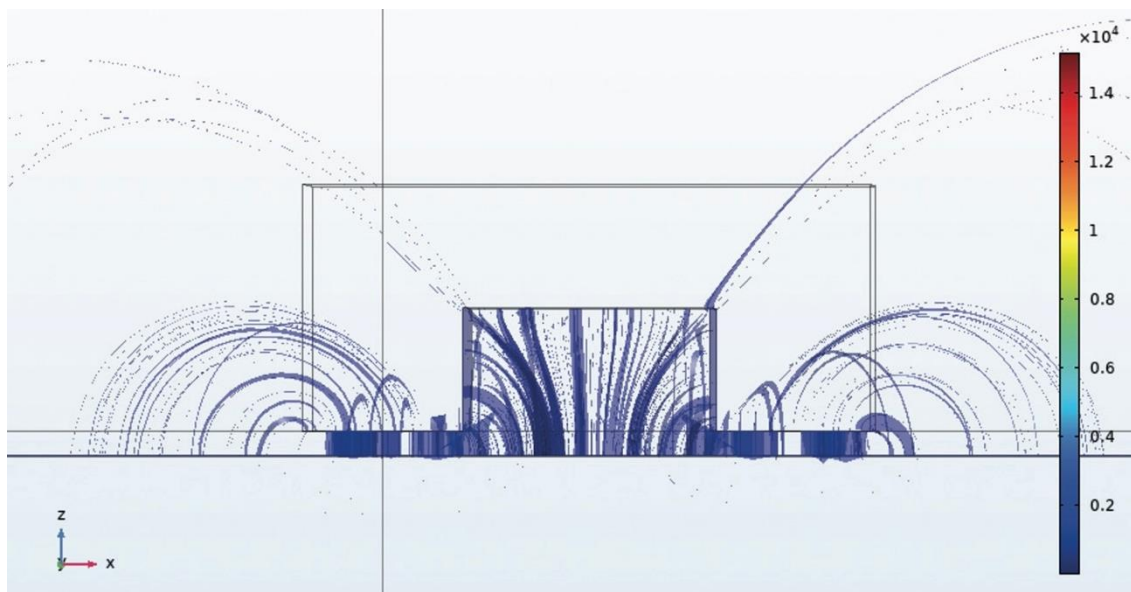


Figure 1: Simulated density function of electric field lines as a function of electrode shape. The results show the usefulness of the electrode shape for applications where electric field tuning can be exploited. (Simulation in Comsol Multiphysics, Module Electrodeposition) (Döhler, Böhme, Neumann, et al., 2022)

### Application in Life Sciences

With 3D printed structures already being studied and tested for bone-replacement implants in the human body (Chacón et al., 2022; Luo et al., 2018), the idea of using 3D printing in other life science applications does not seem too far-fetched.

Many of these life science applications have been performed by Pumera's research group, which has demonstrated improvements in biosensing applications using a helical metal 3D-printed electrode (Ambrosi et al., 2016). Using this type of electrode, promising qualities could be shown in measuring the electrochemical properties of samples in solution of metal ions such as Pb and Cd (Lee et al., 2017) and biomolecules such as phenols (which are found in plastics, pharmaceuticals, dyes, etc.) (Cheng et al., 2017), acetaminophen (also known as Paracetamol) and the neurotransmitter dopamine (Liyarita et al., 2018).

Similarly, 3D structured electrodes can be used to remove pollutants in water using the electrocoagulation process. This process dissolves metal hydroxides from the electrode, which bind and precipitate most substances in the water. Research has shown that the efficiency of this process depends on the shape and surface structure of the electrode (Khandegar & Saroha, 2016). Therefore, the shape of printed electrodes can be further improved to maximize the efficiency.

### **Cooling Applications**

In addition to field forming applications, cooling applications can also be divided into electronics and manufacturing applications and life sciences applications, which appear to be in the minority in this case.



### Application in Electronics and Fabrication

Since 3D printing has the ability to form internal structures in addition to external structures, it is possible to use it for complex cooling channels, which will be the focus of this section. The applications presented aim to improve the efficiency and/or lifetime of electrodes by improving existing cooling channels.

The basis for this cooling application was created by cooling batteries with Tesla valve structured cooling channels, which results in a lower temperature gradient and therefore better cooling performance (Monika et al., 2021). Combining such cooling structures with battery electrodes could further improve efficiency, which would be important for applications in electric vehicles.

Cooled electrodes have been shown to increase the lifetime of production electrodes in electric discharge machining and welding (Hirsch & Leibovitz, 2019). While water-cooled welding electrodes have been commercially available for some time, cooled EDM electrodes are still a research topic. The integration of a simple cooling structure for use with liquid nitrogen has been shown to reduce tool electrode wear by up to 27% (Abdulkareem et al., 2010). A combination of such electrode cooling with Tesla mixing structures and conformal cooling channels through additive manufacturing is expected to provide a greater overall reduction in electrode wear.

### Application in Life Sciences

In addition to field forming applications, there are life science applications for cooled electrodes. An important example is water-cooled electrodes for radiofrequency ablation (RFA). This technique is used to destroy cancer cells inside the living organism using high-frequency currents. By cooling such electrodes, secondary indirect damage can be avoided (Shi et al., 2019). There are also cooled wet electrodes that additionally deliver saline into the body to increase the coagulation volume (Miao et al., 2000). All of these features could be included without the use of 3D printing, which raises the question of what further improvements in cooling capability and functionality could actually be achieved with 3D printing.

### **Conclusion**

This paper provides an overview of three-dimensional electrodes, their use cases and future opportunities. These include millimeter wave antennas, applications in electroplating and plasma, biosensors and EDM, as well as various cooling implications to improve the lifetime and efficiency of electrodes or secondary damage in RFA applications. In addition, electrodes with high surface-to-volume ratios and flow-through characteristics can be produced. Therefore, future use may focus on applications in hydrogen catalysis and flow-through reactors for sensing and temperature control.

## References

- Abdulkareem, S., Ali Khan, A. & Konneh, M. (2010). Cooling effect on electrode and process parameters in EDM. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(6), 462–466. <https://doi.org/10.1080/15394450902996619>
- Ambrosi, A., Moo, J. G. S. & Pumera, M. (2016). Helical 3D-printed metal electrodes as custom-shaped 3D platform for electrochemical devices. *Advanced Functional Materials*, 26(5), 698–703. <https://doi.org/10.1002/adfm.201503902>
- Bordón, P., Paz, R. & Monzón, M. D. (2022). Evaluation of the Performance of Atomic Diffusion Additive Manufacturing Electrodes in Electrical Discharge Machining. *Materials*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/ma15175953>
- Browne, M. P., Redondo, E. & Pumera, M. (2020). 3D Printing for Electrochemical Energy Applications. *Chemical Reviews*, 120(5), 2783–2810. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00783>
- Chacón, J. M., Núñez, P. J., Caminero, M. A., García-Plaza, E., Vallejo, J. & Blanco, M. (2022). 3D printing of patient-specific 316L–stainless–steel medical implants using fused filament fabrication technology: two veterinary case studies. *Bio-Design and Manufacturing*, 5(4), 808–815. <https://doi.org/10.1007/s42242-022-00200-8>
- Cheng, T. S., Nasir, M. Z. M., Ambrosi, A. & Pumera, M. (2017). 3D-printed metal electrodes for electrochemical detection of phenols. *Applied Materials Today*, 9, 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.07.005>
- Döhler, T., Böhme, A., Geissler, U., Hallmann, P., Foitzik, A., Hofmann, M., Bochem, R. & Neumann, J. (2022). *Apparat und Verfahren zur Aufbringung einer strukturierten Beschichtung sowie Metallgegenstand mit einer strukturierten Beschichtung* (Patent No. DE102020127401).
- Döhler, T., Böhme, A., Neumann, J., Bochem, R., Hoffmann, M., Foitzik, A. H. & Geissler, U. (2022, July). Mikrogalvanische Methode zur Abscheidung von lateral verteilten Schichtdicken unter Verwendung einer galvanischen Beschichtungstechnologie. *IMaps Deutschland Plus*, 984–987. [www.imaps.de](http://www.imaps.de)
- Hirsch, R. B. & Leibovitz, R. (2019). *Influence of Water Temperature and Flow on Electrode Life*.
- Khandegar, V. & Saroha, A. K. (2016). Effect of Electrode Shape and Current Source on Performance of Electrocoagulation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 20(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000278](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000278)
- Lee, K. Y., Ambrosi, A. & Pumera, M. (2017). 3D-printed Metal Electrodes for Heavy Metals Detection by Anodic Stripping Voltammetry. *Electroanalysis*, 29(11), 2444–2453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elan.201700388>
- Liyarita, B. R., Ambrosi, A. & Pumera, M. (2018). 3D-printed Electrodes for Sensing of Biologically Active Molecules. *Electroanalysis*, 30(7), 1319–1326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elan.201700828>

- Luo, J., Jia, X., Gu, R., Zhou, P., Huang, Y., Sun, J. & Yan, M. (2018). 316L Stainless Steel Manufactured by Selective Laser Melting and Its Biocompatibility with or without Hydroxyapatite Coating. *Metals*, 8(7), 548. <https://doi.org/10.3390/met8070000>
- Miao, Y., Ni, Y., Yu, J. & Marchal, G. (2000). A Comparative Study on Validation of a Novel Cooled-Wet Electrode for Radiofrequency Liver Ablation. *Investigative Radiology*, 35(7). [https://journals.lww.com/investigativeradiology/Fulltext/2000/07000/A\\_Comparative\\_Study\\_on\\_Validation\\_of\\_a\\_Novel.7.aspx](https://journals.lww.com/investigativeradiology/Fulltext/2000/07000/A_Comparative_Study_on_Validation_of_a_Novel.7.aspx)
- Monika, K., Chakraborty, C., Roy, S., Sujith, R. & Datta, S. P. (2021). A numerical analysis on multi-stage Tesla valve based cold plate for cooling of pouch type Li-ion batteries. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 177, 121560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121560>
- Nassar, H. & Dahiya, R. (2021). Fused Deposition Modeling-Based 3D-Printed Electrical Interconnects and Circuits. *Advanced Intelligent Systems*, 3(12), 2100102. <https://doi.org/10.1002/aisy.202100102>
- Reddy, L., Krishna, L., Kumar, S. & Pinninti, R. R. (2020). A Comparative Study on Performance of 3D-Printed EDM Electrode with Conventional EDM Electrode (pp. 217–225). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1124-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1124-0_19)
- Shi, X., Pan, H., Ge, H., Li, L., Xu, Y., Wang, C., Xie, H., Liu, X., Zhou, W. & Wang, S. (2019). Subsequent cooling-circulation after radiofrequency and microwave ablation avoids secondary indirect damage induced by residual thermal energy. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 25(4), 291–297. <https://doi.org/10.5152/dir.2019.17455>
- Takaki, K., Shimizu, M., Mukaigawa, S. & Fujiwara, T. (2004). Effect of electrode shape in dielectric barrier discharge plasma reactor for NO<sub>x</sub> removal. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32(1), 32–38. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.823973>
- Yap, C. Y., Chua, C. K., Dong, Z. L., Liu, Z. H., Zhang, D. Q., Loh, L. E. & Sing, S. L. (2015). Review of selective laser melting: Materials and applications. In *Applied Physics Reviews* (Vol. 2, Issue 4). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/1.4935926>
- Zhang, B., Zhan, Z., Cao, Y., Gulan, H., Linnér, P., Sun, J., Zwick, T. & Zirath, H. (2016). Metallic 3-D Printed Antennas for Millimeter- and Submillimeter Wave Applications. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 6(4), 592–600. <https://doi.org/10.1109/TTHZ.2016.2562508>

# Sustainable production of injection moulds through additive manufacturing and improved application of energy management

Maria H. Friedo<sup>1\*</sup>, Mike Hauschultz<sup>1</sup>, Torsten Döhler<sup>1</sup>, Andrea Böhme<sup>1</sup>, Maria Richetta<sup>2</sup>, Andreas H. Foitzik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Applied Sciences Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, University of Rome Tor Vergata, Via del Politecnico 1, 00133 Rome, Italy

\*Correspondence: maria\_helene.friedo@th-wildau.de

## Abstract

The concept of this thesis is to optimize the manufacturing process of injection moulding tools by using additive manufacturing and thus contribute to environmental protection. For this purpose, the individual steps of the traditional manufacturing process are identified and analysed to determine which steps can be replaced by additive manufacturing. The first step is to clarify which mould components can benefit from additive manufacturing. In particular, the capabilities and limitations of additive manufacturing technologies must be considered.

Furthermore, another focus is on how to optimize the cooling and temperature control of the tools. Potential savings through the use of lightweight or insulating surfaces will be examined. In addition to the technical feasibility, the cost-effectiveness of the concept will also be considered. Finally, the contribution of the concept to the reduction of the environmental impact will be evaluated. In particular, energy savings and the reduction of CO<sub>2</sub> emissions are taken into account.

The potential to optimize the injection mould manufacturing process and reduce environmental impact is significant. Using additive manufacturing can be an economic and environmental advantage.

## Introduction

Injection moulding is the process for the mass production of ready-to-use moulded parts. Plastic is heated and injected under high pressure into a mould. The cavity determines the surface texture and shape of the part. Injection moulds are made using many different manufacturing processes (Dolmetsch, H. [DoH], 2007). Using additive manufacturing to produce this mould can lead to more efficient injection moulds in terms of energy and resource savings. This paper will highlight the environmental impact and suggest improvements. The knowledge gap on energy and material savings during the manufacturing process will be further explored in this and future work.

Additive manufacturing (AM) is the process of creating an object by building it up layer by layer. It is the opposite of subtractive manufacturing, where an object is created by cutting away from a solid block of material (Linke, R. [LiR], 2017). To create a part using

AM, you first need a design. This is usually done using computer aided design (CAD) software. Generative design and simulation can be used to create the optimal shape of the object.

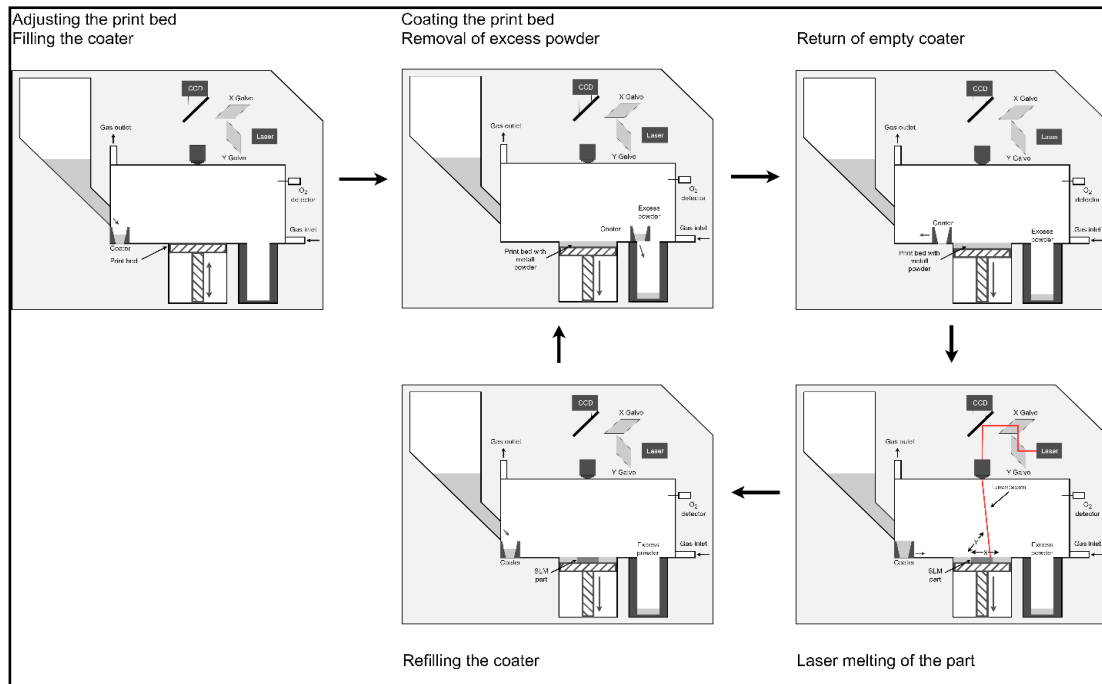


Figure 1: Workflow selective laser melting (SLM)

The entire process is carried out using Selective Laser Melting (SLM) to achieve an efficient tool in terms of rapid cooling. SLM is used to produce near-net-shape parts with good surface quality. This means that the initial manufacture of a component should be close in size and shape to the finished product (Sefene, E.M. [SeEM], 2022). Metal is used for printing injection moulds. The workflow of an SLM printing process is shown in Figure 1. The first step is to set up the print bed and fill the coater with metal powder. Then the first layer is applied and the excess powder is collected. The coater is then returned to its starting position. A laser is used to melt the first layer of the finished part. The build module moves down a few microns (e.g. MPRINT+: 0.45  $\mu\text{m}$  particle size, 0.4  $\mu\text{m}$  height) in the z direction. The coating, melting and positioning processes are repeated until the part is complete. The advantages of SLM for the proposed application are described below. The ability to create complex structures is the main focus. AM can be used to create internal structures that cannot be realised by subtractive manufacturing, such as internal and lightweight structures. Its implementation in lightweight construction is discussed in more detail in the Methodology section. In addition, SLM can enable the rapid production of the designed part and save on supply chains. On the one hand, this leads to shorter operating and transport times, and on the other, to energy savings. Additive manufacturing allows the product to be tailored to the application. Replaces subtractive manufacturing operations such as milling, turning, grinding and EDM. In addition, the post-processing steps of the 3D printed part must be added and considered. The lightweight design reduces the amount of material used and the weight of the finished tool. (Sculpteo [Sc], 2021). All these facts lead to the point that additive manufacturing in injection moulding tools can achieve improved energy management.

During the injection moulding process, energy can only be gained by reducing temperature losses. By making moulds more efficient in terms of cooling or isolating certain layers, the cycle time (time unit per moulded component) can be reduced and thus the energy used per part. The following section discusses cooling and insulation options in more detail.

## Methodology

Injection moulding is a high-energy process that involves melting the plastic and injecting it under pressure into a mould cavity, followed by cooling and ejection of the solidified product. The extracted heat is of low quality, and attempts to recover it are rare, but there is room for improvement in energy efficiency through careful equipment design and process operating parameter selection (Rashid O., et al. [RaO], 2020). High pressure, high temperature and force are the key process parameters that an additively manufactured injection mould must be able to withstand. It is important to include these in the design process and find the best structure through FEM and optimisation.

Stoll et al. investigated the use of SLM to realize porous structures. Pores can be used in liquid flow applications as microchannels. Which laser parameters have an effect on the labyrinthine structure are described. The line spacing and laser spot diameter have an effect on the formation of stochastically distributed porosity up to the formation of lattice and lamellar structures (Stoll, P. et al. [StP], 2015). Siemann emphasized other applications of porous structures. Using mould making as an example, laser sintering was used to create venting elements. Air pockets, particularly in micro-injection moulding, can cause defects in the finished part (Siemann, E. [SiE], 2007). As a result, in the search for more efficient moulds, this application should not be missed and should also be used in future experiments. Lightweight parts can be created using additive manufacturing technologies. AM technologies have enabled the production of complex cross-sectional areas such as the honeycomb cell or any other material part with cavities and cut-outs that reduce the weight-strength relationship. It is possible to create lightweight structures for obtaining a shape with a minimum weight and a very difficult shape of a structure that has been used for civil construction; however, with AM, it is possible to create structural parts for machines while reducing total weight. . If at all possible, these complex shapes will be expensive to create using the traditional process. These kind of complex shapes were created using the traditional method. These structures will be costly to build if at all possible with subtractive manufacturing (Wong K.V. et al. [WoKV] 2012). On the one hand, porous structures and lightweight construction can improve the efficiency in terms of energy savings of the manufacturing process. This is because the printing time in SLM is reduced and material is saved. On the other hand, it is interesting to investigate the insulating properties of these layers. Insulating areas in the injection mould can influence the solidification process as the plastic material cools, leading to improved properties in the finished part. This is going to be investigated in further work.

Cooling channels can be integrated into the mould close to the contour using additive manufacturing. During the injection moulding process, coolant fluid flows through these channels to remove heat. The cavity can be cooled more efficiently due to its proximity to the contour (Wahl, J.P. et al. [WaJP], 2020) (Zimmermann, T. [ZiT], 2011). The combination of insulating layers and cooling channels close to the contour is to be used for more efficient injection moulds. Overall, such a structure can only be produced using

AM especially SLM. To further increase efficiency, force simulations will be used to determine the best use of lightweight construction, and temperature simulations will be used to identify the best use of insulation layers and cooling channels.

## **Conclusion**

Injection moulding process times should be shortened as a result of more effective moulds. This results in cost savings throughout the process due to a decrease in uptime and energy usage. Improved sustainability is a result of greater throughput (number of components moulded per unit of time). Also, the entire manufacturing process is sped up by additive manufacturing using selective laser melting. Improved energy management is expected due to the elimination of transport routes and supply chains. With SLM, the entire manufacturing process can be carried out in a single step. Material and weight savings increase the efficiency of SLM and conserve resources.

The concept offers great potential for optimising the manufacturing process of injection moulds and thus reducing the environmental impact. The use of additive manufacturing can be both economically and environmentally beneficial. However, further research and development is required to establish the technology in practice and to realise its full potential.

## **References**

Dolmetsch, H., Holznagel, D., Keller, E., Kilgus, R., Klein, W., Odenwald, T. (2007), *Der Werkzeugbau*, VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL (p. 118-189)

Linke, R. (2017), *Additive manufacturing, explained*, MIT Sloan School of Management, <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained> (02.04.2023, 10:23)

Rashid O., Low K.W.Q., Pittman J.F.T. (2020), *Mold cooling in thermoplastics injection molding: Effectiveness and energy efficiency*, *Journal of Cleaner Production*-Volume 264

Sculpteo (2021), *The State of 3D Printing - 2021 Edition*, (p. 9, Chart. 12), <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1168645/umfrage/vorteile-des-3d-drucks/> (02.04.2023, 16:23)

Sefene, E.M. (2022), *State-of-the-art of selective laser melting process: A comprehensive review*, *Journal of Manufacturing Systems – Volume 63* (p. 250-274), <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.04.002>

Siemann, E. (2007), *Selektives Lasersintern von porösen Entlüftungsstrukturen am Beispiel des Formenbaus*, IMW - Institutsmitteilung Nr. 32

Stoll, P., Spierings A., Wegener K. (2015), *Gute Poren – Erwünschte Porösität in SLM-Werkstücken*, *RTEJournal – Fachforum für Rapid Technologie*, Vol. 2015

Wahl, J. P., Niedermeyer, J., Bernhard, R., Hermsdorf, J., Kaierle, S. (2022), *Design of additively manufacturable injection molds with conformal cooling* (p. 97-100), <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.08.146>

Wong K.V., Hernandez A. (2012), A Review of Assitive Manufacturing, International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering-Volume 2012, Article ID 208760 (p.10), doi:10.5402/2012/208760

Zimmermann, T. (2011), Auslegung und Konstruktion von Spritzgusswerkzeugen mit induktiver Temperierung, ISBN: 9783922381358



# Concept and simulation of micromixers and aliquoting for PCR systems

Felix Welzel<sup>1</sup>, Mike Hauschultz<sup>1</sup>, Erik Krumnow<sup>1</sup>, Andreas H. Foitzik<sup>1</sup>, Maria Richetta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Applied Science Wildau I, Wildau 15745 Germany I

<sup>2</sup> University of Rome "Tor Vergata" II, Via Cracovia n.50 00133 Roma Italy II

## Abstract

In this paper, different concepts for mixing sample and master mix by means of simulation are discussed. The main focus was on mixers with a low dead volume, because of their relevance to PCR. In addition, a concept for aliquoting the mixed solution was elaborated and simulated. The simulation showed very good mixing with serpentine- and tesla-mixers at flow rates of 1-16  $\mu\text{L/s}$ . Furthermore, a uniform distribution with aliquoting could be achieved, while a slight dependence between flow rate and pressure was observed. In the further course, these concepts are to be combined and tested on a microfluidic chip. This can then be integrated into the workflow of existing PCR protocols.

## 1. Introduction

Normally, sample preparation for PCR instruments is carried out with trained personnel. This includes the dosing of a mastermix with a biological sample with subsequent mixing, as well as the division into several sample vessels. To reduce the workload, approaches of fully automated PCR systems are pursued, which in most cases can only be used in proprietary thermal cyclers. To tackle this problem a "System on a Chip" can be a solution. In this case the chip takes the workload of mixing the biological sample and the distribution of such into sample vessels. Mixing the sample evenly is a key factor for reproducible results with PCR systems. Therefore different kinds of fluidic mixing principles are discussed in the next chapter.

## 2. Theoretical background

### 2.1. Fluidic mixing principles

Micromixers can be divided into planar and three-dimensional systems. Three-dimensional mixers often allow better mixing because turbulence can be introduced in a further spatial axis perpendicular to the direction of flow. However, these must be machined on both sides during manufacturing. This presents challenges in manufacturing as well as in joining technology. The three-dimensional mixers generally additionally have a larger dead volume than planar mixers.

For this reason, this paper focuses on planar mixers (Figure 1) and explains their most important principles in the following. The most intuitive mixers are so-called serpentine structures (or meander structures). In the process, the near-edge flows penetrate the middle flow area at edges through a stall. A further development of this was presented by Lee et al. (Lee et al. 2011). In this mixer, there are finer channels through the meander structures. They function as "shortcuts". These channels are supposed to fill with the help of the capillary effect and release the channel contents with the occurrence of a flow at the other end of the channel. For this to work successfully, the channels for the

"shortcuts" must be much thinner than the main channels. Otherwise, most of the flow would go through the "shortcuts" in the main flow direction.

Another important principle is found in split-and-recombine mixers (SAR for short). Here the flow is repeatedly split and combined, resulting in collisions. The resulting turbulence leads to mixing. SAR mixers can be further divided into symmetrical (Tran-Minh et al. 2014) and asymmetrical mixers (Razavi Bazaz et al. 2020). However, due to their parallel channels, most SAR mixers have a rather high dead volume, which makes system emptying via air supply through an inlet considerably more difficult. A special type of SAR mixer is the Tesla mixer. It stands out due to its better mixing properties and the numerous investigations in studies. The design of this asymmetric mixer allows the recirculation of liquid components into the downstream mainstream. Thus, it achieves a similarly high degree of mixing in the wider Reynolds range as the serpentine structures.

Finally, there are planar micromixers that work with obstacles. In these, bodies such as prisms or cylinders stand in the channels (Bhagat et al. 2007). Each obstacle acts as a

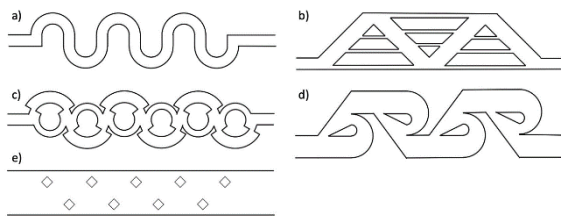


Figure 1: a) serpentine, b) serpentine with shortcuts, c) asymmetrical SAR, d) tesla SAR, e) obstacles

a kind of SAR mixer and can occupy all or part of the height of the fluidics. However, the small obstructions relative to the channel make fabrication difficult, as they could easily tear or break off during casting or milling. Therefore, this type is more suitable for lithographic manufacturing.

## 2.2. Flow distribution

For multiple determination of samples or redirection to other areas of the microfluidic chip, flow splitting is necessary. For this purpose, Y- or T-crossings are usually used to achieve symmetrical splitting. Splitting's according to this principle are only possible in fractions of size  $2^{-n}$ . To achieve other fractions, other techniques must be used. Commonly used for this are planar manifolds, in which the fluid is directed consecutively into branches. However, the partitioning in these systems is highly dependent on the fluid properties and on the flow velocity. Another alternative is offered by three-dimensional manifolds, such as those offered by Darwin Microfluidics. Here, a liquid flow entering from above is distributed to several outlets arranged in a circle. However, this principle is hardly integrable on microfluidic chips since no impulse along the xy-plane may occur for precise distribution.

## 3. Material and Methods

In the beginning, a literature search was carried out on existing micromixers and their mixing efficiency. After evaluating the systems according to mixing efficiency, production possibilities and dead volume, individual systems were selected for further review. Based on the criteria mentioned, the decision was made for meander structures without and with "shortcuts" as well as Tesla mixers. To obtain the most meaningful simulation results possible, a tapered Y-junction was chosen as the fluid inlet in a 1:3 ratio. In this way, proportionality between channel widths and the corresponding volumetric flow can be achieved. The original channels are parallel to each other and have a length of 1 mm, so that the flow is as laminar as possible at the beginning.

For the sake of comparability, a uniform channel depth of 0.3 mm was chosen. The mixer outlet should have a width of 0.6 mm. To avoid pressure differences and speed changes, the sum of parallel channel widths should also be 0.6 mm. Due to manufacturing constraints, it was determined that channels should have a minimum width of 0.1 mm with minimum inner radii of 0.05 mm. An outer radius of at least 0.025 mm was chosen to limit the simulation time. With a sharp edge, on the other hand, grid refinement would not lead to simplification of the problem.

Two approaches can be chosen to third a flow in planar microfluidic systems. One of the two is instantaneous thirthing, which will not be discussed further here as it is assumed to be highly momentum dependent. The other approach uses two consecutive Y-crossings. At the first one, a division in the ratio 2:1 is to take place. The second crossing should then halve the larger current again. The Simulations were solved using SolidWorks Flow Simulation from Dassault Systèmes.

#### 4. Results and Discussion

Planar micromixers were chosen to mix a master mixture with a biological sample. This requires a less complex manufacturing and joining technique than three-dimensional mixers. Based on this, serpentine mixers with and without diffusers as well as a Tesla mixer were designed and simulated. The simulations were carried out with total volumetric flows rates of 1  $\mu\text{L/s}$  and 16  $\mu\text{L/s}$ . In Figure 2 it can be seen that the liquid moves through the mixer in a largely laminar manner and that no or only slight turbulence occurs due to the stall at the edges.

At the higher speed, there are still visually recognisable differences at the outlet. They correspond to concentrations of about 0.248 and 0.252. For the quantitative evaluation, the variance-based mixing index MV was determined. This shows very good mixing. Therefore, the more sensitive, standard deviation-based mixing index MS was used for further evaluation of the mixing. This also shows very good, almost complete mixing at the selected flow velocities. Figure 3 shows a lower mixing rate than Figure 2. The fluid simulation Figure 4 show a clear backflow of the fluid around the drop-shaped

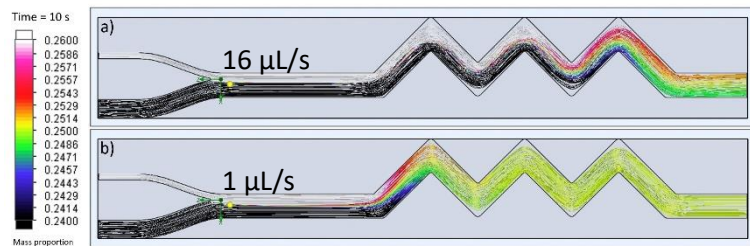


Figure 2: Serpentine mixer with different volumetric flow rates

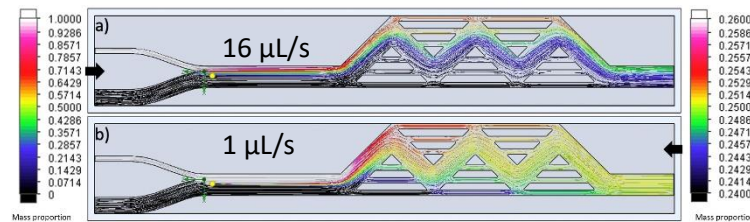


Figure 3: Serpentine mixer with 0.15 mm passageways

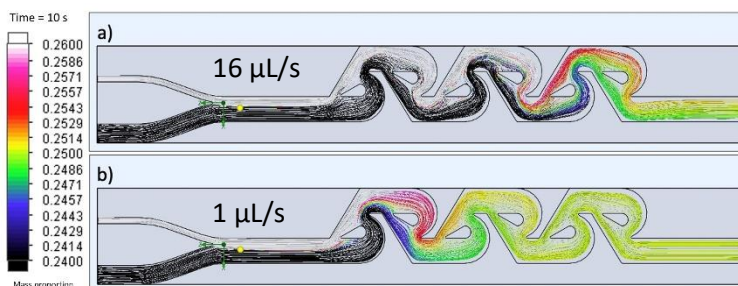


Figure 4: Tesla mixer after a 10 s timeframe

0.248 and 0.252. For the quantitative evaluation, the variance-based mixing index MV was determined. This shows very good mixing. Therefore, the more sensitive, standard deviation-based mixing index MS was used for further evaluation of the mixing. This also shows very good, almost complete mixing at the selected flow velocities. Figure 3 shows a lower mixing rate than Figure 2. The fluid simulation Figure 4 show a clear backflow of the fluid around the drop-shaped

obstacle. This is accompanied by the successively increasing mixing of the liquid, which can be seen at both flow velocities.

	Mixing Index 16 $\mu\text{L/s}$	Mixing Standard Deviation Coefficient 16 $\mu\text{L/s}$	Mixing Index 1 $\mu\text{L/s}$	Mixing Standard Deviation Coefficient 1 $\mu\text{L/s}$
Serpentine mixer	0.9967	0.56 %	0.9999	0.00004 %
Serpentine mixer with passageway	0.7623	42 %	0.9998	0.03 %
Tesla mixer	0.9982	0.1 %	0.9999	0.0001 %

Table 1: Mixing Index and Mixing Standard Deviation Coefficient for the chosen micromixers.

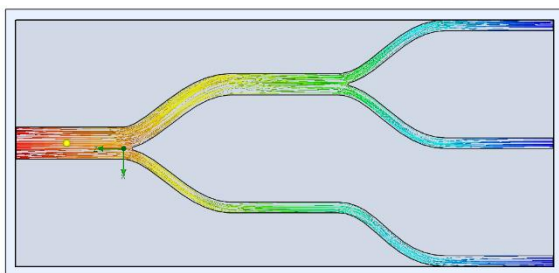


Figure 5: Simulated pressure drop of the Flow Splitter

Figure 5 shows the pressure drop. This could be determined by the simulation. The pressure drops evenly over the flow splitter to the normal pressure at the outlet by about 2300 Pa. This pressure drop is the result of molecular interactions between the water and the wall (adhesion) and the surface tension of the water. There is a slight dependence on the flow velocity. As expected in advance, the ratio of the splitting is 1:1 in most of the flow velocity range. As the velocity increases, the influence of the momentum increases. For this reason, the flow is higher in the outer channel.

## 5. Outlook

Since interactions can occur between the individual system components simulated so far, a simulation of the entire system is essential before production. For this, the system must be designed and simulated before an evaluation with adjustments can be made. Once the simulation results are satisfactory, the system can be manufactured and tested in the laboratory setup.

## Literature

Bhagat, Ali Asgar S.; Peterson, Erik T. K.; Papautsky, Ian (2007): A passive planar micromixer with obstructions for mixing at low Reynolds numbers. In: *J. Micromech. Microeng.* 17 (5), S. 1017–1024. DOI: 10.1088/0960-1317/17/5/023.

Lee, Chia-Yen; Chang, Chin-Lung; Wang, Yao-Nan; Fu, Lung-Ming (2011): Microfluidic mixing: a review. In: *International journal of molecular sciences* 12 (5), S. 3263–3287. DOI: 10.3390/ijms12053263.

Razavi Bazaz, Sajad; Amiri, Hoseyn A.; Vasilescu, Steven; Abouei Mehrizi, Ali; Jin, Dayong; Miansari, Morteza; Ebrahimi Warkiani, Majid (2020): Obstacle-free planar hybrid micromixer with low pressure drop. In: *Microfluid Nanofluid* 24 (8). DOI: 10.1007/s10404-020-02367-x.

Tran-Minh, Nhut; Dong, Tao; Karlsen, Frank (2014): An efficient passive planar micromixer with ellipse-like micropillars for continuous mixing of human blood. In: *Computer methods and programs in biomedicine* 117 (1), S. 20–29. DOI: 10.1016/j.cmpb.2014.05.007.

# EMV-Untersuchung einer 5G Hardware-Schnittstelle

André Gehrman<sup>1</sup>, Uwe Heuert<sup>1</sup>, Kevin Saalman<sup>2</sup>

1 Hochschule Merseburg, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften, Eberhard-Leibnitz-Straße 2, 06217 Merseburg

2 exceeding solutions GmbH, Fritz-Haber-Str. 9, 06217 Merseburg

## Abstract

Im Rahmen des vom BMDV<sup>1</sup> geförderten 5G-Projekts POUST werden industrielle 5G-Anwendungsfälle unter realen Bedingungen erprobt. Dabei werden für die Umsetzung benötigte Komponenten vor und während des Betriebs mit geeigneter Messtechnik überprüft. Bei der eingesetzten Messtechnik handelt es sich unter anderem um eine EMV<sup>2</sup>-Zelle. In dieser wird die feldgebundene Störausstrahlung eines Adapterboards gemessen, um Aussagen über die Nutzbarkeit im industriellen Umfeld treffen zu können. Dieses Adapterboard dient der Umsetzung spezifischer industrieller Kommunikationsstandards auf die 5G-Funkfrequenzen. Die erzielten Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

## 1. Einleitung

Ziel des Förderprojekts POUST<sup>3</sup> ist die Umsetzung von 5G-Anwendungsfällen im industriellen Umfeld mit Hilfe von 5G-Campusnetzen. Unter anderem liegt der Fokus dabei auf der Übertragung von Sensorsignalen und Zählerdaten anhand des 5G Mobilfunkstandards. Die telemetrische Übertragung solcher Daten in bestehenden Industrieanlagen setzt Anpassungen an der genutzten Hardware voraus. Beispielsweise müssen verbaute Stromzähler um eine 5G-Schnittstelle erweitert werden. Hierbei wird ein Stromzähler über eine bereits vorhandene RS-486-Schnittstelle mit einem Raspberry Pi verbunden. Die dadurch ausgelesenen Daten werden über USB an einen mPCIe<sup>4</sup>-Hub weitergeleitet. Dieser Hub umfasst drei Steckplätze für mPCIe-Steckmodule. Je nach Art des Steckmoduls können verschiedene Funkstandards abgedeckt werden. So gibt es Module, welche eine Verbindung über wM-Bus<sup>5</sup>, LoRa<sup>6</sup>, LTE oder auch 5G aufbauen können. Ziel soll es sein, den Stromzähler über diesen Versuchsaufbau in ein 5G-Campusnetz einzubinden. Bei dem genutzten mPCIe-Hub handelt es sich um eine Eigenentwicklung der exceeding solutions GmbH. Ziel der beschriebenen Messung ist, zu gewährleisten, dass der Hub beim Einsatz in Industrieanlagen keine unerwünschten Störungen oder Wechselwirkungen erzeugt. Dafür wird das Bauteil hinsichtlich seiner elektromagnetischen Verträglichkeit untersucht.

---

<sup>1</sup> Bundesministerium für Digitales und Verkehr

<sup>2</sup> Elektromagnetische Verträglichkeit

<sup>3</sup> Präzise Organisieren und smarte Telemetrie

<sup>4</sup> Mini Peripheral Component Interconnect Express

<sup>5</sup> Wireless Meter-Binary Unit System

<sup>6</sup> Long Range (Funkprotokoll/Funkstandard)

## 2. Grundlagen EMV

Unter Elektromagnetischer Verträglichkeit versteht man, dass sich elektrische Geräte aufgrund von elektrischen und elektromagnetischen Einflüssen nicht von ihrer Umwelt und von anderen elektrischen Geräten in ihrer Funktion beeinträchtigen lassen. Die Hauptaufgabe ist dabei einerseits, sicherzustellen, dass elektrische Geräte in ihrer Störausstrahlung festgelegte Grenzwerte nicht überschreiten. Andererseits sollen diese Geräte auch in der Lage sein, elektromagnetischer Störeinstrahlung mit festgelegter Intensität standzuhalten. Dabei darf die Funktionalität dieses Geräts nicht beeinträchtigt werden. Grundlegend wird zwischen leitungs- und feldgebundenen Störungen unterschieden. [1]

## 3. Durchführung der EMV-Messung

Die Messung des für das Projekt genutzten mPCIe-Hubs erfolgt für feldgebundene elektromagnetische Störaussendungen. In diesem Beitrag werden weder leitungsgebundene Störaussendungen noch die Immunität des Prüflings gegenüber feld- und leitungsgebundener Störeinstrahlung betrachtet. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer GTEM-Zelle<sup>7</sup>. Diese ist pyramidenförmig aufgebaut und besitzt einen Innen- (Septum) und einen Außenleiter (Hülle). Dadurch ergibt sich eine koaxiale Leiterstruktur. Vom Prüfling ausgehende Störaussendungen erzeugen in Septum und Hülle Ströme und dazwischen Spannungen. Diese können mit Hilfe eines Spektrumanalysators ausgewertet werden.

Der Prüfling wird in der GTEM-Zelle platziert. Anschließend werden drei Messungen durchgeführt. Für diese drei Messungen wird jeweils die Ausrichtung des Prüflings geändert, indem er 90° um seine z-Achse und zusätzlich 90° um seine x-Achse gedreht wird (Abbildung). Dadurch wird sichergestellt, dass der Prüfling in allen Richtungen auf Störaussendungen getestet wird.

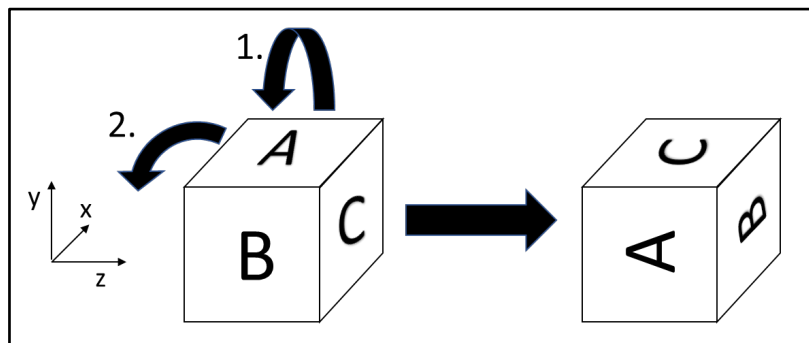


Abbildung 1: Ausrichtung des Prüflings in der GTEM-Zelle

Die drei Messungen erfolgen in zwei Durchläufen. Im ersten Durchlauf werden die Positionen und im zweiten Durchlauf die genaue Höhe der Frequenzspitzen im Spektrum ermittelt. Als Messsoftware wird die Elektra Testsoftware der Firma Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG genutzt. Dort wird bereits vor Beginn der Messung festgelegt, nach welcher Norm der Prüfling getestet werden soll. Damit einhergehend werden auch die

<sup>7</sup> Gigahertz Transversal Elektromagnetische Zelle

Grenzwerte festgelegt, die durch die Störaussendungen nicht überschritten werden dürfen. In diesem Fall wird der Prüfling nach der Norm EN 55032 getestet.

Der mPCIe-Hub wird im Betrieb getestet. Alle drei Plätze für die Steckmodule sind belegt. Die Module werden über ein programmiertes Script angesteuert, welches jedoch nur Statuswerte ausliest, die von den Steckmodulen ausgegeben werden.

#### 4. Messergebnisse der EMV-Prüfung

Die genutzte Testsoftware erstellt für jede Ausrichtung des Prüflings. Einzelne Diagramme und überführt diese anschließend in ein kombiniertes Diagramm mit den dazugehörigen Frequenzspitzen in Tabellenform.

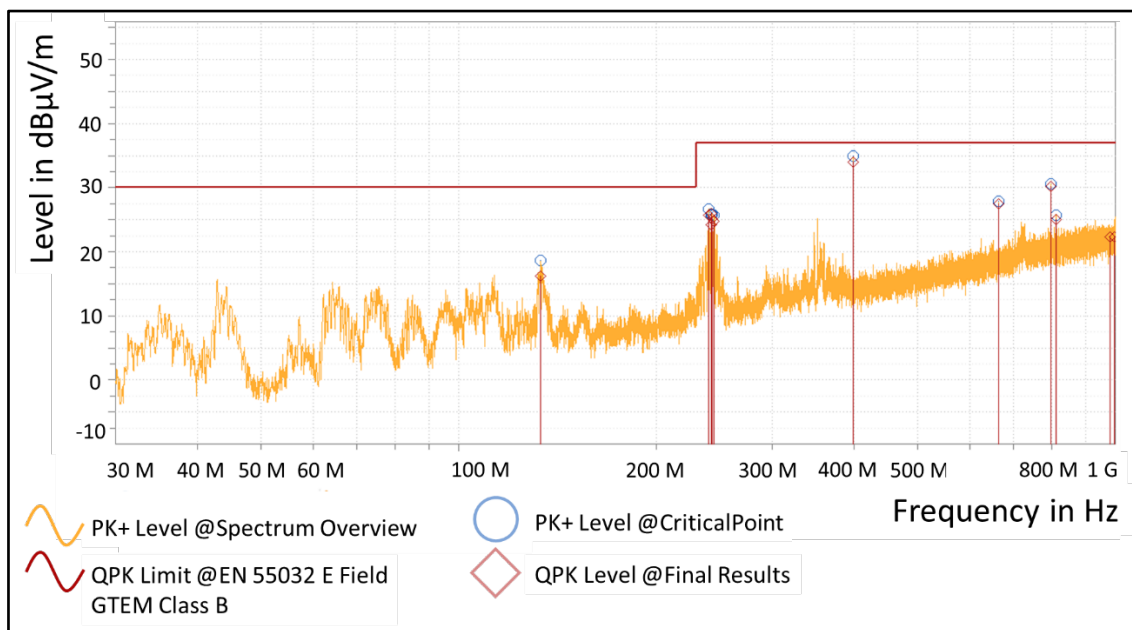


Abbildung 2: Frequenzdiagramm Testmessung

Die in der Norm definierten Grenzwerte sind im Frequenzdiagramm als rote Linien dargestellt. Diese werden von den ausgesendeten Störsignalen an keiner Stelle überschritten. Somit erfüllt der Prüfling die in der Norm EN 55032 definierten Anforderungen. Die Testergebnisse sind reproduzierbar.

Frequency	PK+ Level	PK+ Limit	PK+ Margin
MHz	dB $\mu$ V/m	dB $\mu$ V/m	dB
133,251111	18,59192	30	11,40808
239,951111	26,71794	37	10,28206
242,160556	25,70065	37	11,29935
242,699444	25,84327	37	11,15673
242,807222	25,84275	37	11,15725
244,962778	25,72902	37	11,27098
398,977222	34,88813	37	2,11187
664,972778	27,81438	37	9,185619
798,024444	30,55561	37	6,444389
812,466667	25,74835	37	11,25165

*Tabelle 1: Frequenzspitzen Testmessung*

Im Diagramm lassen sich mehrere Frequenzspitzen beobachten, welche jedoch die Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Frequenzspitzen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Vor allem im Bereich von 240MHz und bei 399MHz sind Spitzen zu erkennen.

## 5. Ausblick und weiteres Vorgehen

Im nächsten Schritt werden weitere Nachforschungen darüber angestellt, welche Komponenten des mPCIe-Hubs die dargestellten Frequenzspitzen erzeugen. Dadurch kann für zukünftige Eigenentwicklungen sichergestellt werden, dass diese auch weiterhin den Anforderungen für den EMV-gerechten Betrieb entsprechen. Außerdem wird der Prüfling weiteren Tests unterzogen. Hierbei wird sowohl die leitungsgebundene Störaustrahlung des Prüflings als auch seine Immunität gegenüber leitungs- und feldgebundene Störeinstrahlung getestet.

## Quellen

[1] Schwab, A. J. & Kürner, W. (2010). Elektromagnetische Verträglichkeit. Springer.



**Teil 5**

**Kultur- und Medienwissenschaften**

# E-Learning als Studienerfolgs- und Motivationsfaktor im Fernstudium

Julia Jochim

Europäische Fernhochschule, Doberaner Weg 20, 22143 Hamburg, julia.jochim@euro-fh.de

## Abstract

Das Dissertationsprojekt befasst sich mit der Frage, ob und inwiefern der Einsatz digitaler Lehr- und Lernmedien (E-Learning) zur Lernmotivation von Fernstudierenden beiträgt. Zur Beantwortung der Frage wird ein auf dem Task Technology Acceptance Model und dem Task-Technology Fit Model beruhendes Forschungsmodell weiterentwickelt und in ein Mixed-Methods-Forschungsdesign integriert.

**Keywords:** E-Learning, Motivation, Fernstudium, Studienerfolg, Studienzufriedenheit

## 1. Einführung

Studieren auf Distanz stellt sowohl für Lehrende als auch für Studierende eine besondere Herausforderung dar: Die Lehrenden stehen nicht im direkten Kontakt mit den Studierenden, sondern müssen Wissen auf die Ferne vermitteln, der Dialog in Vorlesungssaal und Seminarraum zur Wissensvermittlung entfällt in weiten Teilen. Dies erfordert eine medienbasierte Lehre zur Überbrückung der Distanz (Lehmann, 2012, S. 34), die wiederum hohe Ansprüche an das didaktische Können stellt, denn es muss sichergestellt sein, dass möglichst ohne zusätzliche Erklärung des Lehrenden der Stoff verstanden und nachvollzogen werden kann.

Von Studierenden wiederum fordert das Fernstudium ein hohes Maß an Selbst- und Zeitmanagement sowie Durchhaltevermögen in einem Lernsetting, in dem sie größtenteils allein und ohne soziale Kontrolle lernen (ebd., 2012, S. 12, S. 38). Starke Motivation und Disziplin sind erforderlich, um ein Fernstudium erfolgreich abzuschließen, zudem stehen Fernstudierende häufig unter dem Einfluss von Störfaktoren: Fernstudiengänge bieten örtliche und zeitliche Flexibilität und „sprechen damit insbesondere ‚non traditional students‘, wie z. B. Berufs- und Erwerbstätige oder Menschen in der Familienphase, an“ (Fogolin, 2012, S. S. 9). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Fernstudierende häufig Mehrfachbelastungen ausgesetzt sind, die ggf. motivationsmindernd wirken und dafür sorgen, dass das Endziel aus den Augen verloren wird. Im schlimmsten Fall wird das Studium abgebrochen.

Ein solcher Verlauf führt einerseits zu Frustration aufseiten der Studierenden, andererseits zu Gewinnverlusten bzw. höheren Kosten und Ausgaben aufseiten der Fernhochschulen. Insbesondere private Fernstudienanbieter, deren Angebote kostenpflichtig sind, haben daher ein hohes Interesse, ihre Kunden/Studierenden langfristig und effektiv zu motivieren. Ihnen muss an einem Lehrangebot gelegen sein, das die Motivation bestmöglich fördert und zum Erhalt von Interesse und Einsatzbereitschaft beiträgt.

## 2. Forschungsfrage

Das Dissertationsvorhaben geht der Frage nach, ob E-Learning zu Studierendenzufriedenheit und Studienerfolg und damit zur Lernmotivation im Fernstudium beiträgt. Hieran schließt sich die Frage an, ob ein E-Learning-Angebot für private Fernhochschulen ein Kundenbindungsinstrument und Wettbewerbsvorteil sein kann. Das Projekt setzt auf zwei Modellen aus der Medienwirkungsforschung, dem Technology Acceptance Model (TAM) (Davis, 1989) sowie dem Task-Technology Fit-Modell (TTF) (Goodhue & Thompson, 1995), auf, zusätzlich wird die Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan, 1993) herangezogen.

## 3. Forschungsmodell und -design

Es kommt ein Mixed-Methods-Ansatz zum Einsatz: Eine quantitative Erhebung wird kombiniert mit einer qualitativen Interviewstudie (Vertiefungsdesign) (Kuckartz, 2014, S. 77–78).

Nach einem Literature Review wird zunächst eine quantitative Erhebung durchgeführt. Das hierfür entwickelte „TAM-TTF-Motivations-Modell“ baut auf einem Forschungsmodell von Alyoussef (2021) auf (siehe Abbildung 1), welches das Technology Acceptance Model sowie das Task-Technology Fit Model kombiniert. In seiner Studie konnte Alyoussef positive Auswirkungen von E-Learning auf Studierendenzufriedenheit und Studienerfolg nachweisen.

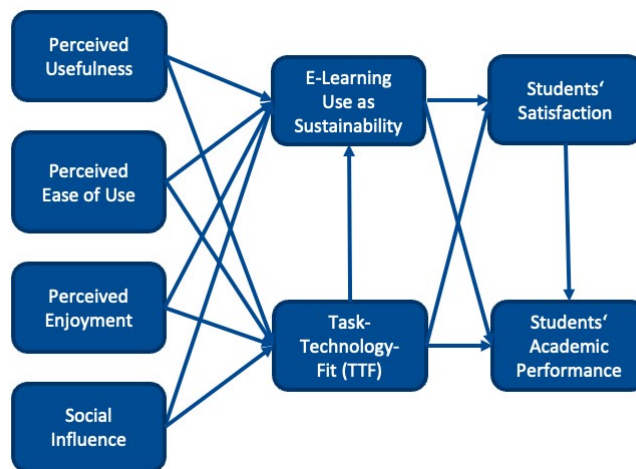


Abbildung 1: Kombination TAM und TTF (eigene Darstellung nach Alyoussef, 2021)

Im Rahmen der Dissertation wird das Modell erweitert und angepasst (siehe Abbildung 2). Es werden soziodemografische Daten sowie Medienkompetenz als Einflussfaktoren aufgenommen, wohingegen der Faktor „sozialer Einfluss“ (Erwartungshaltungen des Umfelds) entfällt, da angenommen wird, dass Erwartungshaltungen von Hochschule, Lehrenden und Peers im Fernstudium eine weniger zentrale Rolle spielen als im Präsenzstudium. Es entfällt außerdem der Faktor „Nachhaltige Nutzung“, der für den Forschungsgegenstand keine zentrale Relevanz hat, aus Gründen der Komplexitätsreduzierung. Stattdessen wird die Erwartungshaltung der Studierenden an das Medienan-

gebot aufgenommen vor dem Hintergrund der Tatsache, dass Fernstudierende an privaten Hochschulen zahlende Kunden mit entsprechenden Erwartungshaltungen sind (Holm, 2013, S. 118). Hinzu kommt als Faktor die Studienmotivation.

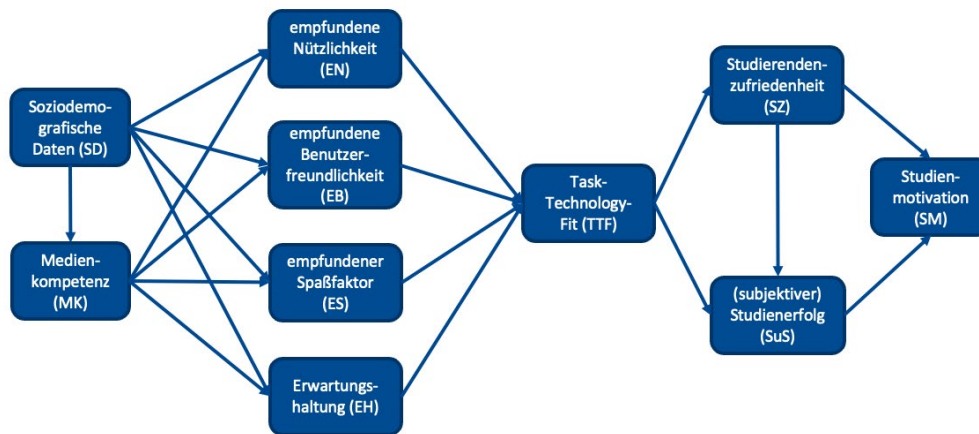


Abbildung 2: TAM-TTF-Motivationsmodell (eigene Darstellung)

Die auf Basis des Modells gebildeten Hypothesen werden in einer quantitativen Befragung der Studierenden der Euro-FH in Hamburg (N ≈ 10.000 Personen) überprüft. Die Auswertung erfolgt mittels Strukturgleichungsanalyse mit nachfolgender Clusterbildung.

Auf die quantitative Erhebung folgen ca. 15 vertiefende leitfadengestützte teilstandardisierte Interviews mit Vertretern der gebildeten Cluster. In diesen werden die Erwartungshaltungen und Bedarfe der Befragten in Bezug auf E-Learning in größerer Detailtiefe abgefragt, ebenso die Bedeutung des digitalen Medienangebots für die Studienmotivation und -ausdauer. Ziel ist die Formulierung von Gestaltungsprinzipien für Fernstudienangebote.

#### 4. Wissenschaftlicher Ertrag

Die Untersuchung der Zusammenhänge von E-Learning, Studierendenzufriedenheit, Studienerfolg und Motivation leistet einen Beitrag zum interdisziplinären Forschungsfeld Medienwirkungsforschung, Hochschulbildung und Medienpädagogik: Bisher liegen nur wenig Erkenntnisse zum Einfluss von E-Learning auf die Lernmotivation vor, zudem befassen sich die wenigen Arbeiten zu diesem Themenfeld mehrheitlich mit spezifischen E-Learning-Formaten (WBTs, Podcasts o.ä.) (u.a. Bern et al., 2017; Bolliger et al., 2010; Chapman & Rich, 2018). Auch der Einfluss von E-Learning auf Lernzufriedenheit und Lernerfolg ist wenig untersucht. Hierbei trägt die Erweiterung des originären Forschungsmodells von Alyoussef zur medienpädagogischen Theoriebildung mit Bezug zur Hochschulbildung bei.

Die Beantwortung der Frage nach der optimalen Gestaltung des E-Learning-Angebots im Fernstudium wiederum leistet einen Beitrag zum Forschungsfeld Mediendesign. Hieraus ergeben sich als zusätzlicher Praxisertrag die Handlungsempfehlungen für die Studiengestaltung.

Hinzu kommen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Wettbewerbsforschung, indem die Frage behandelt wird, inwiefern E-Learning konkret zur Kundenbindung an privaten Hochschulen dienen kann und sich als Wettbewerbsvorteil nutzen lässt.

## 5. Quellen

Alyoussef, I. Y. (2021). E-Learning Acceptance: The Role of Task–Technology Fit as Sustainability in Higher Education. *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116450>

Bern, L., Schulmann, C., & Bastiaens, T. (2017). WBT and learning motivation in health and nursing education. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 26(4), 309–323.

Bolliger, D. U., Supanakorn, S., & Boggs, C. (2010). Impact of podcasting on student motivation in the online learning environment. *Computers & Education*, 55(2), 714–722. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.03.004>

Chapman, J. R., & Rich, P. J. (2018). Does educational gamification improve students' motivation? If so, which game elements work best? *Journal of Education for Business*, 93(7), 315–322. <https://doi.org/10.1080/08832323.2018.1490687>

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.

Fogolin, A. (Hrsg.). (2012). *Bildungsberatung im Fernlernen. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis*. Bundesinstitut für Berufsbildung.

Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *MIS Quarterly*, 19(2), 213. <https://doi.org/10.2307/249689>

Holm, J.-M. (2013). Fernstudium und lebenslanges Lernen. In A. Pappmehl & H. J. Tümmler (Hrsg.), *Die Arbeitswelt im 21. Jahrhundert: Herausforderungen, Perspektiven, Lösungsansätze* (S. 107–124). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-01416-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-658-01416-2_8)

Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesign und Analyseverfahren*. Springer VS.

Lehmann, B. (2012). Aus der Ferne Lehren und Lernen. Zu den Grundzügen eines außergewöhnlichen Bildungsformats. In A. Fogolin (Hrsg.), *Bildungsberatung im Fernlernen. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis*. Bertelsmann.

**Teil 6**

**Sozial- und  
Gesundheitswissenschaften**

# Supporting the Exploration and Analysis of Public Participation Process Data with Rankings and Clusterings

Lars Schütz<sup>1,2</sup>, Korinna Bade<sup>1</sup>, Andreas Nürnberger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Anhalt University of Applied Sciences, Department of Computer Science and Languages, 06366 Köthen

<sup>2</sup> Otto von Guericke University Magdeburg, Faculty of Computer Science, 39106 Magdeburg

## Abstract

Public participation processes enable the inclusion of diverse perspectives and allow people to engage in various real-life areas. These processes involve a wide range of data, with a major component being individual contributions that consist primarily of natural language text. Due to the complexity of public participation process data, exploring and analyzing it is highly challenging. To address this challenge, we propose two different approaches for facilitating the exploration and analysis of contributions. Specifically, we revisit the ranking of contributions to support their assessment, and we consider the clustering of contributions. We also describe two approaches that identify cluster representatives for explaining a clustering. Throughout our work, we take into account the perspectives of both public administrations and citizens.

## 1. Introduction

Public participation processes in the e-participation domain offer opportunities for people to engage in various aspects of real-life. This paper specifically focuses on public participation processes in local urban land-use planning and decision processes, such as planning new public green spaces in cities. These processes can be categorized broadly as formal and informal planning and decision processes. Formal processes are institutionalized activities that are carried out to achieve social objectives (Briassoulis, 1997). The primary planning instruments and results in these processes are mandatory plans that outline the desired future state of the planned area (Blotevogel et al., 2014). Informal processes, on the other hand, are not institutionalized and are not bound to pre-defined procedures or specific instruments. They focus on both public and private interests (Briassoulis, 1997). The primary goal of public participation processes is to ensure that the perspectives and needs of all affected individuals are taken into account when making decisions that could affect them. This approach can lead to more equitable and effective decision-making and can help build trust in the decisions made.

Public participation processes involve a diverse range of participants, including citizens, planners, moderators, public administrations, and IT service providers. In this work, we focus primarily on two major groups: public administrations and citizens. Each group has distinct tasks, such as citizens submitting their ideas and complaints, while public administrations assess these contributions, commonly accepting or rejecting them. An exemplary contribution is shown in Figure 1. However, both groups also share common

tasks at least on an abstract level, such as exploring and analyzing public participation process data.

Low-ropes courses are a sporty and visual enrichment for young and old on a relatively small space, e.g., as a circle with trees, small children, handicapped people up to seniors can have fun. Double-track would be even better, because then you could build in different levels of difficulty. The...

#128 – BWK18 – 19.8.2018, 10:37:40

Figure 1: An excerpt of an exemplary contribution

In the e-participation domain, public participation process data is characterized by heterogeneity in terms of data types, measurement levels, dimensions, and structural aspects. This data can include various types such as natural language text data (e. g., plan documents, forum posts, comments or text references), time-oriented data (e. g., timestamp information), spatial data (e. g., marker positions on geographic maps), images (e. g., email-attached camera photos) and popularity information (e. g., like status or ratings). Moreover, these data types can be interrelated, with one piece of data referring to multiple others, as in the case of a comment that refers to both a text document and a specific location on a map. This leads to the creation of a complex and constantly evolving network of interconnected data, which requires the consideration of structured, semi-structured, and unstructured data, as well as possible relationships between them. To illustrate this, we present exemplary public participation process data and some interconnections in Figure 2.

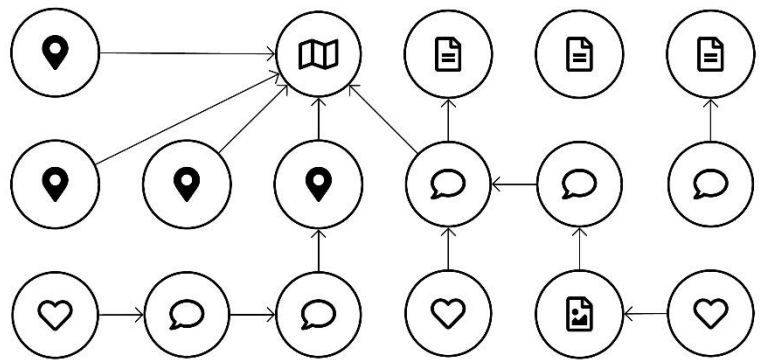


Figure 2: Exemplary planning process data. Contributions/comments (speech balloon), geographic maps, map markers, ratings (heart), images, and texts might relate to each other.

The complexity and diversity of public participation data present challenges for both public administrations and citizens in exploring and analyzing the data. For public administrations, maintaining consistency in their decisions when assessing contributions is crucial, i. e., similar contributions should be assessed similarly while contradicting contributions might lead to opposing decisions. This can be a time-consuming and laborious task, and grouping together contributions that address similar issues could be beneficial. The exploration of public participation process data is equally important, especially for citizens, who may want to know if their concerns have already been expressed. To address these challenges, we propose using rankings and clusterings to support the exploration and analysis of public participation process data. Both methods



can lead to different perceptions and interactions for public administrations and citizens. Therefore, it is crucial to ensure the interpretability of these methods to establish trust. We suggest that the proposed methods be designed to address the specific needs of both public administrations and citizens.

In this work, we first review related work (Section 2). Subsequently, we explore two approaches that support the exploration and analysis of public participation process data: the ranking of contributions (Section 3) and the clustering of contributions (Section 4). Finally, we present our conclusions and we discuss potential directions for future research in this area (Section 5).

## **2. Related work**

Generally, the need for better tools and sophisticated methods for working with public participation process data has long been recognized (Schütz et al., 2015). Especially the practitioners confirm that advanced tools for the assessment of contributions would be helpful (Helbig et al., 2016). There is work that conceptualizes graphical user interfaces for working with public participation process data (Schütz et al., 2016). It considers a graph-based data structure for representing the relationships. This allows a guided exploration of the relationships when the graph's edges are followed. However, there is no description of special methods for the analysis of contributions. There is also an explanation of using the visual analytics (Wong & Thomas, 2004) approach for public participation process data (Schütz, Raabe, et al., 2017). Visual analytics simultaneously considers data analysis and information visualization methods for gaining insight into data. However, it is more or less a general view or framework. That is why we focus on explicit approaches in the remainder of this work. We also revisit previous work related to the ranking of contributions (Schütz & Bade, 2019).

## **3. Ranking of contributions**

Ranking draws inspiration from the field of information retrieval, which refers to the process of ordering search results based on their relevance to a given query (Manning et al., 2008). For example, in the context of Internet search engines, a query typically consists of a sequence of terms in a specific natural language. Search results are then determined that match this query, and these results are ranked according to their similarities to the given query. When it comes to public participation processes, the ultimate goal of ranking contributions is to present the most relevant contributions to public administrations or citizens in order of relevance to a reference contribution that they can select. In this context, the reference contribution serves as the query. From the perspective of public administrations, this helps to ensure consistency in decision-making during the assessment process, which is crucial. A public administration worker can begin by selecting a contribution for assessment and then query a ranking of semantically similar contributions so that the most similar contributions can be assessed in a similar, if not exact, manner.

We developed and evaluated a contribution assessment system designed for use by public administrations (Schütz & Bade, 2019). The system includes a user interface with a two-column layout as shown in Figure 3. The first column contains contributions that still need to be assessed, while the second column presents a ranked list of contributions that are similar to a reference contribution selected in the first column. This allows public administration workers to assess similar contributions in one go, starting with a

selected reference contribution in the left column and continuing with the similar contributions in the second column. The system has been designed to promote consistency in decision-making, which we hypothesize will be achieved through this user interface.

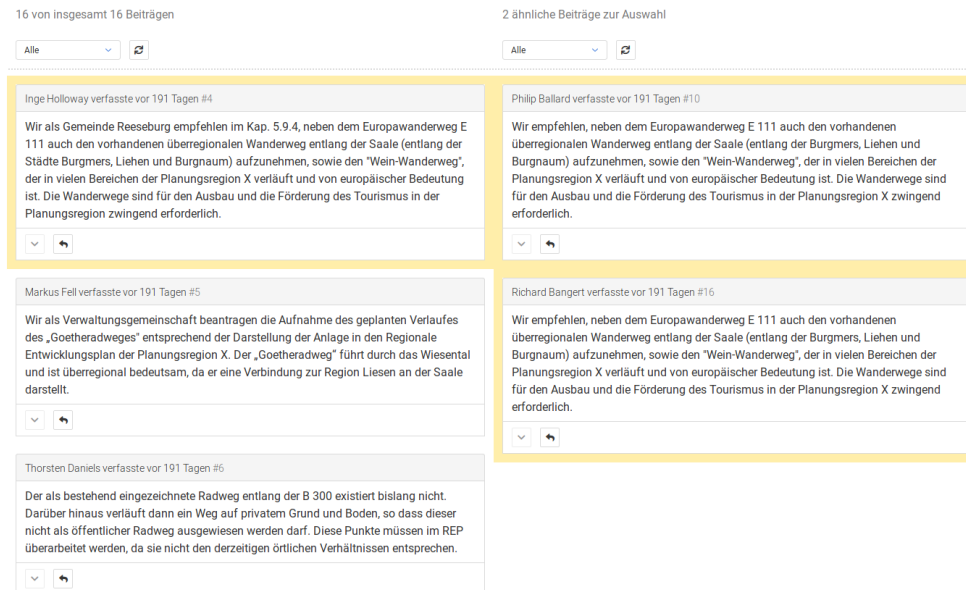


Figure 3: Schematic view of the assessment user interface. On the left hand side, there is a list of contributions. It shows a selected contribution (filled background color). On the right hand side, there is a list of ranked contributions for the selected contribution. These ranked contributions are sorted by semantic similarity.

We conducted a user study with 21 participants for evaluating the proposed assessment user interface. We exclusively focused on public administration workers. They had to complete a task that is related to the task of assessing contributions. They needed to find all contributions that are similar to a specific contribution. We opted for this proxy task due to time constraints for a single experiment. Overall, we tested two system configurations: one with the assessment user interface (system 1) and one without (system 2). System 2 only employed a one-column layout with the raw lists of not yet assessed contributions. The evaluation followed a within-subject design. We used different data sets of contributions so that the participants did not become too familiar with the contributions. Furthermore, we manually created the rankings for every contribution of the data set to ensure perfect rankings were used avoiding any negative impact on the participants due to bad quality rankings.

We found that participants who used the system 1 performed the task with higher accuracy, recall, and precision scores compared to those who used system 2, and only needed an extra 18 seconds to complete the task. Additionally, the majority of participants (16 out of 21) preferred using system 1 over system 2, and 17 participants found the ranking of contributions useful at all. However, there were also critical findings from the user study. Specifically, public administration workers did not fully understand the ranking of contributions, including the position of a contribution in the ranking. Only six participants understood that the higher a contribution is in the ranking, the more similar it is to the reference contribution. Furthermore, there were general concerns about the method used to compute the rankings, with some participants asking how the system ranked the contributions. Some participants assumed that the rankings were likely

based on the textual content of the contributions. Perhaps most significantly, the majority of participants (16 out of 21) stated that they generally do not trust the proposed rankings. We suggest that this lack of trust may be because no explanation was provided for the rankings, such as why a contribution in the ranking is similar to the reference contribution. Additionally, the participants did not know that we had manually created the similarities between the contributions. As a result, we argue for the need for interpretable ranking methods that provide more information and transparency to users.

#### **4. Clustering of contributions**

Clustering is a powerful method utilized in data analysis and machine learning to group data instances that exhibit similar characteristics. The primary objective of clustering is to segregate a dataset into different clusters or groups in such a way that the data instances within a cluster are more similar to each other than they are to instances in other clusters (Jain et al., 1999). When used for contributions, clustering automatically groups together contributions with similar concepts and ideas. This enables public administrations to assess similar contributions consistently and efficiently. It can lead to a more streamlined and efficient process of assessing contributions and improving the quality of decision-making. Citizens can also benefit from clustering as pre-computed groups of similar contributions can be easily explored.

To enable the clustering of contributions, it is necessary to first transform them into a structure that can be processed by clustering algorithms. These algorithms typically operate on vectors in a vector space, requiring that contributions be converted into vectors of the same vector space. In this paper, we focus on the main contents of the contributions that consist solely of textual data, and we describe a two-part transformation process that includes (1) text pre-processing and (2) embedding. Text pre-processing involves mandatory steps, such as tokenization, followed by optional steps, such as stop word removal or word stemming, that further refine the resulting tokens. The result is a list of tokens for each contribution. Embedding these pre-processed contributions into a vector space involves selecting from a range of methods that vary in complexity and sophistication, including term frequency–inverse document frequency, (averaged) word embeddings (Bojanowski et al., 2017; Mikolov, Chen, et al., 2013; Mikolov, Sutskever, et al., 2013), and (pooled) transformer-based embeddings (Brown et al., 2020; Devlin et al., 2019). Depending on the chosen method, additional information may be gathered during text pre-processing, such as recording the sentence to which a token belongs. Once the contributions have been embedded, they can be clustered. Figure 4 provides an overview of the transformation pipeline including the clustering step.

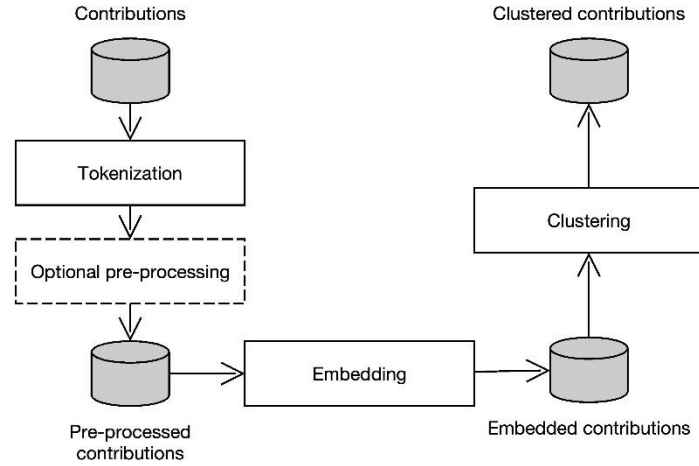


Figure 4: General transformation pipeline and final clustering

Although clustering contributions can help group similar contributions together, it also brings new challenges, such as the difficulty in interpreting clusters due to the vague definition of a cluster (Estivill-Castro, 2002). To mitigate this issue, we investigate example-based explanations (Miller, 2019) to provide clearer understanding of the clusterings. To this end, we propose two distinct methods for identifying prototypical instances of a clustering.

The first method is about using the maximum mean discrepancy (MMD). It describes the distance between two distributions by considering the distance between the mean embeddings of the data features. Regarding our specific domain, we need to consider the distribution of contributions  $X$ , the distribution of prototypes  $P$ , and a kernel function  $k$ , e. g., the radial basis function kernel or the polynomial kernel. Then we can estimate the MMD empirically as noted in the following equation:

$$MMD(X, P) = \left( \frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1}^n k(x_i, x_j) - \frac{2}{nm} \sum_{i,j=1}^{n,m} k(x_i, p_j) + \frac{1}{m^2} \sum_{i,j=1}^m k(p_i, p_j) \right)^{\frac{1}{2}}.$$

In order to select prototypical instances of a clustering, we can utilize a variety of approaches that incorporate the MMD. While random selection is a simple and valid approach, it is not reliable. As an alternative, a greedy algorithm exists for selecting prototypes (Kim et al., 2016). This algorithm utilizes the MMD and iteratively computes the next best prototype until the desired number of prototypes have been found. This method is flexible and can be applied to any clustering algorithm. In our work, we focus explicitly on the clustering of contributions and apply the method to each cluster individually, allowing for a different number of prototypes for each cluster. This method can even be used on non-clustered contributions to identify the specified number of prototypes within the entire raw data set. However, we did not investigate this method further for non-clustered contributions due to our specific research focus.

The second method we propose is based on the  $k$ -medoids clustering algorithm (Kaufman & Rousseeuw, 1987). This algorithm is used to cluster contributions into distinct groups, and crucially, it outputs one medoid for each cluster. We can directly use a

medoid as the prototype for the corresponding cluster. However, this approach is limited in its flexibility, as it only allows for one prototype per cluster and requires the use of the  $k$ -medoids algorithm for clustering the contributions. Alternatively, we can modify the approach by using the idea of relying on medoids with any clustering algorithm. Then this involves clustering the contributions using any desired algorithm first, and subsequently computing the medoid for each cluster of the resulting clustering. This approach affords greater flexibility in terms of the clustering algorithm used, and it enables the identification of multiple prototypes per cluster.

## 5. Conclusion and future work

Public participation processes involve complex data, with contributions being a crucial component. However, analyzing and exploring such data can be challenging, requiring sophisticated methods to support these tasks. In this context, we have described two such methods, namely ranking and clustering, that can benefit both public administrations and citizens.

However, while these methods offer promising results, there is still much work to be done in terms of interpretability. Specifically, we need to develop new, more interpretable methods that are targeted towards laypersons, such as public administrations and citizens. Additionally, it is important to conduct user studies to evaluate the effectiveness of these new methods. This area of research presents a significant opportunity for future work, with the potential to make public participation processes more transparent and accessible to all.

## References

- Blotevogel, H. H., Danielzyk, R., & Münter, A. (2014). Spatial Planning in Germany. In M. Reimer, P. Getimis, & H. H. Blotevogel (Eds.), *Spatial Planning Systems and Practices in Europe* (pp. 83–108). Taylor & Francis Group.
- Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching Word Vectors with Subword Information. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 5(0), 135–146.
- Brassoulis, H. (1997). How the Others Plan: Exploring the Shape and Forms of Informal Planning. *Journal of Planning Education and Research*, 17(2), 105–117.
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. In H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hassel, M. F. Balcan, & H. Lin (Eds.), *Advances in neural information processing systems* (Vol. 33, pp. 1877–1901). Curran Associates, Inc.
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In J. Burstein, C. Doran, & T. Solorio (Eds.), *Proceedings of the 2019 conference of the north american chapter of the association for computational linguistics: Human language technologies* (Vol. 1, pp. 4171–4186). Association for Computational Linguistics.

- Estivill-Castro, V. (2002). Why so many clustering algorithms: A position paper. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 4(1), 65–75.
- Helbig, D., Pietsch, M., Schütz, L., Bade, K., Richter, A., & Nürnberger, A. (2016). On-line-Beteiligung in Entscheidungs- und Planungsprozessen – Anforderungen aus der Praxis. *Journal Für Angewandte Geoinformatik (AGIT) 2-2016*, 508–517.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data Clustering: A Review. *ACM Comput. Surv.*, 31(3), 264–323.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1987). Clustering by means of medoids. In *Statistical Data Analysis based on the L1-Norm and Related Methods* (pp. 405–416). Elsevier Science.
- Kim, B., Khanna, R., & Koyejo, O. O. (2016). Examples are not Enough, Learn to Criticize! Criticism for Interpretability. In D. D. Lee, M. Sugiyama, U. V. Luxburg, I. Guyon, & R. Garnett (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 29* (pp. 2280–2288). Curran Associates, Inc.
- Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Higher Education from Cambridge University Press; Cambridge University Press.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). *Efficient estimation of word representations in vector space*. arXiv: 1301.3781 [cs.CL].
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). *Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality*. arXiv: 1310.4546 [cs.CL].
- Schütz, L., & Bade, K. (2019). Assessment User Interface: Supporting the Decision-making Process in Participatory Processes. In J. Filipe, M. Smialek, A. Brodsky, & S. Hammoudi (Eds.), *Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2019 (Vol. 2, pp. 398–409)*. SciTePress.
- Schütz, L., Helbig, D., Bade, K., Pietsch, M., Nürnberger, A., & Richter, A. (2016). Interaction with Interconnected Data in Participatory Processes. In REAL CORP 2016 – SMART ME UP! How to Become and How to Stay a Smart City, and Does This Improve Quality of Life? *Proceedings of 21st International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society* (pp. 401–410).
- Schütz, L., Helbig, D., Bade, K., Pietsch, M., Richter, A., & Nürnberger, A. (2015). Projekt partiMAN: Neue Ansätze zur aktiven Partizipation in Entscheidungsprozessen. In R. Krug, M. Pietsch, M. Heins, & E. Kretzler (Eds.), *Beteiligen \* kommunizieren \* partizipieren* (pp. 72–88). Shaker Verlag.
- Schütz, L., Raabe, S., Bade, K., & Pietsch, M. (2017). Using Visual Analytics for Decision Making. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2, 94–101.
- Wong, P. C., & Thomas, J. J. (2004). Visual Analytics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(5), 20–21.

# Psychometrische Prüfung des Smartphone-Addiction-Inventory (SPAI)

Rabea Ernst<sup>1,2</sup>, Gabriele Helga Franke<sup>1</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,3</sup>

1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Straße 25, 39576 Hansestadt Stendal

2 Kirchberg-Klinik, Kirchberg 7-11, 37431 Bad Lauterberg

3 Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

**Ziele der Studie:** Das Smartphone Addiction Inventory (SPAI) ist ein Screening-Fragebogen zur Selbstbeurteilung von Smartphone-Abhängigkeit. Ziel der vorliegenden Studie ist es, das SPAI zu übersetzen und an einer deutschen Stichprobe zu validieren. Weiterhin werden verschiedene Bereiche psychischer Belastung sowie das Konstrukt Fear of Missing Out miterhoben, um die Validität des Fragebogens sowie Zusammenhänge mit Smartphone-Abhängigkeit zu untersuchen.

**Methodik:** Der Online-Fragebogen ( $N = 319$ ) umfasst die deutsche Übersetzung des SPAI, die deutsche Version der Kurzform der Smartphone Addiction Scale (SAS-SV), die Brief-Symptom-Checklist (BSCL), die deutsche Fear of Missing Out Scale (FoMOs) sowie soziodemografische Fragen. Mittels konfirmatorischer und explorativer Faktorenanalyse wurde die faktorielle Struktur untersucht. Zusammenhänge mit der Soziodemografie, der psychischen Beeinträchtigung sowie mit Fear of Missing Out wurden korrelativ sowie varianzanalytisch berechnet.

**Ergebnisse:** Die explorative Faktorenanalyse belegt ein Zwei-Faktorenmodell. Das Alter der Teilnehmenden korreliert negativ ( $r = -.44$ ) mit SPAI-DE. Weitere soziodemografische Effekte werden durch das Alter erklärt. Zwischen SPAI-DE und allen Skalen der BSCL sowie Fear of Missing Out besteht ein moderater bis starker Zusammenhang.

**Fazit:** Das Vier-Faktorenmodell der Originalstudie konnte nicht bestätigt werden. Alternativ wird ein Zwei-Faktorenmodell vorgeschlagen. Das SPAI-DE ist ein valides und reliables Screeninginstrument zur Erfassung von Smartphone-Abhängigkeit in einer deutschen Population. Alter, psychische Belastungsfaktoren sowie Fear of Missing Out hängen mit Smartphone-Abhängigkeit zusammen. In der Zukunft sollten die Zusammenhänge zwischen Smartphone-Abhängigkeit und den verschiedenen psychischen Belastungsfaktoren – v.a. hinsichtlich ihrer Kausalität – genauer untersucht werden.

## 1. Einleitung

Das Smartphone ist aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Die Nutzungszeit ist über die letzten Jahre konstant angestiegen. In Deutschland lag die durchschnittliche tägliche Bildschirmzeit 2021 bei 3,4 Stunden (Data.ai, 2022).

Aufgrund der vielen nützlichen und teilweise auch notwendigen Anwendungsmöglichkeiten, die das Smartphone bietet, ist es schwierig, pathologisches Nutzungsverhalten von alltäglicher Nutzung abzugrenzen (Lin et al., 2017). Schätzungen zur Prävalenz von Smartphone-Abhängigkeit (SPA) variieren stark und liegen zwischen ca. 10 % (Scherr & Bartsch, 2019) und 14 – 31 % (Wolf & Wolf, 2020). Diese starken Unterschiede lassen

sich u.a. auf die Heterogenität verschiedener Messinstrumente, fehlende Konzeptualisierung sowie Unterschiede in den untersuchten Stichproben zurückführen (Wolf & Wolf, 2020).

## 2. Smartphone-Abhängigkeit

Aktuell stellt SPA keine eigenständige Diagnose in ICD oder DSM dar. Zudem fehlen einheitliche Konzeptualisierung und Definitionskriterien des Konstrukts Smartphone-Abhängigkeit. Grund hierfür ist sowohl ein Mangel an ausreichend breiter Forschungslage als auch an fehlender Abgrenzung von SPA zu eng verwandten anderen Formen der pathologischen Mediennutzung (Scherr & Bartsch, 2019).

Lin und Kolleg:innen (Lin et al., 2017) ordnen SPA in einem Spektrum zwischen Zwangsstörung und Abhängigkeitserkrankung ein und definieren SPA anhand von vier Hauptkomponenten:

1. Zwanghaftes Verhalten: Betroffene können die Smartphone-Nutzung trotz Kenntnis der negativen Konsequenzen nicht unterlassen.
2. Funktionelle Beeinträchtigungen: Die exzessive Nutzung wirkt sich negativ auf die normale Tagesroutine (inkl. Zeitmanagement und Schlafrhythmus), Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz oder in Schule/ Studium, soziale Beziehungen und Aktivitäten aus.
3. Entzugssymptome: Zwar sind diese bei Verhaltenssüchten umstritten, da nicht die gleichen physiologischen Mechanismen wie bei Substanzmissbrauch ablaufen, trotzdem können negative Stimmungslagen wie Ängstlichkeit oder Reizbarkeit bei Nicht-Verfügbarkeit des Smartphones auftreten.
4. Toleranz: Mehr Zeit am Smartphone ist notwendig, um das gleiche Maß an Befriedigung zu erreichen. In der Folge steigt die Nutzungszeit. Da das Smartphone in vielen Lebensbereichen essentiell geworden ist, muss steigende Nutzungszeit nicht gleich auf Abhängigkeit hinweisen (Lin et al., 2017).

### Ätiologie

In der Literatur zu SPA wird meist auf die Ätiologie von Verhaltenssüchten im Allgemeinen verwiesen (Welledits et al., 2020).

Aus lernpsychologischer Sicht dominieren v. a. verschiedene Konditionierungsmechanismen die Suchtentwicklung. Vormalig neutrale Stimuli werden durch klassische Konditionierung mit der Smartphone-Nutzung verknüpft (Welledits et al., 2020). Im Sinne der operanten Konditionierung dienen die positiven Gefühle, welche durch Smartphone-Nutzung entstehen als positive Verstärkung. Zudem werden negative Gefühle durch den Konsum vermieden (Welledits et al., 2020). Viele Apps sind – ähnlich wie Slot-Machines im Casino - nach dem Random-Reward-Prinzip gestaltet: Sie belohnen nur hin und wieder nach randomisiertem Muster, wodurch das Nutzungsverhalten intermittierend verstärkt wird und dadurch besonders löschungsresistent ist (Markowetz, 2015).

Auf neuronaler Ebene ist der Dopamin-Ausstoß relevant, der durch die Inhalte der Apps hervorgerufen wird und entsprechend das Suchtverhalten verstärkt. Hierbei entsteht durch die regelmäßige Reaktivierung entsprechender neuronaler Netzwerke eine Toleranzentwicklung (Markowetz, 2015).



### SPA und psychische Belastung

In verschiedenen Untersuchungen konnten u.a. Zusammenhänge zwischen SPA und Depressivität sowie sozialer Ängstlichkeit aufgezeigt werden (Wang et al., 2018; Khoury et al., 2017), ebenso zwischen SPA und Fear of Missing Out, der Befürchtung etwas Lohnenswertes zu verpassen (Spitzer, 2015).

### **3. Das Smartphone Addiction Inventory (SPAI)**

Das Smartphone Addiction Inventory (SPAI) ist ein Screeningtool, das verschiedene Bereiche von SPA im Selbstbeurteilungsmodus erfragt (Lin et al., 2014).

Durch eine explorative Faktorenanalyse wurden vier Faktoren (*compulsive behavior, functional impairment, withdrawal* und *tolerance*) extrahiert. Sowohl in der Originalstudie, als auch in weiteren Validierungsstudien, in denen das SPAI in verschiedene Sprachen übersetzt wurde, konnten gute Reliabilitäts- und Validitätswerte ermittelt werden (Arpaci & Esgi, 2020; Imani et al., 2019; Khoury et al., 2017; Lin et al., 2014; Pavia et al., 2016; Simó-Sanz et al., 2018; Wang et al., 2018; Welledits et al., 2020).

### **4. Ziele der Studie**

Ziel der vorliegenden Studie ist, das SPAI ins Deutsche zu übersetzen und zu validieren. Darüber hinaus werden neben soziodemografischen Variablen verschiedene Bereiche psychischer Belastung sowie das Phänomen Fear of Missing Out (FoMO) miterhoben, um die Validität des Fragebogens zu ermitteln und um Zusammenhänge mit Smartphone-Abhängigkeit zu untersuchen.

### **5. Methodik**

Die Studie wurde als Online-Befragung durchgeführt. Die Teilnehmenden ( $N=319$ ) wurden über soziale Netzwerke, persönliche Empfehlungen und Flyer rekrutiert. Neben dem ins Deutsche übersetzten SPAI und soziodemografischen Daten wurde SPA zusätzlich mit der deutschen Version (Haug et al., 2015) der Smartphone Addiction Scale – Short Version (SAS-SV) (Kwon et al., 2013) erfasst, um die konvergente Validität zu ermitteln. Die Brief-Symptom-Checklist (BSCL) (Franke, 2017), die verschiedene Bereiche psychischer Belastung (Aggressivität/ Feindseligkeit, Ängstlichkeit, Depressivität, Paranoides Denken, Phobische Angst, Psychotizismus, Somatisierung, Unsicherheit im Sozialkontakt und Zwanghaftigkeit) umfasst, sowie die deutsche (Spitzer, 2015) Fear-of-Missing-Out-Scale (FoMOs) (Przybylski et al., 2013) wurden herangezogen, um die konvergente Validität zu erfassen. Zudem sollten damit Zusammenhänge zwischen verschiedenen Belastungsfaktoren und SPA untersucht werden, um zu einem besseren Verständnis von SPA beizutragen.

### **6. Ergebnisse**

Nach Entfernung von Datensätzen aufgrund zu vieler fehlender Daten, ergab sich eine Stichprobe von  $N=319$  Teilnehmenden (213 weiblich, 102 männlich, 4 divers oder keine Angabe), die zwischen 14 und 74 Jahren alt waren ( $M=31,21$ ,  $SD=16,02$ ).

Eine konfirmatorische Faktorenanalyse konnte das Vier-Faktorenmodell der Originalstudie (Lin et al., 2014) nicht bestätigen. Die anschließend durchgeführte explorative Faktorenanalyse spricht für eine zwei Faktorenlösung mit einer gesamten Varianzaufklärung von 41.1%. Der erste Faktor *Funktionsbeeinträchtigungen* beinhaltet 12 Items und klärt

33.8% der Varianz auf. Der zweite Faktor *Entzugssymptome* umfasst 7 Items und klärt 7.3% der Varianz auf. Sieben Items wurden aufgrund zu geringer Faktorladung entfernt. Der daraus resultierende Fragebogen mit 19 Items und zwei Faktoren wurde SPAI-DE genannt (Tab. 1). Die beiden neuen Skalen zeigten Reliabilitätswerte von  $\alpha = .88$  und  $.83$ , für die Gesamtskala ergab sich ein Cronbachs  $\alpha$  von  $.90$ .

*Tabelle 1: Explorative Faktorenanalyse mit zwei Faktoren und Entfernung aller Items mit Faktorladung unter .50 (FI = functional impairment, CB = compulsive behavior, WI = withdrawal, TO = tolerance)*

Items	K	F1	F2
<b>SPAI15-FI:</b> Meine Smartphone-Nutzung hatte schon negative Auswirkungen auf meine schulischen oder beruflichen Leistungen.	.615	.779	
<b>SPAI26-FI:</b> Ich fühle mich tagsüber müde, weil ich spät in der Nacht mein Smartphone benutzt habe.	.585	.747	
<b>SPAI23-FI:</b> Meine Schlafqualität und die Länge meines Schlafes haben sich aufgrund meiner Smartphone-Nutzung verschlechtert.	.520	.700	
<b>SPAI17-FI:</b> Meine Interaktion mit Familienmitgliedern hat sich aufgrund meiner Smartphone-Nutzung verringert.	.435	.635	
<b>SPAI08-FI:</b> Ich habe bereits mehr als einmal aufgrund meiner Smartphone-Nutzung weniger als 4 Stunden geschlafen.	.391	.625	
<b>SPAI13-FI:</b> Ich habe Schmerzen und Verspannungen im Rücken oder Augenbeschwerden aufgrund meiner ausgiebigen Smartphone-Nutzung.	.411	.617	
<b>SPAI24-FI:</b> Ich muss mehr Zeit an meinem Smartphone verbringen, um das gleiche Maß an Zufriedenheit zu erlangen wie früher.	.516	.595	<del>.403</del>
<b>SPAI07-CB:</b> Auch wenn die Nutzung meines Smartphones sich negativ auf meine persönlichen Beziehungen ausgewirkt hat, bleibt die Zeit, die ich im Internet verbringe unvermindert.	.435	.577	
<b>SPAI12-FI:</b> Ich ertappe mich dabei, wie ich auf Kosten von Treffen mit Freunden stattdessen dem Smartphone nachgebe.	.395	.553	
<b>SPAI18-CB:</b> Meine Freizeitaktivitäten haben sich aufgrund der Smartphone-Nutzung reduziert.	.390	.548	
<b>SPAI09-TO:</b> Ich habe in den letzten drei Monaten erheblich mehr Zeit pro Woche mit dem Smartphone verbracht.	.333	.516	
<b>SPAI22-CB:</b> Ich versuche vergebens, weniger Zeit am Smartphone zu verbringen.	.366	.511	
<del><b>SPAI01-TO:</b> Mir wurde schon mehrmals gesagt, dass ich zu viel Zeit an meinem Smartphone verbringe.</del>	<del>.319</del>	<del>.481</del>	
<del><b>SPAI06-CB:</b> Ich nutze mein Smartphone über einen längeren Zeitraum und gebe mehr Geld aus, als ich geplant hatte.</del>	<del>.290</del>	<del>.406</del>	<del>.354</del>
<del><b>SPAI05-CB:</b> Ich fühle mich energisch, wenn ich mein Smartphone benutze, unabhängig davon wie erschöpft ich davor war.</del>	<del>.308</del>	<del>.403</del>	<del>.382</del>
<del><b>SPAI03-TO:</b> Ich stelle fest, dass die Zeit, die ich mit dem Smartphone verbringe immer länger wird.</del>	<del>.202</del>		
<b>SPAI16-WI:</b> Wenn ich mein Smartphone für eine bestimmte Zeit nicht benutze, habe ich das Gefühl, dass mir etwas fehlt.	.612		.772
<b>SPAI02-WI:</b> Wenn ich mein Smartphone für eine bestimmte Zeit nicht benutzen kann, fühle ich mich unwohl.	.583		.761
<b>SPAI04-WI:</b> Ich fühle mich unruhig und reizbar, wenn mein Smartphone nicht in der Nähe ist.	.516		.714
<b>SPAI10-CB:</b> Ich fühle mich bedrückt oder niedergeschlagen, wenn ich mein Smartphone für eine bestimmte Zeit nicht benutze.	.486		.627
<b>SPAI14-WI:</b> Wenn ich morgens aufwache, denke ich als erstes daran, mein Smartphone zu benutzen.	.372		.595
<b>SPAI19-WI:</b> Ich verspüre den Drang, mein Smartphone wieder zu benutzen, nachdem ich gerade damit aufgehört habe.	.490	<del>.405</del>	.572
<b>SPAI11-CB:</b> Ich kann den Impuls, mein Smartphone zu benutzen, nicht kontrollieren.	.418	<del>.358</del>	.539

<b>SPAI20-CB:</b> Mein Leben wäre freudlos, wenn es keine Smartphones gäbe.	.221	.405
<b>SPAI25-WI:</b> Ich kann keine Mahlzeit zu mir nehmen, ohne dabei das Smartphone zu benutzen.	.272	.402
<b>SPAI21-CB:</b> Ich habe mich durch die Nutzung meines Smartphones schon mal in gefährliche Situationen gebracht, z.B. durch die Nutzung meines Smartphones während des Überquerens einer Straße oder beim Auto- bzw. Fahrradfahren.	.207	.356

*Anmerkungen.* Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse. Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.

Es zeigten sich hohe Korrelationen der beiden Skalen sowie des Gesamtwertes mit der SAS-SV von  $r = .70$  bis  $r = .78$  ( $p < 0.01$ ). Die Gesamtskala des deutschen SPAI (SPAI-DE) zeigte moderate bis starke Zusammenhänge mit der FoMOs ( $r = .49$ ;  $p < 0.01$ ) und den Skalen der BSCL ( $r = .33 - .52$ ;  $p < 0.01$ ). Am höchsten korrelierte Zwanghaftigkeit mit dem SPAI-DE mit einem Wert von  $r = .52$  ( $p < 0.01$ ). Des Weiteren fanden sich moderate bis starke Zusammenhänge zwischen den Skalen der BSCL und der Skala Funktionsbeeinträchtigungen sowie schwache bis moderate mit der Skala Entzugerserscheinungen (Tab. 2).

Den stärksten soziodemografischen Effekt zeigte die Variable Alter ( $r = -.44$ ;  $p < 0.01$ ), die mit Bildung, Beschäftigung und Einkommen konfundiert war.

*Tabelle 2: Pearson-Korrelationen des SPAI-DE mit BSCL, SAS-SV und FoMOs*

Skalen	SPAI-DE: Summe	SPAI-DE F1: Funktionsbeeinträchtigungen	SPAI-DE F2: Entzugerscheinungen
SPAI_DE_SUM	1	<b>.92**</b>	<b>.85**</b>
SPAI-DE F1: Funktionsbeeinträchtigungen	.92**	1	<b>.59**</b>
SPAI-DE F2: Entzugerscheinungen	.85**	.59**	1
BSCL_AGGR_SUM: Aggressivität	.45**	.45**	.32**
BSCL_ANGS_SUM: Ängstlichkeit	.39**	.40**	.30**
BSCL_DEPR_SUM: Depressivität	.43**	.45**	.31**
BSCL_PARA_SUM: Paranoides Denken	.45**	.49**	.31**
BSCL_PHOB_SUM: Phobische Angst	.36**	.38**	.26**
BSCL_PSYC_SUM: Psychotizismus	.46**	<b>.51**</b>	.30**
BSCL_SOMA_SUM: Somatisierung	.33**	.37**	.21**
BSCL_UNSI_SUM: Unsicherheit im Sozialkontakt	.41**	.43**	.28**
BSCL_ZWAN_SUM: Zwanghaftigkeit	<b>.52**</b>	<b>.54**</b>	.39**
SAS_Sum: Smartphone Addiction Scale – Short Version	<b>.78**</b>	<b>.70**</b>	<b>.71**</b>
Summe FOMO: Fear of Missing Out Scale	.49**	.45**	.44**

## 7. Diskussion

Mit dem deutschen Smartphone-Addiction-Inventory (SPAI-DE) steht nun ein valides und reliables Messinstrument für den deutschsprachigen Raum zur Verfügung. Der Fragebogen wurde gekürzt und auf eine Zwei-Faktorenstruktur reduziert, was seine Praktikabilität erhöht.

Jüngeres Alter, psychische Belastungsfaktoren sowie Fear of Missing Out hängen mit Smartphone-Abhängigkeit zusammen. Damit konnten bestehende Forschungsergeb-

nisse repliziert werden, die eine höhere Smartphone-Abhängigkeit bei Jüngeren aufzeigten (Haug et al., 2015), Zusammenhänge zwischen SPA und Depressivität und sozialer Ängstlichkeit (Wang et al., 2018; Wolf & Wolf, 2020) sowie zwischen SPA und FoMO (Gil et al., 2015) konnten belegt werden. Darüber hinaus konnten Assoziationen zwischen SPA und einem breiten Spektrum von subjektiv empfundenen psychischen Beeinträchtigungen aufgezeigt werden.

Da der Untersuchung keine ausgewogene Stichprobe zugrunde liegt und v.a. die jüngere Generation überrepräsentiert ist, sollten die Erkenntnisse in zukünftigen Studien in einer repräsentativen Stichprobe überprüft werden. Zudem sollten die Zusammenhänge zwischen Smartphone-Addiction und den verschiedenen psychischen Belastungsfaktoren genauer aufgeklärt werden.

## References

- Alexander Markowetz. (2015). *Digitaler Burnout: Warum unsere permanente Smartphone-Nutzung gefährlich ist*. Droemer.
- Arpaci, I., & Esgü, N. (2020). Psychometric properties of the Turkish version of the smartphone addiction inventory (SPAI). *Current Psychology, 39*(6), 2246–2251. <https://doi.org/10.1007/s12144-018-9913-8>
- Data.ai. (2022). *State of Mobile 2022*. Data.ai. <https://www.data.ai/de/go/state-of-mobile-2022/>
- Gabriele Helga Franke (2017). BSCL. Brief-Symptom-Check-List, Manual.
- Gil, F., Oberst, U., Del Valle, G., & Chamarro, A. (2015). Nuevas tecnologías - ¿Nuevas patologías? El Smartphone y el fear of missing out. *Aloma: Revista De Psicología, Ciències De L'educació I De L'esport, 33*(2), 77–83. <https://doi.org/10.51698/aloma.2015.33.2.77-83>
- Haug, S., Castro, R. P., Kwon, M., Filler, A., Kowatsch, T., & Schaub, M. P. (2015). Smartphone use and smartphone addiction among young people in Switzerland. *Journal of Behavioral Addictions, 4*(4), 299–307. <https://doi.org/10.1556/2006.4.2015.037>
- Imani, S., Goradel, J. A., Mousavi, S., & Noroozi, A. (2019). Internal Consistency and Confirmatory Factor Analysis of Smartphone Addiction Inventory (SPAI). *Iranian Journal of Psychiatry and Behavioral Sciences, 13*(2). <https://doi.org/10.5812/ijpbs.55958>
- Khoury, J. M., Freitas, A. A. C. de, Roque, M. A. V., Albuquerque, M. R., das Neves, M. d. C. L., & Garcia, F. D. (2017). Assessment of the accuracy of a new tool for the screening of smartphone addiction. *PloS One, 12*(5), e0176924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176924>
- Kwon, M., Kim, D.-J., Cho, H., & Yang, S. (2013). The smartphone addiction scale: Development and validation of a short version for adolescents. *PloS One, 8*(12), e83558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083558>
- Lin, Y.-H., Chang, L.-R., Lee, Y.-H., Tseng, H.-W., Kuo, T. B. J., & Chen, S.-H. (2014). Development and validation of the Smartphone Addiction Inventory (SPAI). *PloS One, 9*(6), e98312. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098312>
- Lin, Y.-H., Lin, S.-H., Yang, C. C. H., & Kuo, T. B. J. (2017). Psychopathology of Everyday Life in the 21st Century: Smartphone Addiction. In C. Montag & M. Reuter

- (Eds.), *Studies in Neuroscience, Psychology and Behavioral Economics. Internet Addiction* (pp. 339–358). Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-46276-9\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46276-9_20)
- Pavia, L., Cavani, P., Di Blasi, M., & Giordano, C. (2016). Smartphone Addiction Inventory (SPAI): Psychometric properties and confirmatory factor analysis. *Computers in Human Behavior*, *63*, 170–178.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.039>
- Przybylski, A. K., Murayama, K., DeHaan, C. R., & Gladwell, V. (2013). Motivational, emotional, and behavioral correlates of fear of missing out. *Computers in Human Behavior*, *29*(4), 1841–1848. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.02.014>
- Scherr, S., & Bartsch, A. (2019). Pathologische Mediennutzung. In C. Rossmann & M. R. Hastall (Eds.), *Handbuch der Gesundheitskommunikation* (pp. 281–292). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-10727-7\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-658-10727-7_22)
- Simó-Sanz, C., Ballestar-Tarín, M. <sup>a</sup>. L., & Martínez-Sabater, A. (2018). Smartphone Addiction Inventory (SPAI): Translation, adaptation and validation of the tool in Spanish adult population. *PloS One*, *13*(10), e0205389.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205389>
- Spitzer, M. (2015). Smartphones, Angst und Stress. *Nervenheilkunde*, *34*(08), 591–600. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1627605>
- Wang, H.-Y., Sigerson, L., Jiang, H., & Cheng, C. (2018). Psychometric Properties and Factor Structures of Chinese Smartphone Addiction Inventory: Test of Two Models. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1411.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01411>
- Welledits, V., Schmidkonz, C., & Kraft, P. (2020). *Digital Detox im Arbeitsleben: Methoden und Empfehlungen für einen gesunden Einsatz von Technologien. Essentials*. Springer.
- Wolf, N. D., & Wolf, R. C. (2020). „Smartphone addiction“: Fakt oder Fiktion? *Nervenheilkunde*, *39*(12), 810–816. <https://doi.org/10.1055/a-1191-9747>

# Aufbrechen stereotyper Darstellungen - Eine kommunikations- und medienwissenschaftliche Inhaltsanalyse psychischer Erkrankungen in digitalen Spielen

Ruth Kasdorf<sup>1,2</sup>

1 Hochschule Wismar, Deutschland

2 Universität Rostock, Deutschland

## Abstract

Psychische Erkrankungen werden häufig in digitalen Spielen thematisiert, wobei es vermehrt zu negativen, stereotypen und stigmatisierenden Darstellungen kommt. Betroffene Charaktere werden dabei vorrangig als gefährlich und gewalttätig oder auch als schwach und hilflos dargestellt. Im Rahmen einer quantitativen Inhaltsanalyse der beliebtesten Spiele der Jahre 2018 und 2019 wurde die Repräsentation psychischer Erkrankungen in Verbindung mit Stereotypen untersucht. Neben bereits etablierter Stereotype konnten auch neue Repräsentationsmuster festgestellt werden, die das Potential für empathische und fortschrittliche Darstellungen Betroffener bieten. Demnach sind es nicht mehr nur die Antagonist:innen, gegen die gekämpft, oder Opfer, die gerettet werden müssen, sondern vermehrt auch die Protagonist:innen selbst, die betroffen sind. Es handelt sich dabei um die Held:innen, die im Laufe des Spiels lernen mit ihrer Erkrankung umzugehen, anstatt nur dagegen anzukämpfen. Der Beitrag stellt neben diesen progressiven Repräsentationsmustern auch weitere Empfehlungen für eine Darstellung psychischer Erkrankungen dar, um stereotype und stigmatisierende Repräsentationen Betroffener in digitalen Spielen zukünftig zu vermeiden oder diese möglicherweise auch aufzubrechen.

**Keywords:** *digitale Spiele, psychische Erkrankungen, Stereotype, Repräsentation, Inhaltsanalyse*

## 1. Einleitung

Digitale Spiele gehören zu den relevantesten Unterhaltungsmedien und gewinnen immer mehr an Bedeutung. Alleine in Deutschland nutzt über die Hälfte der Bevölkerung digitale Spiele, wobei im Jahr 2021 ein Umsatz von fast 10 Milliarden Euro erzielt wurde (game, 2022). Im Gegensatz zu den meisten anderen audiovisuellen Medien ermöglichen digitale Spiele eine aktive Beteiligung sowie die Einflussnahme auf Inhalte durch die Nutzenden (Neitzel, 2012). Immer häufiger werden, angelehnt an aktuelle Diskurse, gesellschaftlich relevante Themen und Probleme in digitalen Spielen behandelt, darunter auch psychische Erkrankungen. Bundesweit sind jährlich mehr als ein Viertel der erwachsenen Menschen von einer psychischen Erkrankung betroffen (Jacobi et al., 2014). Was die Darstellung ebendieser erschwert, ist die Tatsache, dass sie nach außen hin deutlich schwerer erkennbar sind als viele körperliche Erkrankungen (Linsey, 2014). Häufig entstehen in diesem Zusammenhang Stereotype, worunter, basierend auf Kategorisierung, Vereinfachung und Verallgemeinerung, „sozial geteilte Meinungen über die

Merkmale der Mitglieder einer sozialen Gruppe [...] mit positiven oder negativen Wertungen verbunden“ (Thiele, 2015) zu verstehen sind. Diese bergen die Gefahr von Repräsentationen, die falsche Annahmen über Betroffene verbreiten und bis hin zu deren Stigmatisierung und Diskriminierung führen können. In vielen Fällen hat dies zur Folge, dass Betroffene weniger Bereitschaft zu Früherkennungs- und Behandlungsmethoden zeigen und von der Gesellschaft soziale und berufliche Benachteiligungen sowie soziale Distanzierung erfahren (Scherr, 2019).

Der Beitrag aus der empirischen Sozialforschung stellt eine quantitative Untersuchung der beliebtesten Spiele der Jahre 2018 und 2019 hinsichtlich der Darstellung psychischer Erkrankungen vor. Der Fokus wurde dabei vorrangig auf stereotype Darstellungen betroffener Charaktere gelegt. Es werden bereits etablierte stereotype Darstellungen am Sample untersucht ebenso wie neue Repräsentationsmuster auf Basis der Untersuchung vorgestellt und erläutert. Abschließend werden auf schlussfolgernde Empfehlungen für zukünftige Darstellungen psychischer Erkrankungen in digitalen Spielen zusammengetragen.

## **2. Stand der Forschung und Forschungsfragen**

Bisherige Forschung in dem Feld verdeutlicht, dass psychische Erkrankungen und davon Betroffene häufig auf stereotypisierende und stigmatisierende Weise dargestellt werden. Insbesondere in Horrorspielen treten vermehrt betroffene Charaktere auf, die als gewalttätig und bössartig charakterisiert werden und meist eine direkte Gefahr für die Protagonist:innen darstellen (Hylar et al., 1991; Morris & Forrest, 2013; Shapiro & Rotter, 2016). Eine weitere verbreitete Darstellungsweise ist die Annahme, dass Betroffene hilflos und verloren seien und kaum eine Chance auf Heilung hätten (Ferrari et al., 2019). Möglichkeiten einer professionellen psychiatrischen Behandlungen werden in diesem Kontext in den wenigsten Fällen thematisiert. Wenn diese dennoch aufgegriffen werden, dann werden sie vorrangig als ineffektiv und kostspielig dargestellt (Buday et al., 2022). Davon abgesehen besitzen digitale Spiele durchaus das Potential zu mehr Verständnis für psychische Erkrankungen und entgegen bestehender stigmatisierender Darstellungen beizutragen. Eine solche Darstellung kann allerdings schnell auf ihren technischen Schauwert reduziert werden, sodass der Fokus darauf gelegt wird, Spielende zu schockieren, zu unterhalten oder zu faszinieren (Runzheimer, 2019). Ein positiv hervorzuhebendes Beispiel ist das Action-Adventure *Hellblade: Senua's Sacrifice* aus dem Jahr 2017. Die Protagonistin in dem Spiel ist von einer Psychose und Wahnvorstellungen betroffen. Neben negativen Auswirkungen der Erkrankungen werden in dem Spiel auch positivere Nebeneffekte der Erkrankung betrachtet, wie Halluzinationen farbenfroher Muster, die als Teil des Gameplays dazu genutzt werden, Rätsel zu lösen und im Spiel voranzukommen. Im Entwicklungsprozess des Spiels wurden medizinische Professionelle sowie Betroffene selbst herangezogen (Fordham & Ball, 2019; Anderson, 2020). Die Zusammenarbeit mit Expert:innen zum Thema psychische Erkrankungen, wie Betroffene und Mediziner:innen, kann eine wertvolle Informationsquelle sein, um psychische Erkrankungen und davon Betroffene wahrheitsgemäß, empathisch und frei von Stereotypen und Stigmatisierung darzustellen. Auch persönliche krankheitsbezogene Erfahrungen von Entwickler:innen, die innerhalb des Spiels verarbeitet werden, zählen als eine solche Expertise (Schlote & Major, 2021).

Hylar et al. haben eine Reihe stereotyper Darstellungen psychisch erkrankter Personen in Filmen und Fernsehprogrammen zusammengetragen. Dabei wird deutlich, dass vorrangig negativ konnotierte Repräsentationsmuster reproduziert werden:

***Rebellische Freigeister*** („rebellious free spirit“)

Betroffene Personen, die diesem Stereotyp entsprechen, legen ein rebellisches und anti-autoritäres Verhalten gegenüber Pflegekräften und Wachpersonal an den Tag, was auf einem Wunsch nach Freiheit zurückzuführen ist. Häufig nehmen sie die Rolle von Clowns, Spaßvögeln oder harmlosen Exzentriker:innen ein.

***Gemeingefährliche Wahnsinnige*** („homicidal maniac“)

Hierbei handelt es sich um ein häufig auftretendes negatives Repräsentationsmuster, welches Betroffene, häufig in der Rolle von Antagonist:innen oder Mörder:innen, als gefährlich, gewalttätig, unberechenbar sowie böse darstellt. Jegliche Ansätze einer professionellen medizinischen Behandlung schlagen bei ihnen nicht an.

***Weibliche Patientinnen als Verführerinnen*** („female patient as seductress“)

Dieser Stereotyp bezieht sich ausschließlich auf weibliche Betroffene. Es handelt sich insbesondere um junge und attraktive Frauen, die als hypersexualisierte Nymphaninnen dargestellt werden. Sie versuchen vermehrt, ihre männlichen Therapeuten zu verführen.

***Aufgeklärte Mitglieder der Gesellschaft*** („enlightened member of society“)

In diesem Fall sind Betroffene davon überzeugt, dass sie im Vergleich zur restlichen Gesellschaft bei geistiger Gesundheit sind. Dementsprechend leugnen sie ihre Erkrankung und lehnen Auflagen und Behandlungsmethoden ihrer Therapeut:innen ab.

***Narzisstische Parasiten*** („narcissitic parasite“)

Hierbei liegt keine tatsächlich diagnostizierbare psychische Erkrankung vor, stattdessen handelt es sich um besonders privilegierte Personen, die sich für eine vermeintliche psychische Erkrankung in Therapie begeben. Dabei nutzen sie die dadurch erlangte Aufmerksamkeit und beklagen sich über belanglose Probleme.

***Versuchsobjekte*** („zoo specimen“)

Betroffene werden ähnlich wie Labortiere eingesperrt und für wissenschaftliche Untersuchungen ausgenutzt. Diese entmenslichte Darstellung psychisch erkrankter Personen ist besonders dann zu erkennen, wenn Patient:innen in psychiatrischen Institutionen als „Verrückte“ vorgeführt werden.

In vielen Fällen werden nichtige Probleme in den Vordergrund gerückt oder psychische Erkrankungen vorgetäuscht. Weitaus wichtigere und relevante Probleme, mit denen Betroffene konfrontiert werden, werden dagegen kaum angesprochen. Dies führt dazu, dass negative Vorbilder für Betroffene dargestellt werden und Außenstehende ein falsches Bild von psychischen Erkrankungen erhalten. Auf diese Weise entstehen stigmatisierende Einstellungen gegenüber Betroffenen und psychische Erkrankungen per se werden weniger ernst genommen (Hylar et al., 1991).

Shapiro und Rotter haben das Auftreten stereotyper Darstellungen psychischer Erkrankungen in Videospiele untersucht. Als Grundlage dienten die jeweils 50 meistverkauften Spiele der Jahre 2011 bis 2013, was ohne Dopplungen ein Sample von insgesamt



96 Spiele ergab. Dabei wurden neben dem Auftreten der Stereotypen nach Hyler et al. weitere stereotype Darstellungen identifiziert:

***Gestörte Pflegefälle*** („dysfunctional invalid“)

Ihre Funktion ist es, Protagonist:innen durch ihren eigenen Tod oder ihre Inhaftierung auf eine Gefahr hinzuweisen. Zudem können sie Fortschritte der Spielenden hemmen, indem sie diese bei Tätigkeiten einschränken.

***Paranoide Verschwörungstheoretiker:innen*** („paranoid conspiracy theorist“)

Hierbei handelt es sich um Personen mit einem besonders ausgeprägten Verfolgungswahn, die fest an Verschwörungstheorien glauben. Dabei stellen sie keine Einschränkungen für die Protagonist:innen dar, sondern dienen ihnen als Unterstützung.

***Exzentrische Spaßvögel*** („comic eccentric“)

Dieser Stereotyp ähnelt dem der rebellischer Freigeister, allerdings ohne rebellisches, anti-autoritäres Verhalten. Sie werden als besonders verschrobene und komische Charaktere dargestellt.

***Niedergeschlagene Opfer*** („afflicted victim“)

In diesem Fall handelt es sich vorrangig um weibliche Charaktere, die von Depressionen betroffen sind. Meist fallen sie den Antagonist:innen zum Opfer, woraufhin die Protagonist:innen die Betroffenen retten oder die Täter:innen für diese Taten bestrafen.

***Krankheit im Namen*** („illness in name“)

Den entsprechenden Charakteren werden psychische Erkrankungen durch Spitznamen wie „crazy“ oder „mad“ zugesprochen. Auch wenn bei diesen Personen keine psychische Erkrankung explizit erkennbar ist, werden sie besonders negativ und als nicht vertrauenswürdig dargestellt.

In jedem vierten untersuchten Spiel konnte mindestens ein Charakter mit einer psychischen Erkrankung identifiziert werden. Insgesamt ist deutlich erkennbar, dass der Großteil der Darstellungen psychischer Erkrankungen negativ ausfällt, wobei 69% der betroffenen Charaktere als *Gemeingefährliche Wahnsinnige* einzuordnen sind (Shapiro & Rotter, 2016).

Im Rahmen der im Beitrag vorgestellten Untersuchung stehen folgende Fragen im Fokus:

- *Welche Stereotype psychischer Erkrankungen werden in aktuellen digitalen Spielen reproduziert?*
- *Welche Repräsentationsmuster treten auf, die stereotypen und stigmatisierenden Darstellungen nicht entsprechen oder diese sogar aufbrechen?*

### **3. Methode**

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Sample bestehend aus den beliebtesten digitalen Spielen der Jahre 2018 und 2019 laut *Internet Movie Database* (IMDb) zusammengestellt. Da eine Übersicht der Verkaufszahlen oder der Anzahl der Spielenden nicht zugänglich war, wurde *IMDb* als führende Plattform für Benutzer:innenbewertungen au-

diovisueller Medien als relevante Quelle herangezogen. Die dortigen Suche wurde, neben der gegebenen Zeitspanne (Spiele, die in den Jahren 2018 oder 2019 veröffentlicht wurden), auf Spiele mit mindestens 250 Bewertungen beschränkt. Somit sollte vermieden werden, dass weitgehend unbekannte Spiele mit wenigen aber hohen Bewertungen berücksichtigt werden. Dies ergab eine Auswahl an 74 Spielen, welche mithilfe einer Schlagwortsuche zunächst darauf untersucht wurden, ob sie psychische Erkrankungen beinhalten. Dabei wurden die Spieltitle in Kombination mit krankheitsbezogenen Begriffen (z.B. „mental illness“, „depression“, „anxiety“, „madness“) per Suchmaschine gesucht, um auf entsprechende Verweise zu den Websites der Spiele, Wikipedia-Seiten und Spiel-Wikis oder weitere Quellen zu gelangen, die darüber Auskunft geben, ob psychische Erkrankungen in den Spielen thematisiert werden. Diese entsprechenden Verweise dienen gleichzeitig als Informationsquellen bei der anschließenden Codierung. Die Spiele aus dem Sample, die psychische Erkrankungen thematisieren, wurden in einem Codierprozess nach Prommer und Linke (2017) untersucht. Diese Methode ermöglicht eine nachvollziehbare und überprüfbare inhaltliche Strukturierung der untersuchten Inhalte. Vorab wurde dafür ein Codierbuch zusammengetragen, welches sich aus Kategorien (Themen oder thematische Strukturen, z.B. narratives Genre) und Codes (dazugehörige Ausprägungen der Kategorien, z.B. Fantasy, Horror, Science-Fiction) zusammensetzt. Um eine einheitliche Codierung gewährleisten zu können, müssen einige Codes anhand von Regeln und Textbeispielen im Codebuch definiert werden. Zudem wurden einige Kategorien offen gehalten, wobei die entsprechenden Codes nicht vorab vorgegeben sondern in einem induktivem Prozess anhand von ähnlichen Befunden definiert werden. Die Codierung befasste sich mit allgemeinen Angaben zu den jeweiligen Spielen (z.B. Entwicklungsstudio, Produktionsland), betroffenen Charakteren (z.B. Möglichkeit diese zu steuern, Art der Figur) sowie der Erkrankung selbst und deren Darstellung (z.B. professionelle Behandlung, Auslöser/Schlüsselereignis). Der Fokus wurde dabei vorrangig auf stereotype Darstellungen und wiederkehrende Repräsentationsmuster betroffener Charaktere gelegt, die im Folgenden vorgestellt werden.

#### **4. Ergebnisse**

In 16 der insgesamt 74 untersuchten Spiele konnten psychische Erkrankungen festgestellt werden, was etwa 22% entspricht. Insgesamt konnten 24 betroffene Spielcharaktere identifiziert werden. Davon tritt ein Charakter in zwei unterschiedlichen Spielen auf und eine Gruppe an Charakteren, die nicht als individuelle Einzelpersonen auftreten, werden als ein Charakter zusammengefasst. Drei von vier betroffenen Charakteren können von den Spielenden gesteuert werden. Die Hälfte der identifizierten Charaktere sind Hauptfiguren, ein Drittel sind Protagonist;innen und jeweils drei weitere sind Antagonist;innen beziehungsweise Nebenfiguren. Am häufigsten vertreten sind neurotische und Belastungsstörungen (n=9) sowie affektive Störungen (n=7). In n=7 Fällen konnte keine konkrete Erkrankung festgestellt werden, weswegen diese als „Wahnsinn“ kategorisiert wurden. In kaum einem untersuchten Spiel wurden Formen einer professionellen medizinischen Behandlung aufgegriffen. Drei Spiele beinhalten psychiatrische Institutionen, bei zwei Spielen nehmen Charaktere Medikamente ein und in einem Spiel wird erwähnt, dass ein Charakter sich in therapeutischer Behandlung befindet. Als Schlüsselereignisse, beziehungsweise Auslöser für die Erkrankungen, treten am häufigsten der Verlust von Angehörigen (n=5), traumatische Erlebnisse, insbesondere in Folge eines Kriegseinsatzes (n=4) sowie Besessenheit einer bestimmten Person (n=2), eines wissenschaftlichen Fortschritts (n=2) oder eines religiösen Glaubens (n=1) auf. Weitere

Schlüsselereignisse sind Kindheitstraumata, die Überwältigung durch eine dunkle Macht als Metapher für Depressionen in Fantasy Spielen (jeweils n=2), Unfälle ebenso wie der Verlust des Arbeitsplatzes (jeweils n=1). In drei Fällen konnte kein konkretes Schlüsselereignis festgestellt werden.

Der Großteil der untersuchten betroffenen Charaktere konnte keinem der bereits etablierten Stereotypen psychischer Erkrankungen zugeordnet werden. Drei Charaktere lassen sich an Stereotype nach Hyler et al. und weitere fünf an jene nach Shapiro und Rotter anlehnen (siehe Tabelle 1). Zwei weitere Charaktere konnten keinerlei Stereotypen oder weiteren Repräsentationsmustern psychischer Erkrankungen zugeordnet werden.

<b>Stereotyp</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
Gemeingefährliche Wahnsinnige	2	8,7%
Versuchsobjekte	1	4,3%
Niedergeschlagene Opfer	3	13,0%
Krankheit im Namen	2	8,7%
Nicht zuordenbar	2	8,7%

*Tabelle 1: Häufigkeit etablierte Stereotypen*

Gut zwei Dritteln der untersuchten Charaktere konnten neue Repräsentationsmuster zugeordnet werden. Grundlage bieten dabei die Spieltypen (Protagonist:innen, Antagonist:innen, Hauptfigur oder Nebenfigur), die entsprechenden Arten der Erkrankungen sowie die Schlüsselereignisse. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Repräsentationsmuster genauer erläutert. Die dazugehörigen Häufigkeiten sind in Tabelle 2 zu finden.

### ***Gebrochene Hinterbliebene***

Hierbei handelt es sich um Protagonist:innen oder wichtige Hauptcharaktere, die häufig von Posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS), Depressionen oder Alkoholabhängigkeit betroffen sind. Auslöser ist der Verlust von nahestehenden Angehörigen, insbesondere Lebenspartner:innen oder Kinder. Sie werden von Schuldgefühlen verfolgt und sehen sich selbst als Verantwortliche für den Tod ihrer Geliebten. *(Beispiele im Sample: Kratos in God of War; Dimitri in Fire Emblem: Three Houses; Hank Anderson in Detroit: Become Human; Charles Erickson in Die fantastischen Abenteuer von Captain Spirit)*

### ***Traumatisierte Kämpfer:innen***

Dies sind Protagonist:innen oder andere Hauptfiguren, die häufig in der Rolle von ehemaligen Soldat:innen oder anderen Krieger:innen auftreten. Diese leiden an PTBS, da sie während der Zeit im Gefecht traumatische Dinge erlebt haben. Sie werden von den Folgen ihrer Erlebnisse heimgesucht und haben Probleme diese zu verarbeiten. *(Beispiele im Sample: Edward Pierce in Call of Cthulhu; Ellis Lynch in Blair Witch ; Jackson Brix in Mortal Kombat 11)*

### **Ankämpfende Held:innen**

Auch hier handelt es sich vorrangig um die Protagonist:innen der Spiele oder weitere relevante Hauptcharaktere, die von Depressionen oder Angststörungen betroffen sind. Anders als beim Stereotyp des niedergeschlagenen Opfers sind sie nicht machtlos, sondern in der Lage, für sich selbst einzustehen oder zu kämpfen. Häufig steht ihnen gegenüber die Personifizierung ihrer Krankheit als Gegner:in im Spiel, gegen die sie ankämpfen müssen. Das Ziel ist dabei nicht zwangsweise diese zu besiegen, sondern zu lernen, mit ihrer Erkrankung umzugehen und diese als Teil ihrer selbst anzusehen. (Beispiele im Sample: *Madeline in Celeste*; *Protagonistin in Gris*; *Riku in Kingdom Hearts 3*)

### **Verrückte Wissenschaftler:innen**

Dieser Stereotyp ähnelt den gemeingefährlichen Wahnsinnigen. Es handelt sich um Antagonist:innen oder andere „böartige“ Charaktere. In der Regel liegt keine konkrete psychische Erkrankungen vor, dementsprechend gelten die Charaktere lediglich als „wahnsinnig“. Was sie besonders auszeichnet, ist der Auslöser ihrer Besessenheit, welcher im wissenschaftlichen Fortschritt liegt. Sie sind Wissenschaftler:innen, die mit der Zeit ihren Verstand verlieren und andere Personen durch ihren Forschungsdrang gefährden. (Beispiele im Sample: *Doktor Octopus in Spider-Man*; *Caustic in Apex Legends*)

### **Religiöse Fanatiker:innen**

Bei diesem Stereotyp handelt es sich ebenfalls um Antagonist:innen oder andere „böartige“ Charaktere, die dem Stereotyp der gemeingefährlichen Wahnsinnigen ähneln. Auslöser ist hierbei sind Besessenheit eines bestimmten Glaubens. Die Betroffenen beten eine Gottheit an oder folgen blind Sektenführer:innen. Sie sehen Andersdenkende als Feind an und machen es sich zur Aufgabe, diese zu bekämpfen. (Beispiel im Sample: *Ghosts in Rage 2*)

<b>Stereotyp</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
Gebrochene Hinterbliebene	4	17,4%
Traumatisierte Kämpfer:innen	3	13,0%
Ankämpfende Held:innen	3	13,0%
Verrückte Wissenschaftler:innen	2	8,7%
Religiöse Fanatiker:innen	1	4,3%

Tabelle 2: Häufigkeit neuer Repräsentationsmuster

## **5. Diskussion**

Es wird deutlich, dass nach wie vor in vielen digitalen Spielen negative Repräsentationen psychischer Erkrankungen reproduziert werden. Im Sample selbst lassen sich vermehrt Antagonist:innen finden, die von keiner konkreten Erkrankung betroffen, sondern „wahnsinnig“ sind. Neue, auf Basis dieses Samples definierte Repräsentationsmuster, beinhalten ebenfalls abgewandelte Formen des häufig verwendeten Stereotypen der *Gemeingefährlichen Wahnsinnigen*. Während Schlüsselereignisse und Hintergründe variieren, bleibt die Konnotation mit Gewalttätigkeit und Böartigkeit bestehen. Die Gefahr die diese Charaktere ausstrahlen, wird direkt mit psychischen Erkrankungen per se in Verbindung gebracht, was zu stigmatisierenden und diskriminierenden Einstellungen

gegenüber Betroffenen führen kann. Auch Betroffene, die als schwach und hilflos dargestellt werden, sind als *Niedergeschlagene Opfer* im Sample vertreten. Diese Charaktere bieten durch ihre Ausweglosigkeit und pessimistische Perspektive auf die Erkrankungen keine positiven oder progressiven Beispiele der Repräsentation psychischer Erkrankungen. Zudem werden professionelle Behandlungen, medizinische Professionelle und psychiatrische Institutionen im Sample kaum adressiert. Um einen tieferen Einblick in das Krankheitserleben zu gewähren und um die Bereitschaft zu Maßnahmen der Prävention und Behandlung anzuregen, sollten diese häufiger dargestellt werden, ohne dabei deren Effektivität und Wirksamkeit anzuzweifeln.

Dem gegenüber wird eine Entwicklung in Richtung positiverer Ansätze psychisch erkrankte Personen in digitalen Spielen darzustellen, erkennbar. In vielen Fällen handelt es sich bei den Betroffenen nicht um Gegner:innen, die von den Spielenden bekämpft oder um Opfer, die von den Spielenden gerettet werden müssen, sondern um die Protagonist:innen des Spiels. Es sind immer häufiger die Held:innen der Story, die selbst von psychischen Erkrankungen betroffen sind und dagegen ankämpfen, beziehungsweise lernen, damit umzugehen. Im Vergleich zu den bereits etablierten stereotypen Repräsentationsmustern, die nichtige Belange in den Fokus stellen sowie zentrale Probleme Betroffener ausblenden und nicht ernst nehmen, zeigt sich ein Wandel in die richtige Richtung. Die Untersuchung legt dar, dass digitale Spiele durchaus in der Lage sind, die Krankheitserfahrung Betroffener nachvollziehbar und auf empathische Weise wiederzugeben. Beispielsweise wird bei *Traumatisierten Kämpfer:innen* und *Gebrochenen Hinterbliebenen* die psychische Belastung aufgrund von Verlust oder anderen traumatischen Erlebnissen widergespiegelt. Des Weiteren besitzen die *Ankämpfenden Held:innen* das Potential, als positive Beispiele für Betroffene für den Umgang mit psychischen Erkrankung voranzugehen. Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass bei der Entwicklung der Spiele Expert:innen zum Thema psychische Erkrankungen herangezogen wurden. Beispielsweise wurde bei der Entwicklung von *Gris* ein Psychiater konsultiert (Sanchez, 2019). Bei *Celeste* dagegen basiert diese Expertise auf der persönlichen Erfahrung der Entwicklerin, die selbst von Depressionen und einer Angststörung betroffen ist (Grayson, 2018).

Auf der Grundlage der vorangehenden Literatur sowie der Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich folgende Empfehlungen schließen, die zu positiveren Repräsentationsmustern sowie dem Aufbrechen stereotyper Darstellungen psychischer Erkrankungen beitragen können:

- Wenn psychische Erkrankungen in digitalen Spielen thematisiert werden, sollten diese durch *Expertise* auf diesem Gebiet gestützt werden, beispielsweise indem medizinische Professionelle oder Betroffene selbst bei der Entwicklung miteinbezogen werden.
- Es sollten stets *relevante und zentrale Probleme* Betroffener in Bezug auf ihre Erkrankung in den Fokus genommen werden. Auf falsche Behauptungen, eine psychische Erkrankung läge vor, sollte gänzlich verzichtet werden.
- Betroffene Charaktere sollten *nicht ausschließlich als böse, gewalttätig oder gefährlich dargestellt* werden. Die Erkrankung selbst sollte nicht als Motivation für Antagonist:innen genutzt werden.

- Medizinische Behandlungen psychischer Erkrankungen ebenso wie medizinische Professionelle sollen *nicht in Hinblick auf ihre Effektivität und Wirksamkeit angezweifelt*, beziehungsweise in ein negatives Licht gerückt werden.
- Wenn psychische Erkrankungen in digitalen Spielen thematisiert werden, sollten diese von unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden und *möglichst nachhaltige Informationen für Betroffene wie auch für nicht Betroffene* beinhalten. Möglichkeiten dafür sind die Vermittlung von krankheitsbezogenem Wissen, die Darstellung positiver Beispiele und Vorbilder für Betroffene sowie die Bereitstellung möglicher Hinweise für den Umgang mit psychischen Erkrankungen und der Unterstützung Betroffener.

## 6. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse geben einen Einblick darauf, dass psychische Erkrankungen vermehrt in digitalen Spielen thematisiert werden. Häufig werden betroffene Charaktere als böartige und gefährliche Gegner:innen oder als hilflose Opfer dargestellt, wodurch vorhandene Stereotype fortwährend verbreitet werden. Dem gegenüber ist ein Wandel hin zu positiveren und fortschrittlicheren Repräsentationsmuster psychischer Erkrankungen erkennbar. Diese besitzen das Potential vorhandene Stereotype aufzubrechen, betroffenen Spielenden Sichtbarkeit und positive Vorbilder anzubieten und das Krankheitserleben für Außenstehende empathisch zugänglich zu machen. Die Repräsentationsmuster ebenso wie die Empfehlungen, die in diesem Beitrag vorgestellt wurden, bieten einen möglichen Ansatz, zukünftig psychische Erkrankungen und davon betroffene Charaktere in digitalen Spielen frei von Stereotypen und Stigmatisierung darzustellen. Vor diesem Hintergrund ist zu beachten, dass sich das Sample konkret auf die beliebtesten und bekanntesten Unterhaltungsspiele in dem begrenzten Zeitraum der Jahre 2018 und 2019 fokussiert hat. Es bedarf weiterer Untersuchungen aktueller Spiele, besonders in den Bereichen der Indie-Spiele, welche von unabhängigen Entwicklungsstudios stammen und weniger kommerziellen Erfolg und Bekanntheit besitzen, ebenso wie der Serious Games, deren Fokus nicht primär auf Unterhaltung, sondern in Bereichen wie Gesundheit, Bildung oder Kultur liegt. Des Weiteren sollten in dem Zusammenhang Befragungen mit betroffenen Personen selbst durchgeführt werden, um die Wirkung entsprechender Repräsentationsmuster über bisherige Mutmaßungen heraus validieren zu können.

## 7. Literatur

- Buday, J., Neumann, M., Heidingerova, J., Michalec, J., Podgorná, G., Maresš et al. (2022). Depictions of Mental Illness and Psychiatry in Popular Video Games Over the Last 20 Years. *Frontiers in Psychiatry*. 13. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.967992>
- Ferrari, M., McIlwaine, S., Jordan, G., Shah, J., Lal, S. & Iyer, S. (2019). Gaming With Stigma: Analysis of Messages About Mental Illnesses in Video Games. *JMIR Mental Health*, 6(5), 1-14. <https://doi.org/10.2196/12418>
- game - Verband der deutschen Games-Branche e.V. (2022). *Jahresreport der deutschen Games-Branche 2022*. <https://www.game.de/wp-content/uploads/2022/08/Jahresreport-der-deutschen-Games-Branche-2022.pdf>
- Fordham, J. and Ball, C. (2019). Framing Mental Health Within Digital Games: An Exploratory Case Study of Hellblade. *JMIR Mental Health*. 6(4).

<https://doi.org/10.2196/12432>

- Grayson, N. (2018, 16. April). Celeste Taught Fans And Its Own Creator To Take Better Care of Themselves. *Kotaku*. <https://kotaku.com/celeste-taught-fans-and-its-own-creator-to-take-better-1825305692>
- Hylar, S., Gabbard, G. & Schneider, I. (1991). Homicidal Maniacs and Narcissistic Parasites: Stigmatization of Mentally Ill Persons in the Movies. *Hospital and Community Psychiatry*, 42(10), 1044-1048. <https://doi.org/10.1176/ps.42.10.1044>.
- Jacobi, F., Höfler, M., Strehle, J., Mack, S., Gerschler, A., Scholl, L., Busch, M., Maske, U., Hapke, U., Gaebel, W., Maier, W., Wagner, M., Zielasek, J. & Wittchen, H. (2014). Psychische Störungen in der Allgemeinbevölkerung: Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland und ihr Zusatzmodul Psychische Gesundheit (DEGS1-MH). *Nervenarzt*, 85, 77-87. <https://doi.org/10.1007/s00115-013-3961-y>
- Lindsey, P. (2014, 21. Juli). Gaming's Favorite Villain is Mental Illness, and this Needs to Stop. *Polygon*. <https://www.polygon.com/2014/7/21/5923095/mental-health-gaming-silent-hill>
- Morris, G. & Forrest, R. (2013). Wham, Sock, Kapow! Can Batman defeat his biggest foe yet and combat mental health discrimination? An exploration of the video games industry and its potential for health promotion. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 20, 752-760. <https://doi.org/10.1111/jpm.12055>
- Neitzel, B. (2012). Involvierungsstrategien des Computerspiels. In: M. Hagner, I. Kerner & D. Thomä (Hrsg.), *Theorien des Computerspiels zur Einführung*. Junius Verlag, 75-103.
- Prommer, E., Linke, C. (2017). Codierung. In: L. Mikos & C. Wegener (Hrsg.), *Qualitative Medienforschung: ein Handbuch* (S. 447-457). UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Runzheimer, B. (2020). First Person Mental Illness: Digitale Geisteskrankheit als immersive Selbsterfahrung. In: A. Görge & S. Simond. (Hrsg.), *Krankheit in Digitalen Spielen: Interdisziplinäre Betrachtungen* (S. 145-162). transcript Verlag.
- Sanchez, A. (2019, 05. August). Recovering Hearts: The Games Challenging Mental Health Stigmas. *Electronic Gaming Monthly*. <https://egmnow.com/recovering-hearts-the-games-challenging-mental-health-stigmas/>
- Scherr, S. (2019). Psychische Krankheiten in der Gesellschaft und in den Medien. In: C. Rossmann & M. Hastall (Hrsg.), *Handbuch der Gesundheitskommunikation* (S. 579-589). Springer Fachmedien.
- Schlote, E. and Major, A. (2021). Playing With Mental Issues - Entertaining Video Games as a Means for Mental Health Education? *Digital Culture & Education*. 13(2), 94-110.
- Shapiro, S. & Rotter, M. (2016). Graphic Depictions: Portrayals of Mental Illness in Video Games. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1592-1595. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13214>
- Thiele, M. (2015). *Medien und Stereotype: Konturen eines Forschungsfeldes*. transcript Verlag.

# Crowdsourcing in der Sportbranche – Eine qualitative Studie zu den Einflussfaktoren auf die Nutzungsabsicht

Sarah Uhlig, André Schneider, Patrick Czerney

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

## Abstract

Das Ziel dieser qualitativen Studie ist es, Gründe für und gegen die Absicht zur Nutzung von Crowdsourcing im spezifischen Kontext des Sports zu identifizieren. Hierzu wurden 10 Experteninterviews mit Verantwortlichen des Produkt- und Marketingmanagements deutscher Fußballclubs der 1. und 2. Männer-Bundesliga geführt, die sich auf die Gründe konzentrierten, welche das Nutzungsverhalten bezüglich des Crowdsourcings beeinflussen. Die Ergebnisse der Studie, die durch eine qualitative Inhaltsanalyse gewonnen wurden, führten zur Konkretisierung des Ursache-Wirkungs-Modells um die fördernden und hemmenden Gründe. Diese Erkenntnisse sind von Bedeutung für die Anwendung von Crowdsourcing in Organisationen innerhalb der Sportbranche.

## 1. Einleitung

Die Digitalisierung und Globalisierung stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen, wie zum Beispiel eine erhöhte Konkurrenz und ein erweitertes Spektrum an Angeboten. Dadurch entsteht ein höherer Innovationsdruck. Auch in der Sportbranche müssen Unternehmen auf die sich schnell verändernden Kundenbedürfnisse und kürzeren Produktlebenszyklen reagieren, um einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen und zu behalten (Scheidegger & Weiss, 2016). Die Digitalisierung führt zu einem Strukturwandel, der nicht nur Herstellungsverfahren und Prozesse beeinflusst, sondern auch ein Potenzial für neue Innovationen freisetzt. Diese Innovationen sind ein entscheidender Treiber für Beschäftigung und Wachstum. In vielen Branchen wird die Digitalisierung als Motor für Innovationen angesehen und ist von großer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und die Innovationskraft der deutschen Wirtschaft (Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2018; Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr [SMWA], 2020). Die Geschwindigkeit, mit der Ideen und Wissen ausgetauscht werden können, ist entscheidend (Wanner, 2011, S. 195). Der Bundesbericht Forschung und Innovation 2018 betont, dass eine offene Innovationskultur benötigt wird, um kreative Ideen zu fördern und deren Umsetzung zu unterstützen, um die langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten. Es besteht großes Potenzial durch die Öffnung von Innovationsprozessen, was auch als Open Innovation bezeichnet wird (BMBF, 2018, S. 27).

Open Innovation bezieht sich auf die Offenheit von Wertschöpfungs- und Innovationsprozessen für den Austausch von Wissen (Braun, 2012). Wenn Open Innovation bereits in einer frühen Phase des Innovationsprozesses einbezogen werden soll und es um den Entwurf und die Gestaltung von Produkt- oder Dienstleistungsinnovationen geht, ist Crowdsourcing eine geeignete Methode (Leimeister et al., 2016). Crowdsourcing beschreibt die Auslagerung von Entwicklungs-, Arbeits- und Kreativitätsprozessen (Howe, 2008) an eine Masse von Menschen, die Crowd genannt wird. Dabei veröffentlicht ein



Crowdsourcer, beispielsweise ein Unternehmen, über das Internet eine Aufgabe mit den entsprechenden Lösungserfordernissen, welche von der undefinierten Menge von Internetnutzern, den Crowd Workern oder Crowdsources, bearbeitet wird. Die Plattform, auf welcher diese Interaktion stattfindet, wird als Crowdsourcing-Plattform bezeichnet und dient als Intermediär zwischen den Akteuren (Leimeister et al., 2016). Die verschiedenen Akteure im Crowdsourcing-Prozess sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Akteure im Crowdsourcing-Prozess (in Anlehnung an Leimeister et al., 2016)

Das Crowdsourcing ermöglicht es Institutionen des organisierten Sports Konsumenten bereits in einer frühen Phase des Innovationsprozesses einzubinden und diese an der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen zu beteiligen (Picot & Hopf, 2016).

Ein Blick auf die Veröffentlichungen zum Crowdsourcing zeigt, dass in den letzten Jahren eine Vielzahl von empirischen Studien durchgeführt wurden, wobei insbesondere Effektivität, Motivation, Teilnahmeverhalten und Überwachung im Fokus der Forschung stand. Weiterhin besteht ein besonderes Interesse an der Rolle von Crowdsourcing im Innovationsmanagement (Schneider & Borchert, 2018). Hier finden sich vorwiegend Untersuchungen zur Technologieakzeptanz, welche für die vorliegende Studie wichtige Einsichten in den Entscheidungsprozess zur Nutzung von Technologien in Unternehmen liefern (Karapanos et al., 2017). Jedoch beziehen sich diese Akzeptanzmodelle vorwiegend auf die laufende Nutzungsphase sowie die Wiedernutzungsabsicht der Technologie, nicht jedoch auf den vor der tatsächlichen Nutzung vorgelagerten Entscheidungsprozess. Modelle wie die Theorie des geplanten Verhaltens (Ajzen, 2015) oder auch die Behavioral Reasoning Theory (Westaby, 2005) stellen einen geeigneten theoretisch-konzeptionellen Bezugsrahmen dar, um die Absicht zum Einsatz von Crowdsourcing zu erklären. Eine umfangreiche Literaturanalyse zeigte, dass kaum Veröffentlichungen existieren, die speziell den Entscheidungsprozess von Konsumenten im Vorfeld einer crowdbasierten Technologieanwendung betrachten. Unternehmen der Sportbranche können durch Crowdsourcing weltweit auf externe Wissens- und Kompetenzpools zugreifen und Innovationen gemeinsam mit der Crowd entwickeln, was zu einer höheren Marktakzeptanz und Flexibilität führt. Jedoch birgt die Nutzung von Crowdsourcing auch Risiken, wie die Notwendigkeit eines präzisen Briefings, den Kontrollverlust über Crowdaktivitäten und das Risiko des Abflusses von unternehmensinternem Know-how (Leimeister & Zogaj, 2013). Die Umsetzung von Open Innovation ist ähnlich wie bei der Digitalisierung kein Selbstläufer. Die positiven Auswirkungen von offenen Beteiligungsprozessen können nur dann von Unternehmen, Verwaltungen und der Gesellschaft genutzt werden, wenn die beteiligten Akteure sich aktiv auf den neuen Innovationsmodus und neue Kooperationen einlassen. Eine intensivere Vernetzung sowie die aktive Nutzung von digitalen Plattformen sind dabei unverzichtbar, um die Zusammenarbeit effektiv zu gestalten (Beckert et al., 2021). Um den Erfolg eines interaktiven

Innovationsmanagements zu erhöhen und die Akzeptanz von Unternehmen zu steigern, sollten fördernde und hemmende Einflussfaktoren untersucht werden. Es ist wichtig, Gründe zu erheben, die für oder gegen die Nutzung von Crowdsourcing aus Sicht der Anwender sprechen, um geeignete Maßnahmen zur Implementierung eines crowdsourcing-basierten Innovationsmanagements zu entwickeln.

## 2. Theoretisch-konzeptioneller Bezugsrahmen

Die Behavioral Reasoning Theory (Westaby, 2005) wird als passender theoretischer Ansatz für die Studie verwendet. Diese Theorie zur Einstellungs-Verhaltens-Modellierung ist die Grundlage für die theoretischen Überlegungen zur Erklärung des Nutzerverhaltens in Bezug auf Crowdsourcing und dient als Basis für den konzeptionellen Bezugsrahmen. Die Behavioral Reasoning Theory ist eine Fortentwicklung der Theorie des geplanten Verhaltens, die als eine allgemein anwendbare Theorie zur Erklärung verschiedener Verhaltensweisen konzipiert wurde (Ajzen, 2014; Westaby, 2005). Die grundlegende Annahme der Behavioral Reasoning Theory ist, dass Gründe als wichtige Verbindungen zwischen Überzeugungen, globalen Motiven, Absichten und Verhaltensweisen dienen. Ähnlich wie in früheren Theorien wird in der Behavioral Reasoning Theory die Hypothese aufgestellt, dass Absichten starke Prädiktoren des Verhaltens sind. Es wird auch erwartet, dass globale Motive, im Einklang mit früheren Modellen, die Absichten vorhersagen (Westaby, 2005).

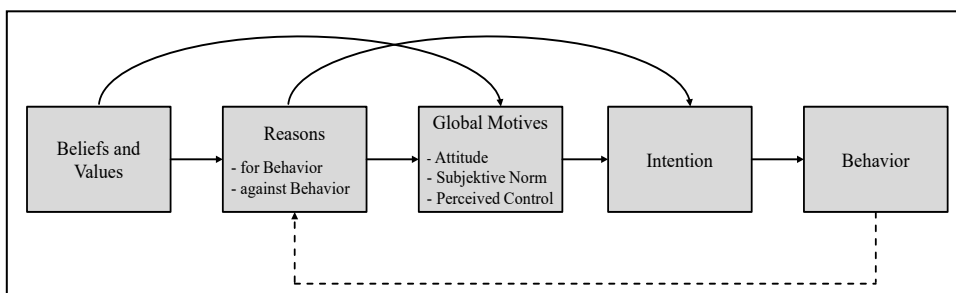


Abbildung 2: Behavioral Reasoning Theory (in Anlehnung an Westaby, 2005, S. 99)

Es wurden bereits mehrere Studien im Bereich des Innovationsmanagements durchgeführt, bei denen auf Basis der Behavioral Reasoning Theory kontextspezifische Erklärungsmodelle entwickelt und empirisch getestet wurden (Gupta & Arora, 2017; Claudy et al., 2015; Claudy et al., 2013). Wie bereits erwähnt, stellt die Behavioral Reasoning Theory eine passende Erweiterung der Theorie des geplanten Verhaltens dar, um die Intention und Einstellung zur Nutzung von Crowdsourcing im Innovationsprozess zu erklären. Sie übernimmt die grundlegenden Annahmen der Theorie des geplanten Verhaltens und besagt, dass die Verhaltensintention durch Einstellung, subjektive Norm und wahrgenommene Verhaltenskontrolle gebildet wird (Claudy et al., 2015; Westaby, 2005).

Die Einstellungskomponente, welche die allgemeine positive oder negative Bewertung des Crowdsourcing durch den Nutzer beschreibt (Westaby, 2005; Eagly & Chaiken, 1998), wird als eindimensionales, affektives Konstrukt betrachtet. Daher bedeutet dies in Bezug auf die zu erklärende Nutzungsabsicht, dass ein Nutzer umso eher plant, Crowdsourcing im Innovationsprozess einzusetzen, je positiver seine Einstellung gegenüber dieser Open-Innovation-Methode ist. Ein weiterer Faktor, der die Nutzungsabsicht beeinflusst, ist die subjektive Norm (Westaby, 2005), welche den sozialen Druck

relevanter Bezugsgruppen hinsichtlich des Crowdsourcingensatzes im Innovationsmanagement abbildet. Dabei spielen Überzeugungen und Bewertungen eine Rolle, insbesondere normative Grundsätze. Konkret bezieht sich die subjektive Norm auf die Ansichten eines Nutzers darüber, ob relevante Bezugsgruppen das Crowdsourcing befürworten oder ablehnen (Vogelgesang, 2004). Weiterhin wird die Nutzungsabsicht von Crowdsourcing neben der subjektiven Norm und der Einstellung zum Crowdsourcing auch durch die wahrgenommene Verhaltenskontrolle beeinflusst (Westaby, 2005). Die Variable der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle beschreibt die Wahrnehmung eines Individuums über die Einfachheit oder Schwierigkeit, ein bestimmtes Verhalten auszuführen. Sie wird auch von vergangenen Erfahrungen sowie antizipierten Hindernissen und Problemen beeinflusst (Ajzen, 1991; Ajzen & Madden, 1986). Die Wahrnehmung der Verhaltenskontrolle hängt davon ab, ob das Individuum denkt, dass es über ausreichende Ressourcen, Fähigkeiten und Gelegenheiten verfügt, um die Handlung durchzuführen (Ajzen, 1991). Die Behavioral Reasoning Theory betrachtet zudem die Gründe, die für oder gegen ein Verhalten sprechen, als Einflussfaktoren auf die Einstellung, die subjektive Norm und die wahrgenommene Verhaltenskontrolle (Westaby, 2005). Die Gründe beeinflussen weiterhin die globalen Motive und haben einen direkten Einfluss auf die Nutzungsabsicht (Claudy et al., 2015; Westaby, 2005). Abbildung 3 veranschaulicht den Bezugsrahmen, der zur Erklärung der Nutzungsabsicht des Crowdsourcing im Innovationsprozess verwendet wird.

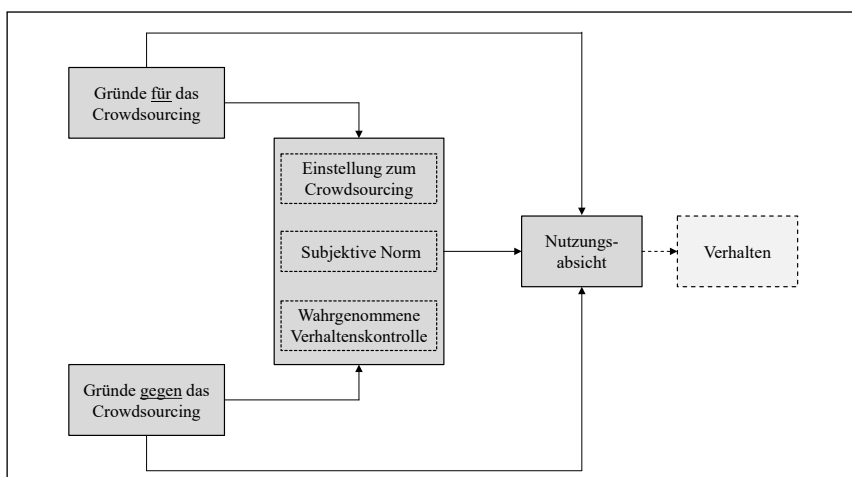


Abbildung 3: Theoretisch-konzeptioneller Bezugsrahmen

## 2. Zielstellung der Studie

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, ein theoretisches Modell zu entwickeln, das die Einstellung und Absicht von Unternehmen der Sportbranche zur Nutzung von Crowdsourcing im Innovationsprozess erklärt. Das Modell soll durch eine empirische Überprüfung validiert werden, um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Identifikation der Gründe, die die Einstellung zur Nutzung von Crowdsourcing beeinflussen. Da bisher nur wenige Erkenntnisse zum Nutzungsverhalten von Crowdsourcing in Unternehmen der Sportbranche vorliegen, sollen zunächst kontextrelevante Einflussfaktoren identifiziert werden. Aufgrund der Komplexität der Nutzungsentscheidung wird auf die Entwicklung eines Totalmodells verzichtet.

Stattdessen wird ein Partialmodell erstellt, das ausgewählte Konstrukte des Entscheidungsprozesses zum Crowdsourcing enthält und die kausalen Zusammenhänge zwischen diesen berücksichtigt.

Als nächster Schritt soll das theoretische Modell durch empirische Daten überprüft werden. Dementsprechend sind die methodischen Zielsetzungen dieser Arbeit vor allem auf die Entwicklung der relevanten Instrumente zur Messung der Bestandteile des Partialmodells gerichtet.

### **3. Untersuchungsdesign der qualitativen Studie**

Zur Spezifizierung der Konstrukte, insbesondere der Gründe für und gegen die Nutzung von Crowdsourcing in der Sportbranche im Rahmen der Behavioral Reasoning Theory, wurden eine umfassende Literaturanalyse sowie eine qualitative Untersuchung durchgeführt. Die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse zeigen, dass sich die Forschung zur Nutzung des Crowdsourcings in der Sportbranche noch in einer frühen Phase befindet und bis heute nur wenige Ergebnisse aus empirischen Studien vorliegen. Aus diesem Grund wurde ein exploratives Forschungsdesign (Döring & Bortz, 2016; Gläser & Laudel, 2010) gewählt. Dabei erkunden explorative Studien einen Untersuchungsgegenstand, indem sie Informationen über diesen sammeln. Dies erfolgt auf Basis offener Forschungsfragen, welche verschiedene Aspekte eines Sachverhaltes beleuchten und anschließend differenzieren (Döring & Bortz, 2016). In der Studie sollen die einzelnen Konstrukte des konzipierten Erklärungsmodells spezifiziert und geeignete Indikatoren zur Messung der hypothetischen Konstrukte ermittelt werden. Um mögliche Gründe zu identifizieren, die für oder gegen die Nutzung von Crowdsourcing im Innovationsmanagement sprechen, wurde die Literaturanalyse durchgeführt. Dabei wurden bisherige empirische Studien in den Bereichen Innovationsmanagement, Open-Innovation-Ansatz, Crowdsourcing-Methoden und Technologieakzeptanzforschung analysiert. Zusätzlich wurde eine qualitative Studie in Form von problemzentrierten Interviews mit Experten durchgeführt, um die Gründe der globalen Motive und der Nutzungsintention zu ermitteln. (Kruse, 2014; Witzel & Reiter, 2012; Gläser & Laudel, 2010). Für die Analyse der Experteninterviews wurde eine qualitative Inhaltsanalyse angewandt, welche auf den Methoden von Mayring (2010) und Mayring & Brunner (2009) basiert. Dabei wurde eine QDA-Softwarelösung verwendet, die in der Literatur als geeignet beschrieben wird (Kuckartz & Rädiger, 2014).

### **4. Ergebnisse und Ausblick**

Im Erhebungszeitraum Oktober 2022 bis März 2023 konnten bisher 10 Experteninterviews mit Vertretern deutscher Fußballclubs der 1. und 2. Männer-Liga durchgeführt werden. Das Durchschnittsalter der Interviewpartner, die ausschließlich männlich waren, lag bei rund 35 Jahren ( $SD = 4.5$ ). Dabei waren 8 Vertreter der 1. und 2 Vertreter der 2. Bundesliga, die durchschnittlich 8 Jahre Berufserfahrung im Bereich Sport ( $SD = 5.6$ ) hatten. Die Interviews wurden transkribiert und eine qualitative Inhaltsanalyse mithilfe der Auswertungssoftware MAXQDA durchgeführt.

Die qualitative Studie konnte zeigen, dass die häufigsten Gründe für den Einsatz von Crowdsourcing im Innovationsprozess in der Sportbranche die Vielfalt und Kreativität der Crowd, die Effizienzsteigerung und die Kundenbindung sind.

**Tab. 1:** Meistgenannte Gründe für den Einsatz von Crowdsourcing im Innovationsprozess in der Sportbranche

Grund für Nutzung	Beispiel	Häufigkeit, n (%)
Vielfalt und Kreativität	„Sicherlich dafür würde sprechen, dass du einfach aus einer größeren Masse von Leuten, alle möglichen und guten Ideen abschöpfst, an die du selber nicht geglaubt oder gedacht hast. Also sprich, dass du einfach deinen Horizont erweiterst, um die natürlich eher verblühte interne Sicht, die du eh drauf hast, zu erweitern.“	9 (90.0)
Effizienzsteigerung	„Darüber hinaus denke ich auch, es ist sicher effizienter, also sowohl Kosten als auch Zeit, weil man über das Internet die Herausforderung probiert zu lösen. Fußballvereine sind in dieser Hinsicht aus meiner Erfahrung sehr traditionell, Kommunikationswege sind sehr lang und Informationen zusammenzutragen zu bekommen sowie in Meetings zu gehen kann ein sehr langwieriger Prozess sein, weshalb ich denke, dass in diesem Sinne auch Crowdsourcing sehr effizient sein kann.“	5 (50.0)
Kundenbindung	„Die Fans selbst wären wahrscheinlich ziemlich begeistert davon. Je mehr sie am Club partizipieren können, desto besser natürlich für die Fans. Alleine den Fans das Angebot machen zu können, wäre natürlich schon eine tolle Sache für sie.“	4 (40.0)

Die häufigsten Gründe, die gegen den Einbezug von Crowdsourcing im Entwicklungsprozess in der Sportbranche sprechen, sind die unzureichende Qualitätssicherung, Reputationsrisiken und mangelnde Vertraulichkeit.

**Tab. 2:** Meistgenannte Gründe gegen den Einsatz von Crowdsourcing im Innovationsprozess in der Sportbranche

Grund gegen Nutzung	Beispiel	Häufigkeit, n (%)
Qualitätssicherung	„Du hast in der Form natürlich wahrscheinlich relativ hohe Ineffizienz zunächst einmal, weil es gegebenenfalls eine hohe Anzahl an Themen oder auch Ideen sind, die erstmal rausfallen, weil die Menge, die du fragst, kein Knowledge oder kein spezielles Fachwissen für das Ding, dass du fragst, hat. Das heißt, da können viele Dinge sein, die sind eh klar, dass sie keinen Sinn machen oder die halt nicht funktionieren, aufgrund von mangelndem Fachwissen, das die Leute haben. Das würde dagegen sprechen.“	5 (50.0)
Reputationsrisiken	„Was vielleicht ein Nachteil sein kann bei Crowdsourcing ist, dass wenn irgendwo herausickert der [Fußballverein] sucht sich Hilfe durch die Crowd, dann kann das vielleicht ein bisschen ein schlechtes Image auf den [Fußballverein] ableiten. Weil man vielleicht als Externer, als Fan nicht erwarten würde, dass der [Fußballverein] auf eine undefinierte Crowd zugreifen würde und daraus Entscheidungen fürs Business treffen würde, glaub ich.“	5 (50.0)

Mangelnde Vertraulichkeit	„Je nachdem, was du dort raus gibst, gibst du natürlich auch vielleicht irgendwelche internen Themen, die auch eine gewisse Geheimhaltung haben oder die für dich als Verein wichtig sind, an eine große Anzahl von Leuten raus. Das heißt, sie können gegebenenfalls auch Schlussfolgerungen auf andere Dinge bei dir treffen, was du vielleicht nicht möchtest.“	4 (40.0)
---------------------------	--	-------------

Die vorliegenden Ergebnisse der qualitativen Studie ermöglichen das Modell zur Erklärung der Intention zur Nutzung des Crowdsourcings um die fördernden und hemmenden Gründe zu konkretisieren. Im nächsten Schritt erfolgt die quantitative Studie zur Überprüfung des kontextspezifischen Ursache-Wirkungsmodells.

## Quellen

- Ajzen, I. (2015). Consumer attitudes and behavior: the theory of planned behavior applied to food consumption decisions. *Italian Review of Agricultural Economics*, 70(2), 121-138.
- Ajzen, I. (2014). The theory of planned behaviour is alive and well, and not ready to retire [Peer commentary on the paper "Time to retire the theory of planned behaviour" by FF Sniehotta, J. Presseau, & V. Araújo-Soares]. *Health Psychology Review*, 9(2), 131-137.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- Ajzen, I., & Madden, T. J. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of experimental social psychology*, 22(5), 453-474.
- Beckert, B., Eberling, E., Feidenheimer, A., Friedewald, M., Gotsch, M., Klobasa, M., ... & Schubert, T. (2021). *Die Digitalisierung aus Innovationsperspektive: Faktencheck und Handlungsbedarf* (No. 01/2021 (DE)). Perspektiven-Policy Brief.
- Braun, A. (2012). Open Innovation: Einführung in ein Forschungsparadigma. In A. Braun et al. (Hrsg.), *Open Innovation in Life Sciences: Konzepte und Methoden offener Innovationsprozesse im Pharma-Mittelstand* (S. 3-24).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2018). Bundesbericht Forschung und Innovation 2018. [https://www.bmbf.de/pub/Bufi\\_2018\\_Hauptband.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Bufi_2018_Hauptband.pdf)
- Claudy, M. C., Garcia, R., & O'Driscoll, A. (2015). Consumer resistance to innovation—a behavioral reasoning perspective. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43, 528-544.
- Claudy, M. C., Peterson, M., & O'driscoll, A. (2013). Understanding the attitude-behavior gap for renewable energy systems using behavioral reasoning theory. *Journal of Macromarketing*, 33(4), 273-287.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). Forschungsmethoden und evaluation. *Wiesbaden: Springerverlag*.

- Eagly, A., & Chaiken, S. (1998). Attitude structure. *Handbook of social psychology*, 1, 269-322.
- Gläser, L. (2010). Jochen Gläser, Grit Laudel: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4. Aufl., Wiesbaden.
- Gupta, A., & Arora, N. (2017). Understanding determinants and barriers of mobile shopping adoption using behavioral reasoning theory. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 36, 1-7.
- Howe, J. (2008). *Crowdsourcing: How the power of the crowd is driving the future of business*. Random House.
- Karapanos, M., Borchert, T., & Schneider, A. (2017). The adoption of educational technology from the perspective of behavioral reasoning theory. In *EDULEARN17 Proceedings* (pp. 88-95). IATED.
- Kruse, J. (2014). Qualitative Interviewforschung. Ein integrativer Ansatz [Qualitative interview research: An integrative approach]. Beltz.
- Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2014). Datenaufbereitung und Datenbereinigung in der qualitativen Sozialforschung. *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, 383-396.
- Leimeister, J. M., Blohm, I., & Rhy, M. (2016). Crowdsourcing–Chancen für den Mittelstand. Kollektive Intelligenz in F&E-Prozesse integrieren. *IM+ io: das Magazin für Innovation, Organisation und Management*, 31(1), 64-68.
- Leimeister, J. M., & Zogaj, S. (2013). Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing: Eine Literaturstudie (No. 287). Arbeitspapier.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*.
- Mayring, P., & Brunner, E. (2009). Qualitative Inhaltsanalyse. In R. Buber & H. H. Holz-müller (Hrsg.), *Qualitative Marktforschung* (S. 669-680). Wiesbaden: Gabler.
- Picot, A., & Hopf, S. (2016). Innovation mit Hilfe der Vielen: Crowdsourcing im Innovationsprozess. *Innovationsgesellschaft heute: Perspektiven, Felder und Fälle*, 193-218.
- Scheidegger, L. D., & Weiss, E. (2015). Kundenintegration als Methode der marktorientierten Leistungserstellung in der Sport- und Lifestylebranche. In *Unternehmensentwicklung: Strategien und Instrumente aus Forschung und Praxis* (S. 213-233). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Schneider, A., & Borchert, T. (2018). Entwicklung innovativer Services mittels Crowdsourcing. *Service Business Development: Band 2. Methoden–Erlösmodelle–Marketinginstrumente*, 41-63.
- Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. (2020). Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen – Fortschreibung. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/35302/documents/54808>

Vogelsang, F. (2004). Die Suffizienz der Theorie des geplanten Verhaltens bei der Vorhersage von Verhaltensintentionen. *Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Intention zur Karrierewahl von zukünftigen DiplomforstwirtInnen. Dissertation. Dresden: Technische Universität Dresden. Zugriff am 06.04.2023.*

Wanner, H. (2011). Open Innovation im Öffentlichen Sektor. *Jahrbuch der Schweizerischen Verwaltungswissenschaften, 2(1).*

Westaby, J. D. (2005). Behavioral reasoning theory: Identifying new linkages underlying intentions and behavior. *Organizational behavior and human decision processes, 98(2), 97-120.*

Witzl, A., & Reiter, A. (2012). The Problem-Centred Interview: Principles and Practice.



# Muster von problematischem Kaufverhalten von Studierenden und deren psychologischen Unterschiede

Luisa Oppong<sup>1,2</sup>, Gabriele Helga Franke<sup>1</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,3</sup>

1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

2 Paracelsus Roswithaklinik, Dr. Heinrich Jasper Str. 2a, 37581 Bad Gandersheim

3 Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Str. 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

**Ziel der Studie:** Ziel ist, zu einem differenzierten Verständnis von Kaufsucht beizutragen, indem untersucht wird, inwieweit problematisches Kaufverhalten als mehrdimensionales Konstrukt zu verstehen ist. Um Fachkräfte in Prävention, Diagnostik und Intervention zu sensibilisieren, werden verschiedene Personengruppen mit problematischem Kaufverhalten voneinander abgegrenzt.

**Methodik:** Es wurden  $N = 258$  Studierende zu Kaufverhalten, Persönlichkeitsmerkmalen, materieller Werteorientierung und psychischer Belastung befragt. Die Dimensionalität des problematischen Kaufverhaltens wurde faktorenanalytisch geprüft und bildet die Grundlage für die nachgeschalteten Cluster- und Diskriminanz- sowie Varianzanalysen zur Differenzierung von verschiedenen Personengruppen mit problematischem Kaufverhalten.

**Ergebnisse:** Problematisches Kaufverhalten setzt sich aus fehlender Bedarfsorientierung, impulsiv-reaktivem Verhalten und geringer selbstregulatorisch-reflektierter Tendenz zusammen. Es zeigten sich zwei Subtypen, Status- sowie Selbstregulationskonsumierende, die sich im Ausmaß ihrer Somatisierung unterscheiden. Auffällig Konsumierende hatten im Vergleich zu Personen mit unauffälligem Kaufverhalten eine höhere materielle Werteorientierung und einen höheren Neurotizismuswert. Verglichen mit unauffällig Konsumierenden waren Selbstregulationskonsumierende weniger offen und verträglich sowie stärker psychisch belastet.

**Schlussfolgerung:** Zukünftig sollte problematisches Kaufverhalten in Bezug auf fehlende Bedarfsorientierung, impulsiv-reaktives Verhalten und selbstregulatorisch-reflektierte Tendenz differenzierter klassifiziert und diagnostiziert werden. Neurotizismus, materielle Werteorientierung sowie zugrundeliegende Kaufmotive, wie die Aufwertung von Status und Identität oder die Regulation von aversiven Emotionen, könnten dabei eine bedeutende Rolle in der Prävention und Behandlung von problematischem Kaufverhalten einnehmen.

## 1. Einleitung

Studierende leiden besonders häufig unter süchtigem Kaufverhalten (SK). Ergebnisse einer Meta-Analyse haben gezeigt, dass die Prävalenz von SK unter Studierenden bei 8,3 % liegt, und damit höher ist als in der Allgemeinbevölkerung (4,9 %), wobei Frauen generell häufiger

betroffen sind als Männer (Maraz et al., 2016). Im Rahmen der 11. Revision des „Internationalen statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandten Gesundheitsprobleme“ (ICD) herrscht eine kontroverse Diskussion über die Klassifikation von SK als Impulskontrollstörung, Zwangserkrankung oder Verhaltenssucht (Laskowsk, Trotzke & Müller, 2018). In der 10. Revision der ICD ließ sich SK noch als „Störung der Impulskontrolle (F63.8)“ bzw. „nicht näher bezeichneten Störung der Impulskontrolle (F63.9)“ erfassen (World Health Organization [WHO], 2019). Neue systematische Übersichtsarbeiten befürworteten, pathologisches Kaufen aufgrund der starken Ähnlichkeit zur Suchtpathologie als nicht-stoffgebundene Sucht einzuordnen und empfehlen für die ICD-11 die Einordnung als „Störung in Zusammenhang mit suchtartigem Verhalten 6C5Y“ (Laskowsk et al., 2018; Müller et al., 2019). Im ICD-11 ist SK jedoch lediglich beispielhaft als „Compulsive Buying-Shopping Disorder“ in der Restkategorie „Weitere spezifische Impulskontrollstörungen 6C7Y“ gelistet (WHO, 2023). Es gilt, Suchterkrankungen differenzierter von anderen Störungen abzugrenzen und zwischen stofflichen und nicht-stofflichen Süchten zu unterscheiden (Hand, 2003).

## **2. Problematisches Kaufverhalten**

In der Regel kaufen wir etwas, um einen bestimmten Bedarf zu decken. Weicht der rational-reflektierte Konsum mit Ziel der Bedarfsdeckung einem Kaufverhalten zur gelegentlichen Emotions- und Selbstregulation, wird es kompensatorisch bzw. problematisch (Raab et al., 2005). Bei süchtigem Kaufverhalten wird der temporäre Kontrollverlust von Kaufimpulsen zur regelmäßig eingesetzten Ersatzhandlung für Emotions- und Selbstregulation. Gedanken an Käuferfahrungen werden als einnehmend erlebt und Kaufimpulse unter Verlust der Selbstkontrolle ausgeführt. Die gekauften Güter werden kaum verwendet, sowie aus Angst vor Vorwürfen der Familie verschenkt, weggeworfen oder versteckt. Kaufsucht verursacht einen erheblichen Leidensdruck sowie oftmals finanzielle, rechtliche und interpersonelle Konflikte (Raab et al., 2005).

Ein spezifisches, allgemeingültiges Modell zur Ätiologie und Aufrechterhaltung von SK gibt es aktuell nicht. In Ätiologiemodellen wird der Fokus auf unterschiedliche personale Faktoren gelegt (Brand et al., 2019; Trotzke et al., 2017). Bei dem „Reversed Interaction of Person-Affect-Cognition-Execution Model (I-PACE)“ für Verhaltenssuchte (Brand et al., 2019) manifestiert sich SK in einer komplexen Interaktion zwischen affektiven und kognitiven Mechanismen, die sich kreislaufartig verstärken und internalisiert werden (Abb. 1).

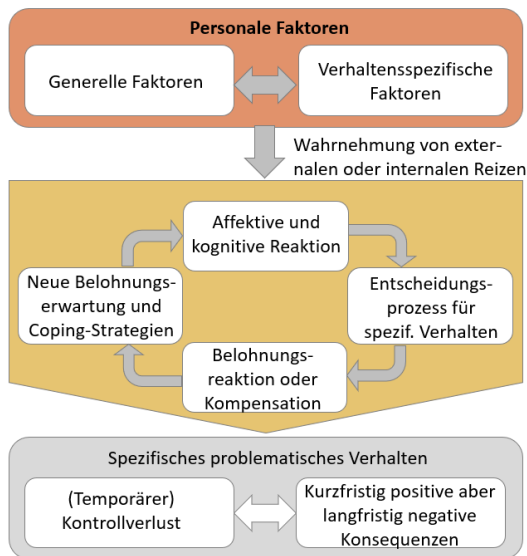


Abbildung 1: I-PACE Modell zur Erklärung von Verhaltenssüchten (in Anlehnung an Brand et al., 2019)

### 3. Psychologische Einflussfaktoren bei problematischem Kaufverhalten

Diese Studie legt den Fokus ebenfalls auf personale Einflussfaktoren und untersucht Persönlichkeitsmerkmale, materielle Werteorientierung sowie psychische Belastung bei SK. Studierende mit SK zeigen höhere Werte in Neurotizismus sowie eine geringere Gewissenhaftigkeit und Verträglichkeit (Claes & Müller, 2017). Bei Offenheit sowie Extraversion liegen keine bis schwache, uneindeutige Zusammenhänge mit SK vor (Claes & Müller, 2017; Otero-López et al., 2021). Eine Metaanalyse belegt, dass Materialismus einen mittelstarken positiven Zusammenhang mit SK aufweist (Ghaseminejad & Nayebzadeh, 2017). Studierende mit SK weisen im Vergleich zu Studierenden mit unauffälligem Kaufverhalten mehr psychische Belastungssymptome auf (Villardefrancos & Otero-López, 2016).

### 4. Methodik

Ziel ist die Überprüfung der Eindimensionalität von Kaufsucht sowie ob sich verschiedene Personengruppen mit problematischem Kaufverhalten voneinander abgrenzen lassen. Über soziale Netzwerke wurden  $N = 258$  Studierende zu soziodemographischen Daten, Kaufverhalten (Screeningverfahren zur Erhebung von kompensatorischem und süchtigen Kaufverhalten; Raab et al., 2005), Persönlichkeit (NEO Fünf-Faktoren-Inventar-25; Franke et al., 2019), materieller Werteorientierung (Material Values Scale – deutsche Version; Müller et al., 2013) und psychischer Belastung (Mini-Symptom-Checklist; Franke, 2017) befragt. Das einzige Einschlusskriterium zur Teilnahme stellte eine aktuelle Immatrikulation an einer Hochschule dar. Ein positives Votum der Ethikkommission liegt vor (AZ-4973-93). Die Datenanalyse erfolgte schrittweise:

1. Dimensionen von problematischem Kaufverhalten untersuchen
  - 1.1 Explorative Faktorenanalyse auf Basis der Items des SKSK zur Erfassung von kompensatorischem und süchtigem Kaufverhalten (Raab, et al., 2005)
2. Identifikation von Clustern und besonders trennscharfen Faktoren in der Clusterbildung
  - 2.1 Clusteranalyse mit Single Linkage-Verfahren (nächstgelegener Nachbar) zum Ausschluss von Ausreißern
  - 2.2 Hierarchisch-agglomerative Clusteranalyse (Ward-Methode; quadrierte euklidische Distanz) zur Segmentierung von Studierendengruppen, die sich im Kaufverhalten unterscheiden
  - 2.3 Bestimmung der optimalen Clusterlösung mittels Scree-Plot und dem Test von Mojena (1977)
  - 2.4 K-Means-Clusteranalyse (KM-CA) zur Verbesserung der Clusterlösung
  - 2.5 Diskriminanzanalyse (blockweises Schätzverfahren) zur Identifikation von Items, die besonders für die Trennung zwischen den gefundenen Clustern verantwortlich sind
3. Prüfen inwiefern sich die gefundenen Cluster in Bezug auf die ermittelten Dimensionen, sozioökonomische und psychologische Einflussfaktoren unterscheiden
  - 3.1 MANOVA zur Prüfung von Persönlichkeitsmerkmalen, materielle Werteorientierung und psychischer Belastung.

## 5. Ergebnisse

Es wurden  $N = 258$  Studierende (206 Frauen, 52 Männer) im Alter von 18-53 Jahren ( $M = 25.22$ ,  $SD = 4.78$ ) befragt, von denen  $n = 12$  (4,7 %) süchtiges,  $n = 37$  (14,3 %) kompensatorisches und  $n = 209$  (81 %) unauffälliges Kaufverhalten zeigten. In der explorativen Faktorenanalyse ließen sich drei Facetten von problematischem Kaufverhalten erkennen: *fehlende Bedarfsorientierung* ( $\alpha = .70$ ), *impulsiv-reaktives Verhalten* ( $\alpha = .83$ ) sowie *selbstregulatorisch-reflektierte Tendenz* ( $\alpha = .59$ ). Die Clusteranalyse ergibt zwei Cluster für Personen mit problematischem Kaufverhalten: Status- und Selbstregulationskonsumierende, denen unterschiedliche Kaufmuster zugrunde liegen und die sich in Bezug auf psychologische Einflussfaktoren unterscheiden (Abb. 2).

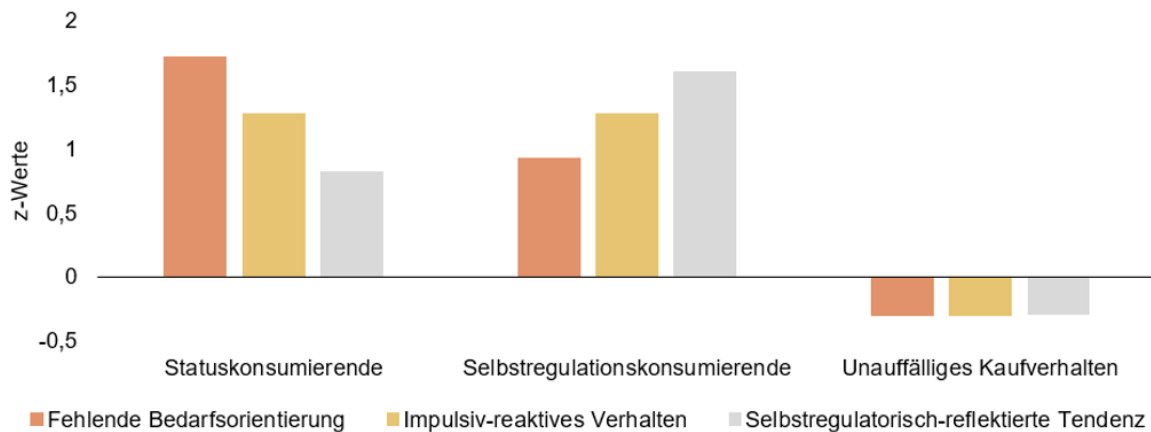


Abbildung 2: Unterschiede zwischen den zwei Clustern und Personen mit unauffälligem Kaufverhalten in den Summenwerten der SKSK Skalen zu problematischem Kaufverhalten

Die MANOVA zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen Status-, Selbstregulations- und unauffälligen Konsumierenden für die kombinierten sozioökonomischen und psychologischen Variablen sowie die drei neuen Skalen des SKSK,  $F(40,470) = 8.47$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .419$ , Wilk's  $\Lambda = .34$ . Status- und Selbstregulationskonsumierende unterschieden sich lediglich in der Somatisierung (Tab. 1). Personen mit unauffälligem Kaufverhalten grenzten sich von solchen mit problematischem Kaufverhalten im Neurotizismus sowie der materiellen Werteorientierung (inklusive *Centrality/Success* und *Happieness*) ab. Darüber hinaus unterschieden sich unauffällige Kaufende von Selbstregulationskonsumierenden in Offenheit, Verträglichkeit sowie der psychischen Belastung (insbesondere Depression und Ängstlichkeit).

	Status-konsumierende 1 (n = 23)	Selbstregulations-konsumierende 2 (n = 25)	Gewöhnliche Konsumierende 3 (n = 209)	Statistische Prüfung <sup>a</sup>	Post-hoc
<b>SKSK Subskalen</b>					
Fehlende Bedarfsorientierung	19.91 ± 2.73	17.00 ± 2.33	12.54 ± 2.87	$F = 91.17$ , $p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .418$	1 vs. 2 3 vs. 1, 2
Impulsiv-reaktives Verhalten	15.00 ± 2.09	15.00 ± 2.83	9.09 ± 3.04	$F = 78.42$ , $p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .382$	3 vs. 1, 2
Reflektiert-selbstregulatorische Tendenz	9.91 ± 2.00	11.88 ± 2.03	7.15 ± 1.88	$F = 83.87$ , $p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .398$	1 vs. 2 3 vs. 1, 2
<b>NEO-FFi-25</b>					
Neurotizismus	10.30 ± 4.35	10.72 ± 3.60	8.41 ± 4.34	$F = 4.80$ , $p < .05^*$ $\eta_p^2 = .036$	3 vs. 1, 2
Extraversion	13.04 ± 3.17	12.68 ± 3.17	12.29 ± 3.11	$F = .72$ , $p = .49$	

Offenheit	10.78 ± 3.20	9.08 ± 3.29	12.36 ± 3.88	$F = 9.59, p < .01^{**}$ $\eta_p^2 = .070$	2 vs. 3
Verträglichkeit	13.22 ± 3.72	12.56 ± 3.42	14.48 ± 3.30	$F = 4.73, p < .05^*$ $\eta_p^2 = .036$	2 vs. 3
Gewissenhaftigkeit	14.48 ± 3.39	15.04 ± 3.40	14.78 ± 2.97	$F = .22, p = .81$	
<b>MVS-G</b>					
Gesamt	45.87 ± 7.23	42.40 ± 8.83	35.36 ± 9.67	$F = 17.51, p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .121$	3 vs. 1, 2
Centrality/Success	26.91 ± 4.84	25.36 ± 6.33	21.14 ± 6.04	$F = 13.86, p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .098$	3 vs. 1, 2
Happiness	18.96 ± 3.78	17.04 ± 4.00	14.22 ± 4.62	$F = 14.59, p < .001^{***}$ $\eta_p^2 = .103$	3 vs. 1, 2
<b>Mini-SCL</b>					
GSI	13.39 ± 10.90	18.92 ± 15.58	11.01 ± 9.45	$F = 6.80, p < .01^{**}$ $\eta_p^2 = .051$	2 vs. 3
Somatisierung	3.00 ± 4.54	5.48 ± 5.58	2.55 ± 3.05	$F = 7.78, p < .01^{**}$ $\eta_p^2 = .058$	2 vs. 3, 1
Depressivität	5.09 ± 4.43	6.56 ± 5.49	3.90 ± 4.05	$F = 4.85, p < .05^*$ $\eta_p^2 = .037$	2 vs. 3
Ängstlichkeit	4.78 ± 3.74	6.24 ± 5.72	4.10 ± 3.60	$F = 3.59, p < .05^*$ $\eta_p^2 = .027$	2 vs. 3

Anmerkungen. <sup>a</sup>  $p$ -Werte mit Bonferroni-Holm Korrektur.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Kaufverhalten in psychologischen Variablen

## 6. Diskussion

Entgegen der etablierten Eindimensionalität (Raab et al., 2005) konnte gezeigt werden, dass SK sich aus fehlender Bedarfsorientierung, impulsiv-reaktivem Verhalten und einer selbstregulatorisch-reflektierten Tendenz zusammensetzt. Die selbstregulatorisch-reflektierte Tendenz sowie das impulsiv-reaktive Verhalten, als Merkmale von auffälligem Kaufverhalten, sind kohärent mit dem I-PACE-Modell zu Verhaltenssuchten (Brand et al., 2019). Es lässt sich zwischen Status- und Selbstregulationskonsumenten differenzieren, wobei das Kaufmotiv bei Ersteren in der Aufwertung von Identität und Status liegt, während dem Konsum bei Selbstregulationskonsumierenden die Emotionsregulation zugrunde liegt. Status- und Selbstregulationskonsumierende haben verglichen mit Personen mit unauffälligem Kaufverhalten einen höheren Neurotizismuswert und eine höhere materielle Werteorientierung. Selbstregulationskonsumierende sind im Vergleich zu Personen mit unauffälligem Kaufverhalten weniger verträglich, weniger offen für neue Erfahrungen und haben eine höhere generelle psychische Belastung. Limitation der Studie sind die homogene Stichprobe (Geschlechter-verhältnis und Anteil von problematischem Kaufverhalten). Problematisches Kaufverhalten ist in der Stichprobe überwiegend subklinisch, daher können die Ergebnisse nur bedingt auf die Population von Kaufsüchtigen übertragen werden. Zukünftig sollten die

Subtypen von Kaufverhalten sowie die zugrundeliegenden Kaufmotive in ausgewogenerem Geschlechterverhältnis zusätzlich in klinischen Stichproben mit quantitativem sowie qualitativem Studiendesign evaluiert werden. Screening- und Diagnostikinstrumente sollten überarbeitet werden, um zwischen Subtypen und Kaufmotiven differenzieren zu können.

Psychologische Einflussvariablen und Kaufmotive scheinen für die Klassifikation, Diagnostik und Behandlung von problematischem Kaufverhalten zentral. Sie bieten Potential, um Präventions- und Behandlungsangebote für Risikopersonen individueller zu gestalten. Fachpersonal sollte für die Subtypen von SK und psychologische Einflussvariablen sensibilisiert werden, sodass Betroffene bestmögliche individuelle Unterstützung erhalten können.

## Quellen

- Brand, M., Wegmann, E., Stark, R., Müller, A., Wölfling, K., Robbins, T. W., & Potenza, M. N. (2019). The Interaction of Person-Affect-Cognition-Execution (I-PACE) model for addictive behaviors: Update, generalization to addictive behaviors beyond internet-use disorders, and specification of the process character of addictive behaviors. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *104*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.06.032>
- Claes, L., & Müller, A. (2017). Resisting temptation: Is compulsive buying an expression of personality deficits? *Current Addiction Reports*, *4*(3), 237–245. <https://doi.org/10.1007/s40429-017-0152-0>
- Franke, G. H. (2017). *Mini-SCL. Mini-Symptom-Checklist – Manual*. Hogrefe.
- Franke, G. H., Nentzl, J., & Jagla, M. (2019). *NEO-FFI-25. Neo-Fünf-Faktoren-Inventar mit 25 Items - Deutsches Manual*. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Gansen, D., & Aretz, W. (2010). Kaufsucht im Internet. Hypothesenprüfung und Modellexploration zur Klärung von Ursachen und Auslösern pathologischen Kaufverhaltens. *Journal of Business and Media Psychology* (1), 25–38.
- Ghaseminejad, M. & Nayebzadeh, S. (2017). Examining the effects of materialism on compulsive buying from 2013 to 2015 using meta-analysis approach. *International Journal of Business Management*, *2*(3), 20–26. <https://sciarena.com/storage/models/article/n3XGbMmG6Q0c7sT9SwUT9DIIUJ4iSdzvAqljr8Cgtac2ikzE9MHxYcQiQfjY/examining-the-effects-of-materialism-on-compulsive-buying-from-2013-to-2015-using-meta-analysis-ap.pdf>
- Hand, I. (2003). Störungen der Impulskontrolle: Nichtstoffgebundene Abhängigkeiten (Süchte), Zwangsspektrum-Störungen ... oder? *Suchttherapie*, *4*(02), 51–53. <https://doi.org/10.1055/s-2003-39571>
- Laskowski, N. M., Trotzke, P. & Müller, A. (2018). Brauchen versus kaufen: Wenn Warenkonsum zur Sucht wird. *Verhaltenstherapie*, *28*(4), 247–255. <https://doi.org/10.1159/000493888>

- Maccarrone-Eaglen, A., & Schofield, P. (2019). Compulsive buying among young adults: A behavioural segmentation. *Young Consumers, 21*(1), 57–76.  
<https://doi.org/10.1108/YC-02-2019-0958>
- Maraz, A., Griffiths, M. D., & Demetrovics, Z. (2016). The prevalence of compulsive buying: A meta-analysis. *Addiction, 111*(3), 408–419.  
<https://doi.org/10.1111/add.13223>
- Mojena, R. (1997). Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. *The Computer Journal, 20*, 359–363. <https://doi.org/10.1093/comjnl/20.4.359>
- Müller, A., Smits, D. J. M., Claes, L., Gefeller, O., Hinz, A., & de Zwaan, M. (2013). The German version of the Material Values Scale. *Psycho-Social-Medicine, 10*, 1-9.  
<https://doi.org/10.3205/psm000095>
- Müller, A., Brand, M., Claes, L., Demetrovics, Z., de Zwaan, M., Fernández-Aranda, F., Frost, R. O., Jimenez-Murcia, S., Lejoyeux, M., Steins-Loeber, S., Mitchell, J. E., Moulding, R., Nedeljkovic, M., Trotzke, P., Weinstein, A., & Kyrios, M. (2019). Buying-shopping disorder-is there enough evidence to support its inclusion in ICD-11? *CNS Spectrums, 24*(4), 374–379.  
<https://doi.org/10.1017/S1092852918001323>
- Otero-López, J. M [J. M.], Santiago, M. J., & Castro, M. C. (2021). Big five personality traits, coping strategies and compulsive buying in Spanish university students. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(2).
- Raab, G., Neuner, M., Reisch, L. A., & Scherhorn, G. (2005). *Screeningverfahren zur Erhebung von kompensatorischem und süchtigem Kaufverhalten SKSK*. Hogrefe.
- Trotzke, P., Brand, M., & Starcke, K. (2017). Cue-reactivity, craving, and decision making in buying disorder: A review of the current knowledge and future directions. *Current Addiction Reports, 4*(3), 246–253. <https://doi.org/10.1007/s40429-017-0155-x>
- Villardefrancos, E., & Otero-López, J. M. (2016). Compulsive buying in university students: Its prevalence and relationships with materialism, psychological distress symptoms, and subjective well-being. *Comprehensive Psychiatry, 65*, 128–135.  
<https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2015.11.007>
- World Health Organization (2019). *International classification of diseases 10<sup>th</sup> Revision*. <https://icd.who.int/browse10/2019/en>
- World Health Organization (2023). *International classification of diseases 11<sup>th</sup> Revision*. <https://icd.who.int/browse11/l-m/en>



# Effekte von Präventionsprogrammen auf das Wohlbefinden von Geschwistern von Kindern und Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen und Behinderungen

Charlotte Sievert<sup>1,2</sup>, Leonard K. Kulisch<sup>3</sup>, Christa Engelhardt-Lohrke<sup>3</sup>, Kerstin Kowalewski<sup>4</sup>, Gabriele H. Franke<sup>1</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,5</sup>

1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

2 MEDIAN Vesalius-Klinik Bad Rappenau, Salinenstraße 12, 74906 Bad Rappenau

3 Elternhilfe für krebskranke Kinder Leipzig e. V., Philipp-Rosenthal-Straße 21, 04103 Leipzig

4 Institut für Sozialmedizin in der Pädiatrie Augsburg, Ulmer Straße 160, 86156 Augsburg

5 Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

Um Geschwister von Kindern und Jugendlichen mit chronischen Erkrankungen oder Behinderungen in ihrem Alltag und oftmals damit einhergehenden psychisch belastenden Situation zu unterstützen, wurden auf sie zugeschnittene Präventionsprogramme entwickelt. Im Projekt „Starke Geschwister!“ sollten die Kurse „Supporting Siblings“ und „GeschwisterTREFF – ‚Jetzt bin ich mal dran‘“ evaluiert werden. In der vorliegenden Studie wurde ein Zwischenstand der mittelfristigen Wirksamkeit der Angebote dargestellt. In diesem Kontext wurden weiterhin verschiedene psychologische Konstrukte wie Ressourcen, Stressverarbeitung, psychische Belastung und Verhaltensprobleme (Stärken und Schwächen) auf ihre Vorhersagekraft der gesundheitsbezogenen Lebensqualität hin untersucht. Anhand einer Prä-Post-Follow-Up-Datenerhebung von 6-16-jährigen Kindern und Jugendlichen ergaben die Zweifaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung keine signifikanten Interaktionen, bei vier Skalen zeigten sich über die Zeit (T0 zu T2) signifikante Verbesserungen. Multiple lineare Regressionsanalysen konnten den Selbstwert als besonders ausschlaggebend für die gesundheitsbezogene Lebensqualität herausheben, der daher bei der Weiterentwicklung von Präventionsangeboten eine größere Rolle spielen sollte.

## Einleitung

Chronische Erkrankungen und Behinderungen im Kindes- und Jugendalter wirken sich auf die gesamte Familie und somit auch auf die Lebenswelt der gesunden Geschwister aus. Sichtbar wird dies oft anhand von einer veränderten Familiendynamik und Rollenverteilung unter den Geschwistern (Achilles, 2002). Abhängig von Art und Verlauf der Erkrankung, der familiären Anpassungsfähigkeit und der elterlichen psychischen und finanziellen Belastung, wirkt sich die Krankheit unterschiedlich auf die Familienmitglieder aus (Bredow, 2008). Während die Eltern im neuen Alltag mehr Aufmerksamkeit und Zuwendung dem erkrankten Kind widmen und sie für andere Geschwister seltener verfügbar sind, übernimmt das gesunde Geschwisterkind oftmals mehr Verantwortung im Haushalt oder gegenüber dem kranken Kind (Alderfer et al., 2010).

Mit der Erkrankung des Geschwisters sehen sich gesunde Kinder und Jugendliche mit emotionalen Ausnahmesituationen konfrontiert. So können neben Ängsten und Sorgen

(Di Gallo et al. 2003) auch Gefühle von Zurückweisung (Murray, 1999), Einsamkeits- oder auch Schuldgefühle (Murray, 1999) auftreten. Genauso konnten Wut auf die Erkrankung, auf das kranke Geschwisterkind oder die Ungleichbehandlung der Eltern (Achilles, 2002) und damit in Verbindung stehende Eifersucht beobachtet werden. Batte et al. (2006) konnten beobachten, dass Geschwister Gespräche über das eigene emotionale Erleben vermeiden und eigene Bedürfnisse zurückstellen, aus Rücksicht und dem Wunsch, keine Belastung für die Eltern darzustellen (Chikhradze et al., 2017; Tröster, 2013). Vermaes und Kollegen (2012) sowie die Arbeitsgruppe um Alderfer (2010) stellten bei gesunden Geschwistern internalisierende und externalisierende Verhaltensweisen fest. Weiterhin zeigten sich gehäuft eine verringerte Lebensqualität (Rana & Mishra, 2015) sowie soziale und schulische Probleme (Alderfer et al., 2010; Rana & Mishra, 2015). Insgesamt gehen verschiedene Studien von einem erhöhten Risiko für Entwicklungsschwierigkeiten aus (Vermaes et al., 2012). Trotz aller möglichen negativen Auswirkungen können sich positive Entwicklungen durch die Situation ergeben, wie ein höherer Reifegrad und größeres Verantwortungsbewusstsein (Di Gallo et al., 2003; Seiffge-Krenke, 2009) sowie ein gestärktes Selbstvertrauen und Selbstwirksamkeit, welches durch positives Feedback von Eltern oder anderen Personen entsteht (Murray, 1999).

Um den zahlreichen Belastungen zu begegnen, spielen Ressourcen und Copingstrategien eine entscheidende Rolle. In diesem Zuge wurden Präventionsprogramme entwickelt. Die Kurse sollen im Rahmen der Primärprävention negativen Tendenzen entgegenwirken und psychischen Erkrankungen vorbeugen. Zwei dieser Präventionsprogramme sind „Supporting Siblings“ (SuSi; Kowalewski et al., 2017) und „Geschwister-TREFF - ‚Jetzt bin ich mal dran!‘“ (TREFF; Engelhardt-Lohrke et al., 2019). Entgegen dem weit verbreiteten defizitären Denken liegt der Fokus hier auf der Stärkung gesundheitsförderlicher Aspekte wie die Förderung und Stärkung von Ressourcen, insbesondere dem Selbstwert, und die Vermittlung von Kompetenzen im Umgang mit Stress oder negativen Emotionen (Kowalewski et al., 2017). Die Kurse bieten den Geschwisterkindern einen geschützten Rahmen, in dem die Geschwister sich austauschen, voneinander lernen und emotionale Entlastung erfahren können.

Ziel dieser Studie war es, die mittelfristigen Effekte der Kurse SuSi (Kowaleski et al., 2017) und TREFF (Engelhardt-Lohrke et al., 2019) festzustellen und zu prüfen, wie diese die Konstrukte Ressourcen, Stressverarbeitung, Lebensqualität, psychische Belastung und Verhaltensprobleme (Stärken und Schwächen) beeinflussen. Des Weiteren sollten einzelne Variablen identifiziert werden, die die gesundheitsbezogene Lebensqualität vorhersagen.

## **Methode**

Zwischen 02/2020 und 04/2022 wurden die Präventionskurse SuSi (Kowalewski, et al., 2017) und TREFF (Engelhardt-Lohrke et al., 2019) evaluiert. Erfragt wurden die Ressourcen (FRKJ 8-16; Lohaus & Nussbeck, 2016), die Stressverarbeitung (SVF-KJ; Hampel & Petermann, 2016), die gesundheitsbezogene Lebensqualität (The KIDSCREEN Group Europe, 2006), eine Einschätzung psychischer Störungen (SPS-J-2; Hampel & Petermann, 2012) sowie Verhaltensprobleme in Form von Stärken und Schwächen (SDQ; (Lohbeck et al., 2015). Die Verfahren differenzierten die komplexen Konstrukte auf Skalenebene die als Zielgrößen für die weiteren Prüfungen genutzt wurden.

Der KIDSCREEN-10-Index und der SDQ wurden sowohl als Selbstbeurteilungs- als auch als Fremdbeurteilungsversion für ein Elternteil ausgegeben. Im Rahmen der Evaluation wurden drei Datenerhebungen im Prä-Post-Follow-Up-Format durchgeführt. Der Follow-Up-Zeitpunkt betrug 3 Monate nach der Durchführung des Kurses. Geschwister, die an einem Kurs teilgenommen hatten, wurden der Interventionsgruppe (IG) zugeordnet. In Einrichtungen, in denen aufgrund der Covid-19-Pandemie keine Kurse stattfinden konnten, wurden die gesunden Geschwister als Kontrollgruppe (KG) gehandhabt.

Um Effekte der Präventionskurse zu untersuchen wurde anhand der Daten von T0 (unmittelbar vor dem Kurs) und T2 (3 Monate nach dem Kurs), unterteilt in die Experimentalbedingungen (IG und KG), eine Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung über alle Skalen hinweg durchgeführt. Die Untersuchung der erfassten Variablen auf eine statistisch signifikante Vorhersagekraft der hrQoL erfolgte durch multiple lineare Regressionen über die Daten zu T0. Um einen möglichst hohen Informationsgewinn zu generieren wurden die Regressionen auf Skalenebene durchgeführt und nur jene Variablen eingeschlossen, die zu  $r = .40$  mit der hrQoL korrelieren. Damit wurden acht Variablen näher betrachtet: FRKJ 8-16: Selbstwertschätzung, Integration in die Peergruppe und schulische Integration; SPS-J-2: Ängstlichkeit/Depressivität, Selbstwertprobleme und Ärgerkontrollprobleme; SDQ: emotionale Probleme, Verhaltensprobleme mit Gleichaltrigen.

## Ergebnisse

Die Stichprobe bestand aus 83 Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 16 Jahren ( $11 \pm 2$ ), von denen etwa zwei Drittel der Interventionsgruppe zuzuordnen waren. Nur 30 Kinder bearbeiteten die Fragebögen zu T2. Zum Erhebungszeitpunkt T0 zeigten sich unauffällige Werte, da sowohl alle Werte (Normbereich Stanine 4-6, Normbereich T-Werte 40-60) im Normbereich waren (siehe Tabelle 1, 2).

Skala	N	M (SD)
Empathie und Perspektivenübernahme	85	Stanine: 4.76 (1.95)
Selbstwirksamkeit	85	Stanine: 4.29 (1.99)
Selbstwertschätzung	84	Stanine: 5.09 (2.06)
Selbstkontrolle	83	Stanine: 4.21 (1.7)
Elterliche soziale und emotionale Unterstützung	84	Stanine: 4.56 (1.62)
Integration in die Peergruppe	83	Stanine: 3.78 (1.89)
Schulische Integration	83	Stanine: 4.29 (2.11)
Gesundheitsbezogene Lebensqualität Index	81	T=47.58 (12.08)
Bagatellisierung	78	T=52.23 (9.03)
Ablenkung/Erholung	79	T=52.08 (9.06)
Situationskontrolle	81	T=51.80 (9.38)
Positive Selbstinstruktionen	81	T=51.32 (9.31)
Soziales Unterstützungsbedürfnis	80	T=52.73 (9.12)
Passive Vermeidung	81	T=53.47 (9.12)
Gedankliche Weiterbeschäftigung	80	T=51.71 (9.98)
Resignation	80	T=53.86 (10.61)
Aggression	80	T=54.85 (9.86)
Emotionsregulierende Bewältigung	77	T=52.86 (9.6)

Problemlösende Bewältigung	80	T=52.45 (9.92)
Positive Stressbewältigung	76	T=53.47 (9.65)
Negative Stressverarbeitung	78	T=54.23 (10.06)
Aggressiv-dissoziales Verhalten	36	T=47.17 (8.93)
Ärgerkontrollprobleme	36	T=48.55 (10.97)
Ängstlichkeit/ Depressivität	36	T=53.39 (10.96)
Selbstwertprobleme	36	T=48.27 (8.47)
Globales Maß zur Einschätzung psychischer Störungen	36	T=49.5 (10.7)

Tabelle 1: deskriptive Statistik FRKJ, KIDSCREEN10-Index, SVF-KJ und SPS-J-2

Skala	N	unauffällig	grenzwertig	auffällig
Emotionale Probleme	39	26 (66.7%)	9 (23.1%)	4 (10.3%)
Verhaltensprobleme	39	21 (53.8%)	11 (28.2%)	7 (17.9%)
Hyperaktivität	36	23 (63.9%)	10 (27.8%)	3 (8.3%)
Verhaltensprobleme mit Gleichaltrigen	36	23 (63.9%)	9 (25%)	4 (11.1%)
Prosoziales Verhalten	38	31 (81.6%)	5 (13.2%)	2 (5.3%)
Gesamtproblemwert	34	25 (73.5%)	3 (8.8%)	6 (17.6%)

Tabelle 2: deskriptive Statistik des SDQ

Die Zweifaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung konnten keinen Interaktionseffekt feststellen. Die Interaktionseffekte der Skalen „elterliche emotionale und soziale Unterstützung“ und „schulische Integration“ lagen mit jeweils  $p=.056$  knapp über dem Signifikanzniveau. Die Haupteffekte über die Zeit (von T0 zu T2) verdeutlichten signifikante Verbesserungen mit großem Effekt ( $\eta^2>.14$ ) bei den Skalen Integration in die Peergroup, Resignation, Verhaltensprobleme und Gesamtproblemwert. Für die Vorhersage der gesundheitsbezogenen Lebensqualität konnten die multiplen linearen Regressionen den Selbstwert als einen statistisch bedeutsamen Prädiktor identifizieren. Die Skala „Selbstwertprobleme“ ( $R^2=.362$ ) des SPS-J-2 sowie die Skala „Selbstwertschätzung“ ( $R^2=.274$ ) des FRKJ 8-16 zeigten einen statistisch signifikanten Einfluss bei einer hohen Varianzaufklärung.

## Diskussion

Die gesunden Geschwister wiesen keine auffällige psychische Belastung auf. Ausschließlich Tendenzen ließen darauf schließen, dass höhere Belastungen und Verhaltensprobleme sowie verringerte Ressourcen und Lebensqualität auftreten können. Die Annahme, dass in der IG deutlichere Verbesserungen sichtbar werden als in der KG, konnte nicht bestätigt werden, deskriptiv wurden erwartete Entwicklungen sichtbar. Einerseits ist dies durch die hohe Drop-Out-Rate zu erklären, wodurch die Varianzanalysen nur mit einer sehr geringen Stichprobengröße durchgeführt werden konnte. Bei sehr kleinen Stichproben ist zu berücksichtigen, dass eigentlich vorliegende Effekte nicht signifikant werden (Döring & Bortz, 2016). Andererseits könnte der Sleeper-Effekt wirken, nach welchem die in den Kursen vermittelten Inhalte und angestoßenen Einstellungsänderungen erst deutlich zeitverzögert in den Alltag übernommen werden und sich erst später in Befragungen zeigen (Werth et al., 2020). Zwar sind diese Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobe nicht generalisierbar - sie liefern jedoch Tendenzen und

Hinweise zu der Wirksamkeit von Präventionsprogrammen. Hinsichtlich der Vorhersage der gesundheitsbezogenen Lebensqualität konnte der Selbstwert als eine relevante Prädiktorvariable identifiziert werden und sollte daher bei der Weiterentwicklung von den Präventionsangeboten ein zentraler Inhalt sein.

## Quellen

Achilles, I. (2002). *...und um mich kümmert sich keiner! Die Situation der Geschwister behinderter und chronisch kranker Kinder*. München: Reinhardt.

Alderfer, M.A., Long, K.A., Lown, E.A., Marsland, A.L., Ostrowski, N.L., Hock, J.M. et al. (2010). Psychosocial adjustment of siblings of children with cancer: A systematic review. *Psycho-Oncology*, 19, 789-805.

Batte, S., Watson, A. & Amess, K. (2006) The effects of chronic renal failure on siblings. *Pediatric Nephrology*, 21, 246–250.

Bredow, H., Craig, F., Dohna-Schwake, C., Frühwald, M., Garske, D., von Loewenich, V., et al. (2008). Besonderheiten der pädiatrischen Palliativversorgung bei besonderen Patientengruppen. In B. Zernikow (Hrsg.), *Palliativversorgung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen*. Heidelberg: Springer Medizin.

Chikhradze, N., Knecht, C. & Metzging, S. (2017). Young carers: growing up with chronic illness in the family - a systematic review 2007-2017. *Journal of Compassionate Health Care*, 4(12).

Di Gallo, A., Gwerder, C., Amsler, F. & Bürgin, D. (2003). Geschwister krebskranker Kinder: Die Integration der Krankheitserfahrungen in die persönliche Lebensgeschichte. *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie*, 52(3), 141-155.

Döring, N. & Bortz, J. (2016). Bestimmung von Teststärke, Effektgröße und optimalem Stichprobenumfang. In N. Döring & J. Bortz (Hrsg.), *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer

Engelhardt-Lohrke, C., Kowalewski, K., Spilger, T., & Schepper, F. (2019). *GeschwisterTREFF - Jetzt bin ich mal dran*. Praxishandbuch zur Förderung der Resilienz von Geschwistern chronisch kranker, schwerkranker und/ oder behinderter Kinder (2. Aufl.). Augsburg: Bundesverband Bunter Kreis e.V.

Hampel, P. & Petermann, F. (2016). *Stressverarbeitungsfragebogen nach Janke und Erdmann angepasst für Kinder und Jugendliche* (2. überarbeitete und neu normierte Aufl.). Göttingen: Hogrefe.

Hampel, P. & Petermann, F. (2012). *SPS-J-2. Screening psychischer Störungen im Jugendalter – 2*. Deutschsprachige Adaptation des Reynolds Adolescent Adjustment Screening inventory (RAASI) von William M. Reynolds. Bern: Hogrefe.

Kowalewski, K., Spilger, T., Podeswik, A., & Hampel, P. (2017). *Praxishandbuch SuSi - Supporting Siblings* (2. Auflage). Augsburg: Bundesverband Bunter Kreis e.V.

Lohaus, A. & Nussbeck, F. W. (2016). *FRKJ 8-16. Fragebogen zu Ressourcen im Kindes- und Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe.

- Lohbeck, A., Schultheiß, J., Petermann, F. & Petermann, U. (2015). Die deutsche Selbstbeurteilungsversion des Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ-Deu-S). Psychometrische Eigenschaften, Faktorenstruktur und Grenzwerte. *Diagnostica*, 61(4), 222-235.
- Murray, J. S. (1999). Siblings of children with cancer: a review of the literature. *Journal of pediatric oncology nursing*, 16(1), 25-34.
- Rana, P. & Mishra, D. (2015). Quality of life of unaffected siblings of children with chronic neurological disorders. *Indian Journal of Pediatrics*, 82(6), 545-548.
- Seiffge-Krenke, I. (2009). *Psychotherapie und Entwicklungspsychologie. Beziehungen: Herausforderungen Ressourcen Risiken* (2. Aufl.). Wiesbaden: Springer.
- The KIDSCREEN Group Europe. (2006). *The KIDSCREEN Questionnaires - Quality of life questionnaires for children and adolescents. Handbook*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Tröster, H. (2013). *Geschwister chronisch kranker Kinder und Jugendlicher*. In M. Pinquart (Hrsg.), *Wenn Kinder und Jugendliche körperlich chronisch krank sind*. Psychische und soziale Entwicklung, Prävention, Intervention. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Vermaes, I. P. R., van Susante, A. M. J. & van Bakel, H. J. A. (2012). Psychological functioning of siblings in families of children with chronic health conditions: A Meta-Analysis. *Journal of pediatric psychology* 37(2), 166-184.
- Werth, L., Denzler, M. & Mayer, J. (2020). *Sozialpsychologie – Das Individuum im sozialen Kontext. Wahrnehmen – Denken – Fühlen* (2. Aufl.). Berlin: Springer.

# Psychometrische Prüfung des Adult Sibling Relationship Questionnaires (ASRQ)

Marie Sophie Kiesel<sup>1</sup>, Gabriele Helga Franke<sup>1</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,2</sup>

1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

2 Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Str. 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

Hintergrund: Die wissenschaftliche Beschäftigung mit Geschwisterbeziehungen im Erwachsenenalter gewinnt Anerkennung als Forschungsthema. Das Adult Siblings Relationship Questionnaire (ASRQ) umfasst 81 Items und 14 Subskalen (Ähnlichkeit, Akzeptanz, Betroffenheit, Bewunderung, Dominanz, Emotionale Unterstützung, Feindseligkeit, Instrumentelle Unterstützung, Konkurrenz, Rivalität um den Vater, Rivalität um die Mutter, Streiten, Vertrautheit und Wissen um das Geschwister), welche sich auf die drei übergeordneten Faktoren Wärme, Konflikt und Rivalität aufteilen. Das ASRQ gilt aktuell als ein gutes Verfahren, um die Beziehung zwischen erwachsenen Geschwistern zu erfassen. Die Vielfalt an Kurzversionen des ASRQ nimmt zu; international liegen bereits verschiedene Kurzversionen vor. Ziel der vorliegenden Arbeit ist einerseits die psychometrische Prüfung der deutschen Version des ASRQ und andererseits die Entwicklung einer Kurzversion.

Methode: 374 Teilnehmer\*innen im Alter von 29.0 Jahre (SD = 9.64, Altersspanne 18 bis 69 Jahre, 75% weiblich) bearbeiteten das ASRQ. Durchgeführt wurden Item- und Skalenprüfung; anhand der Ergebnisse der Itemanalyse wurden Items reduziert. Faktorenanalysen mit allen 81 Items sowie nach Reduktion der Items wurden durchgeführt, ebenso Faktorenanalysen auf Skalenebene.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Itemanalyse waren mit dem amerikanischen Originalverfahren sowie mit der deutschen Version vergleichbar, die Reliabilitätskennwerte, besonders der drei übergeordneten Faktoren Wärme ( $\alpha = .97$ ), Konflikt ( $\alpha = .94$ ) und Rivalität ( $\alpha = .91$ ) waren vergleichbar hoch. Die Itemanalyse führte zur Elimination von 26 Items aufgrund zu geringer Itemschwierigkeit oder Trennschärfe. Faktorenanalytisch konnten in der 55 Items umfassenden Version weder die 14 Subskalen noch drei übergeordneten Skalen repliziert werden. Die faktorenanalytische Prüfung aller 81 Items, wobei nur Faktorladungen  $>.60$  berücksichtigt wurden, führt zu 14 Subskalen, die aber inhaltlich keine zufriedenstellende Lösung erbrachten. Die Voreinstellung auf drei Faktoren, im Sinne der drei übergeordneten Skalen, klärte -bei Berücksichtigung von Faktorladungen  $>.60$  und damit Ausschluss von 29 Items- 47.76% der Varianz auf. Die drei übergeordneten Faktoren Wärme ( $\alpha = .97$ ), Konflikt ( $\alpha = .93$ ) und Rivalität ( $\alpha = .91$ ), waren unter diesen Bedingungen replizierbar und wiesen sehr gute interne Konsistenzen auf.

Diskussion: Die Faktorstruktur der, mit Hilfe der Itemanalyse, auf 55 Items gekürzten Version konnte nicht repliziert werden. Eine Faktorenanalyse über alle 81 Items mit Berücksichtigung von Faktorladungen  $>.60$  führte nicht zur Replikation der Subskalen; die

übergeordneten Faktoren konnten dargestellt werden und wiesen eine sehr gute Reliabilität auf. Zukünftig sollte eine detailliertere Prüfung weiterer Kurzformen des ASRQ erfolgen.

## 1. Theoretischer Hintergrund

In Deutschland gab es 2021 von ungefähr 11.6 Millionen Familien nur circa 5.9 Millionen Familien mit nur einem Kind; das entspricht ungefähr der Hälfte aller Familien (Statistisches Bundesamt, 2021). Weltweit wuchsen -vor rund 20 Jahren- ca. 80% der Menschen in Europa und Amerika mit Geschwistern auf (Dunn, 2002). Obwohl Geschwisterbeziehungen schon in Märchen aufgegriffen wurden und auch heute noch oft ein cineastisches Mittel sind, wurden Forschungsarbeiten mit Geschwistern, ausgenommen Zwillingstudien, lange Zeit außer Acht gelassen. Die Geschwisterbeziehung wird wissenschaftlich selten betrachtet, obwohl die familiäre Erfahrung die Grundlage richtiger Entwicklung ist und auch die psychische Entwicklung beeinflussen kann (Walecka-Matyja, 2014). Die Geschwisterbeziehung spielt dabei einen essenziellen Part, da sie zu den längsten zwischenmenschlichen Beziehungen des Lebens gehört (Kasten, 1998).

Eine Geschwisterbeziehung kann nach Dunn (2002) anhand von drei Merkmalen erkannt werden: (1) Ambivalente Emotionen: Es besteht eine emotionale Kraft zwischen Geschwistern mit teilweise sehr ambivalenten Gefühlen. Diese Gefühle werden von den Geschwisterkindern meist ungehemmt zum Ausdruck gebracht. In einer Minute kann eine unfassbar starke Liebe zwischen Geschwistern bestehen, während sie ein paar Minuten später heftig streiten. (2) Intimität: Schon im Kindheits- und Jugendalter verbringen Geschwister untereinander meist mehr Zeit miteinander als mit ihren Eltern, was zu einer intimen Beziehung führt. Intim meint in diesem Kontext die tiefe und enge Verbindung, welche Geschwister teilen und die enge Verbundenheit, die zwischen Geschwistern herrscht. (3) Eine große Breite an individuellen Unterschieden: Die Geschwister entwickeln sich trotz des engen Verhältnisses sehr individuell, aber die Geschwisterbeziehung ist zentral für das soziale Leben (Dunn, 2002). Stocker, Lanthier und Furman (1997) unterschieden in positive und negative Dimensionen. Zur positiven Dimension zählt Wärme und als negative Dimensionen werden Konflikt und Rivalität beschrieben. Dunn (2002) stellt die zentrale Frage ‚Warum erleben einige Geschwister mehr positive Dimensionen und verstehen sich sehr gut miteinander, während bei anderen Geschwisterpaaren vermehrt negative Dimensionen die Beziehung ausmachen und sie sich weniger verstehen?‘. Als Gründe wurden die Geburtenreihenfolge und das Geschlecht der Geschwister benannt. Gleichzeitig könnten auch die Eltern die Beziehung bestimmen, allerdings sind die Gründe für die Unterschiede in der Beziehungsqualität der Geschwister weitaus individueller und komplexer (Dunn, 2002).

Die Forschung im Bereich der Geschwister beschränkte sich anfänglich für viele Jahre auf die Geschwisterbeziehung im Kinder- und Jugendalter, später kam das Erwachsenenalter hin. Das Sibling Relationship Questionnaire wurde 1985 von Furman und Buhrmester publiziert. Erst später konzentrierte sich die Forschung auch auf den Bereich der Erwachsenen und jungen Erwachsenen. 1997 veröffentlichten Stocker, Lanthier und Buhrmester die Weiterentwicklung des Sibling Relationship Questionnaire, das Adult



Sibling Relationship Questionnaire. Dieses und weitere Messinstrumente, die die Qualität einer Geschwisterbeziehung erfassen, werden nachfolgend kurz dargestellt.

Heidi R. Riggio (2000) entwickelte die „Lifespan Sibling Relationship Scale“ (LSRS), welche 48 Items umfasst. Der Test besteht aus 6 Skalen mit jeweils 8 Items. Die Skalen Gefühle gegenüber dem Geschwisterkind und Überzeugungen gegenüber dem Geschwisterkind werden in Bezug auf die Kindheit und die Adoleszenz bewertet. Dazu kommen die Skalen Verhaltensinteraktionen und die Positivität dieser Interaktionen, die auf Basis der Selbstauskunft die Geschwisterbeziehung erfasst werden. Die psychometrische Prüfung an 711 Teilnehmer\*innen ergab gute bis sehr gute Reliabilitätskennwerte und liefert Hinweise zur Validität der Skala.

Die von Walecke-Matyja (2015) entwickelte „Adult Sibling Familial Relationship Scale“ (ASFRS) erfasst mit 24 Items die drei Faktoren Affektives Engagement, Verhaltensengagement und Kognitives Engagement. Die psychometrische Prüfung erfolgte an 230 Studierenden und belegte, dass das ASFRS insgesamt ein reliables und valides Verfahren ist.

Das „Sibling Type Questionnaire“ (STQ) von Stewart und Kolleg\*innen (2001) ist ein 50 Items umfassendes Verfahren, das die fünf Dimensionen Gegenseitigkeit, Kritik, Apathie, Wettbewerb und Sehnsucht erfasst. Das STQ wurde 2016 von Szymńska ins polnische adaptiert. In einer Stichprobe von 416 erwachsenen Teilnehmer\*innen konnte die Fünf-Faktoren-Struktur repliziert werden; wegen zu geringer Reliabilität wurde die Zuordnung von Items geändert und die Skala Sehnsucht für die neue Skala Vorherrschaft gestrichen; die Itemzuordnung wurde geändert. Die polnische Version des Fragebogens weist jetzt eine zufriedenstellende bis sehr gute interne Konsistenz auf und hat sich als Fragebogen zur Erfassung der Geschwisterbeziehung bewährt (Szymńska, 2016). Nachfolgend wird das Adult Sibling Relationship Questionnaire, das in der vorliegenden Studie geprüft wurde, vorgestellt.

### **Das Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ)**

Zur Erfassung der Beziehung zwischen Geschwistern ist das Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ; Stocker, Lanthier & Furman, 1997) ein etabliertes Verfahren. Das ASRQ misst qualitative Merkmale von Geschwisterbeziehungen und ist eine Weiterentwicklung des Sibling Relationship Questionnaire von Furman und Buhrmester (1985), das die Geschwisterbeziehung im Kinder- und Jugendalter erfasst. Das ASRQ umfasst insgesamt 81 Items, die mit Hilfe einer fünf-stufigen Likertskala, ausgenommen die Items zur Rivalität, beantwortet werden. Die 81 Items können den 14 Skalen zugeordnet werden: Ähnlichkeit, Akzeptanz, Betroffenheit, Bewunderung, Emotionale Unterstützung, Instrumentelle Unterstützung, Vertrautheit, Wissen um das Geschwister, Dominanz, Feindseligkeit, Konkurrenz, Streiten, Rivalität um den Vater und Rivalität um die Mutter. Aus diesen 14 Skalen werden die drei übergeordneten Faktoren: Wärme, Rivalität und Konflikt gebildet. In der amerikanischen Originalversion (Stocker et al., 1997) liegt die Reliabilität der drei übergeordneten Faktoren Wärme, Konflikt und Rivalität im guten bis sehr guten Bereich (Tabelle 2), in der deutschen Version von Heyeres (2006), der das ASRQ übersetzte, ist sie ebenfalls als gut bis sehr gut einzuschätzen (Tabelle 2).

Das ASRQ wurde in verschiedene Sprachen übersetzt und international eingesetzt. Neben der psychometrischen Prüfung, z.B. der polnischen Adaption, die eine gute bis sehr

gute interne Konsistenz (von  $\alpha = .87 - .97$  für die übergeordneten Faktoren) aufweist und Validitätshinweise liefert (Walecka-Matyja, 2014), beschäftigten sich mehrere Arbeitsgruppen mit der Erstellung von Kurzformen. Walecka-Matyja publizierte 2016 eine polnische Kurzversion des ASRQ und prüfte diese in einer Stichprobe von  $N=1000$  Proband\*innen (53% weiblich, 18-83 Jahre). Die polnische Kurzform umfasst 61 Items und kann alle ursprünglichen Skalen des ASRQ abbilden; sie weist gute bis sehr gute Reliabilitätskennwerte für die übergeordneten Faktoren (Tabelle 2) auf. In Italien erfolgte eine psychometrische Einschätzung einer ASRQ-Kurzform mit 43 Items an 464 jungen Erwachsenen im Alter von 18-28 Jahren (Tani, Guarnieri & Ingoglia, 2013). Tani et al. (2013) beschrieben faktoranalytisch 14 Skalen, allerdings nur zwei übergeordnete Faktoren mit guter bzw. sehr guter interner Konsistenz. In einer französischen Studie wurde eine Kurzversion, das ASRQ-S, mit 47 Items untersucht (Plessis et al., 2020). Diese Kurzversion weist eine befriedigende bis gute interne Konsistenz von  $\alpha = .65$  bis  $\alpha = .96$  für die drei übergeordneten Faktoren auf (Plessis et al., 2020).

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die psychometrische Prüfung der deutschen Version des ASRQ, sowie die Reduktion der Items zur Erstellung einer Kurzform.

## **2. Methode**

**Datenerhebung:** Die online Umfrage erfolgte im Juli 2021. Das ASRQ konnte auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 = „gar nicht/ so gut wie nie“ bis 5 = „außerordentlich/ so gut wie immer“ beantwortet werden (Heyeres, 2006). Einschlusskriterien waren das Mindestalter von 18 Jahren, mindestens ein Geschwister zu haben und die Einwilligung für die freiwillige Teilnahme an der Studie gegeben zu haben. Die vorliegenden Daten (Kiesel, 2021) werden einer Re-Analyse unterzogen.

**Datenanalyse:** Die psychometrische Prüfung beinhaltete die Item- und Skalenanalyse; die klassischen Itemkennwerte (Mittelwert, Standardabweichung (s. Tabelle 1), Schiefe und Kurtosis, Itemschwierigkeit und Itemtrennschärfe) sowie die Skalenwerte (Mittelwert, Standardabweichung, Reliabilität) wurden berechnet. Im weiteren Verlauf wurden mehrere Faktorenanalysen durchgeführt. Die erste Faktorenanalyse wurde mit allen 81 Items ohne spezifische Kriterien, d.h. Hauptkomponentenanalysen und Faktorladungen  $>.40$  durchgeführt. Anschließend wurde eine Faktorenanalyse auf Grundlage der Ergebnisse der Itemanalyse, d.h. mit 55 Items, durchgeführt. Zuletzt wurde eine Faktorenanalyse mit allen 81 Items ausgeführt, wobei sich die Voreinstellungen (Hauptkomponentenanalyse, Oblimin-Rotation, Faktorladung  $>.60$ ) an Walecka-Matyja (2016) anlehnten, die sich wiederum an Stocker, Lanthier und Furman (1997) orientierte. Ziel der Faktorenanalysen war es, die Skalen, zumindest die drei übergeordneten Faktoren, zu replizieren und nachfolgend deren Reliabilität (Cronbach's Alpha) zu bestimmen. Es wurde erwartet, dass sich die Faktoren auch in der Kurzform (55 Items) darstellen.

## **3. Ergebnisse**

### Stichprobenbeschreibung

An der Umfrage haben insgesamt 629 Personen teilgenommen; 374 Personen haben den Fragebogen vollständig beantwortet. Die Altersspanne der befragten Personen reichte von 18 bis 69 Jahre, das Durchschnittsalter betrug  $M = 29.0$  ( $SD = 9.64$ ). Von

den 374 Personen waren 280 Teilnehmer\*innen weiblich (75%), 92 männlich und 2 divers.

### Ergebnisdarstellung Item- und Skalenanalyse

Im ersten Schritt wurde eine Itemanalyse durchgeführt. Alle Items mit einer Schwierigkeit  $<20$  oder  $>80$  sowie Items mit einer Trennschärfe von  $<.30$  und  $>.70$  wurden von den weiteren Berechnungen (hinsichtlich der Erstellung einer Kurzversion) ausgeschlossen; hierbei wurden die Items der Rivalität nicht berücksichtigt, da immer zwei Items eine Einstellung erfragen und dementsprechend ein Item für die Mutter und ein Item für den Vater vorhanden ist. Die Analyse der 81 Items ergab insgesamt 26 Items mit einer zu geringen Itemschwierigkeit bzw. einer geringen Itemtrennschärfe.

### Mittelwertvergleiche

In Tabelle 1 findet sich die Ergebnisdarstellung der Vergleiche der Skalenmittelwerte und Standardabweichungen der 14 Skalen und der drei übergeordneten Faktoren der Originalversion von Stocker et al. (1997) sowie der deutschen Version von Heyeres (2006) mit den Daten der aktuellen Studie (Kiesel, 2021). Der Vergleich der Daten von Stocker et al. (1997) und Kiesel (2021) zeigte hinsichtlich der übergeordneten Faktoren ausschließlich die Dimension Rivalität ( $t=721$ ,  $p\leq.0001$ ,  $d=0.52$ ) einen bedeutsamen Unterschied; die Geschwister der aktuellen (deutschen) Stichprobe beschrieben einen geringeren Mittelwert als die Geschwister der amerikanischen Originalstichprobe. Bei neun der 14 Skalen zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede in den Skalenmittelwerten, wobei die Geschwister in der vorliegenden Stichprobe höhere Werte für die Skalen Akzeptanz, Emotionale Unterstützung, Wissen um Geschwister und Streiten aufwiesen und geringere Mittelwerte für die Skalen Ähnlichkeit, Dominanz, Konkurrenz sowie Rivalität um Vater und Mutter beschrieben. Der Vergleich der Daten der deutschen Stichprobe von Heyeres (2006) und der Daten von Kiesel (2021) ließ keine Prüfung auf Ebene der übergeordneten Faktoren zu. Hinsichtlich der 14 Skalen zeigten sich signifikante Unterschiede bei neun Skalen, wobei die Geschwister der aktuellen Stichprobe ausschließlich einen geringeren Skalenmittelwert bei Rivalität um Vater beschrieben (bei Rivalität um Mutter ebenfalls, aber nicht statistisch signifikant); bei den Skalen Ähnlichkeit, Akzeptanz, Betroffenheit, Bewunderung, Emotionale und Instrumentelle Unterstützung, Vertrautheit sowie Wissen um Geschwister beschrieben sie höhere Skalenmittelwerte.

Skala	Stocker et al., (1997)	Heyeres (2006)	Kiesel (2021)	Statistische Prüfung (t-Wert, p-Wert, Cohen's d)	
	N = 383	N = 388	N = 374	Stocker vs. Kiesel (df=755)	Heyeres vs. Kiesel (df=760)
Ähnlichkeit	3.01 ± 0.86	2.58 ± 0.84	2.82 ± 0.79	t=3.16; p=.002 d=0.23	t=-4.06; p=.001 d=-0.29
Akzeptanz	3.27 ± 0.76	3.88 ± 0.83	4.03 ± 0.74	t=-13.94; p≤.0001 d=-1.01	t=-2.63; p=.009 d=-0.19
Betroffenheit	3.51 ± 0.95	3.23 ± 1.02	3.46 ± 0.93	t=-0.73; p=.464	t=-3.25; p=.001 d=-0.24
Bewunderung	3.65 ± 0.72	3.26 ± 0.79	3.61 ± 0.76	t=0.74; p=.457	t=-6.23; p≤.0001 d=-0.45
Emotionale Unterstützung	3.22 ± 0.96	3.26 ± 0.98	3.54 ± 0.94	t=-4.63; p≤.0001 d=-0.34	t=-4.02; p≤.0001 d=-0.29
Instrumentelle Unterstützung	2.66 ± 0.82	2.09 ± 0.73	2.61 ± 0.76	t=0.87; p=.385	t=-9.63; p≤.0001 d=-0.70
Vertrautheit	3.05 ± 0.92	2.95 ± 0.99	3.18 ± 0.96	t=-1.90; p=.057	t=-3.25; p=.001 d=-0.24
Wissen um Geschwister	3.35 ± 0.81	3.27 ± 0.83	3.51 ± 0.77	t=-2.78; p=.006 d=-0.20	t=-4.13; p≤.0001 d=-0.30
Dominanz	2.07 ± 0.72	1.69 ± 0.63	1.78 ± 0.70	t=5.62; p≤.0001 d=0.41	t=1.87; p=.062
Feindseligkeit	2.11 ± 0.84	2.09 ± 0.73	2.14 ± 0.79	t=-0.51; p=.613	t=-0.91; p=.364
Konkurrenz	2.19 ± 0.93	1.88 ± 0.73	1.85 ± 0.71	t=5.64; p≤.0001 d=0.41	t=0.57; p=.565
Streiten	2.45 ± 0.82	2.54 ± 0.70	2.58 ± 0.73	t=-2.3; p=.0216 d=-0.17	t=-0.77; p=.440
Rivalität um den Vater	0.66 ± 0.64	0.54 ± 0.56	0.39 ± 0.54	t=6.27; p≤.0001 d=0.46	t=3.76; p≤.0001 d=0.27
Rivalität um die Mutter	0.72 ± 0.59	0.55 ± 0.57	0.49 ± 0.55	t=5.54; p≤.0001 d=0.40	t=1.48; p=.139
Wärme	3.28 ± 0.69	-	3.34 ± 0.69	t=-1.20; p=.232	-
Konflikt	2.19 ± 0.69	-	2.09 ± 0.63	t=2.08; p=.038 d=0.15	-
Rivalität	0.70 ± 0.52	-	0.44 ± 0.47	t=7.21; p≤.0001 d=0.52	-

Tabelle 1: Vergleich der Skalenwerte von Stocker et al. (1997) sowie Heyeres (2006) und Kiesel (2021)

## Ergebnisdarstellung Faktorenanalysen und Reliabilitätsberechnung

Es wurde eine explorative Faktorenanalyse unter Einbezug aller 81 Items durchgeführt. Dabei wurden Faktorladungen unter .40 ausgeschlossen. Der Kaiser-Meyer-Olkin-Wert betrug .913 und zeigte damit, dass der Datensatz für eine faktorenanalytische Prüfung geeignet war. Es fanden sich initial 14 Skalen, jedoch war die Originalstruktur des ASRQ nicht replizierbar. Die drei übergeordneten Faktoren konnten repliziert werden. Die Reliabilitätsberechnung der übergeordneten Skalen ergab pro Skala eine sehr gute interne Konsistenz (Wärme  $\alpha = .97$ ; Konflikt  $\alpha = .94$ ; Rivalität  $\alpha = .91$ ).

Das Ergebnis der Itemanalyse wurde für eine zweite explorative Faktorenanalyse berücksichtigt; es verblieben unter Berücksichtigung passender Kriterien für Itemschwierigkeit und -trennschäfte 55 Items, die in die Faktorenanalyse eingeschlossen wurden. Der KMO-Wert betrug .921. Es konnten weder die 14 Subskalen noch die drei übergeordneten Faktoren repliziert werden.

In die dritte Faktorenanalyse, die sich hinsichtlich der Voreinstellungen an Walecka-Matyja (2016) orientierte (Hauptkomponentenanalyse, Oblimin-Rotation, Faktorladungen  $>.60$ ), wurden alle 81 Items einbezogen. Es zeigten sich 14 Skalen, welche jedoch inhaltlich nicht mit der Originalstruktur übereinstimmten. Aufgrund des Kriteriums Faktorladungen  $>.60$  zeigten insgesamt 29 Items eine zu geringe Ladung und wurden daher nicht berücksichtigt. Da die Replikation der Skalen nicht gelang, erfolgte eine Prüfung hinsichtlich der drei übergeordneten Faktoren, d.h. die zuvor genutzte Voreinstellung wurde ergänzt um den Aspekt „Voreinstellung auf 3 Faktoren“. Im Ergebnis zeigte sich, dass 52 Items erwartungsgemäß auf drei Faktoren luden. Die übergeordneten Faktoren Wärme, Konflikt und Rivalität konnten repliziert werden. Die Reliabilitätsanalyse zeigte eine sehr gute interne Konsistenz für Wärme ( $\alpha = .97$ ), Konflikt ( $\alpha = .93$ ) und Rivalität ( $\alpha = .91$ ) für die Kurzform mit 52 Items.

Übergeordneter Faktor	Stocker et al., (1997)	Heyeres (2006)	Kiesel (2021)	Walecka-Matyja (2016)	Kiesel (2021)
	N = 383	N = 388	N = 374	N=1000 61 Items	N = 374 52 Items
Wärme	$\alpha = .97$	$\alpha = .97$	$\alpha = .97$	$\alpha = .97$	$\alpha = .97$
Konflikt	$\alpha = .93$	$\alpha = .92$	$\alpha = .94$	$\alpha = .91$	$\alpha = .93$
Rivalität	$\alpha = .88$	$\alpha = .87$	$\alpha = .91$	$\alpha = .89$	$\alpha = .91$

*Tabelle 2: Darstellung der Reliabilitätskennwerte der übergeordneten Faktoren in verschiedenen Stichproben*

Zusammenfassend sind in Tabelle 2 die Reliabilitätskennwerte der drei übergeordneten Faktoren Wärme, Konflikt und Rivalität der Originalversion (Stocker et al., 1997) sowie der deutschen Version von Heyeres (2006) und der vorliegenden Studie (Kiesel, 2021) dargestellt. Es zeigen ähnliche Ergebnisse; Cronbach's Alpha der Skala Rivalität ist in der vorliegenden Studie mit  $\alpha = .91$  höher als bei Stocker et al. (1997) und Heyeres (2006). Hinsichtlich der Kurzform zeigte ergab die Reliabilitätsschätzung sehr gute Koeffizienten; auch hier zeigte sich, dass Cronbach's Alpha der Skala Rivalität mit  $\alpha = .91$  in der vorliegenden Studie höher ist als in der polnischen Kurzform (Walecka-Matyja (2016)).

#### 4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, eine psychometrische Prüfung des ASRQ durchzuführen und eine gekürzte und damit schneller zu bearbeitende Variante des deutschen ASRQ zu entwickeln. Dieser Schritt folgt der Idee, dass eine Kurzform für die Geschwister weniger aufwändig in der Bearbeitung ist und gut in der Forschung eingesetzt werden könnte.

Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche zwischen den Studien von Stocker et al. (1997) und Heyeres (2006) mit den vorliegenden Daten zeigten signifikante Unterschiede bei verschiedenen Skalen. Die Unterschiede zwischen den Daten von Stocker et al. (1997) und Kiesel (2021) können wahrscheinlich sowohl auf kulturelle Unterschiede als auch auf einen zeitlichen Faktor (1997 vs. 2021) zurückgeführt werden. Die signifikanten Unterschiede zwischen beiden deutschen Stichproben können zum Teil durch die 15 Jahre, die zwischen beiden Datenerhebungen liegen, erklärt werden. Offen bleibt, welche Einflüsse weiterhin eine Rolle gespielt haben.

Die Itemanalyse legte den Ausschluss von 26 Items nahe. Die gekürzte Version unterschied sich sehr stark von der amerikanischen Originalarbeit (Stocker, Lanthier und Furman, 1997) und der deutschen Version von Heyeres (2006), da sich weder die 14 Skalen noch die drei überordneten Faktoren replizieren ließen.

Im europäischen Raum liegen verschiedene Kurzformen des ASRQ vor (Plessis et al., 2020; Tani, Guarnieri & Ingoglia, 2013; Walecka-Matyja, 2016). Die Erstellung der polnischen Kurzform (Walecka-Matyja, 2016) diente als Vorlage für diese Arbeit. Die von Walecka-Matyja (2016) beschriebenen Voreinstellungen für die explorative Faktorenanalyse wurden übernommen. Es zeigte sich, dass 52 Items eine Faktorladung  $>.60$  aufwiesen und sich die drei übergeordneten Skalen Wärme ( $\alpha = .97$ ), Konflikt ( $\alpha = .93$ ) und Rivalität ( $\alpha = .91$ ) abgebildet haben und jeweils eine sehr gute Reliabilität aufwiesen.

Zukünftig sollte eine ausführliche psychometrische Prüfung, vor allem unter Berücksichtigung der Validitätsprüfung, des gekürzten ASRQ erfolgen, um eine benutzerfreundliche Version des Fragebogens zur Verfügung zu stellen und damit die Forschung in dem Gebiet der Geschwisterbeziehungen weiter zu etablieren.

#### Quellen

- Dunn, J. (2002). Sibling relationships. In P.K. Smith & C.H. Hart (Eds.), *Blackwell handbook of childhood social development* (S. 223-237). Oxford: Blackwell Publishers.
- Furman, W. & Buhrmester D. (1985). Children's perceptions of the qualities of sibling relationships. *Child Development*, 56, 448-461.
- Heyeres, U. (2006). Adult Sibling Relationship Questionnaire. Ein Instrument zur Erfassung von Geschwisterbeziehungen im Erwachsenenalter. *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, 37, 215-225.
- Kasten, H. (1998). *Geschwister, Vorbilder, Rivalen, Vertraute* (2. Aufl.). München: Reinhardt.
- Plessis, L., Wilquin, H., Pavani, J.B., & Bouteyre, E. (2020). Comparison of relationships among French adult siblings with or without schizophrenia using the ASRQ-S: mediating effect on emotional distress. *BMC Psychiatry*, 20, 122.

- Riggio, H. R. (2000). Measuring Attitudes Toward Adult Sibling Relationships: The Lifespan Sibling Relationship Scale. *Journal of Social and Personal Relationships*, 17(6), 707-728.
- Statistisches Bundesamt. (2021). Familien nach Lebensform und Kinderzahl in Deutschland. Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/2-1-familien.html>
- Stewart, R. B., Andrea L. K., Lynn M. T., Jean M. G., Elissa M. B. & Wendy A. C. (2001). Adult sibling relationships: Validation of a typology. *Personal Relationships*, 8, 299-324.
- Stocker, C. M., Lanthier, R. P. & Furman, W. (1997). Sibling relationships in Early Adulthood. *Journal of Family Psychology*, 11(2), 210-221.
- Szymanska, P. (2016). An Analysis of the Sibling Relationship in Adulthood. Polish Adaptation of STQ-Now. *Archives of Psychiatry and Psychotherapy*, 18(1), 55-64.
- Tani, F., Guarnieri, S. & Ingoglia, S. (2013). The Italian Adaptation and Validation of the Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ) in Italian Emerging Adults. *TPM. Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, 20(1), 47-67.
- Wałęcka-Matyja, K. (2014). Psychometric properties of the Polish adaptation of the Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ). *Archives of Psychiatry and Psychotherapy*, 16, 77-88.
- Walecka-Matyja, K. (2015). Adult Sibling Familial Relationship Scale (ASFRRS) – Construction and Psychometric Properties: Preliminary Report. *Hellenic Journal of Psychology*, 12(3), 172-189.
- Walecka-Matyja, K. (2016). The Polish Short Version of the Adult Sibling Relationship Questionnaire (ASRQ-SF): Preliminary Report. *Hellenic Journal of Psychology*, 13(2), 89-103.

# Konzeptionen von Fremdheit: Eine figurationstheoretische Betrachtung des Verhältnisses von „etablierten Migrant\*innen“ zu neu Zugewanderten

Tatevik Mamajanyan

Hochschule Fulda, Fachbereich Sozialwesen, Leipziger Str. 123, 36037 Fulda

## Abstract

Früh Zugewanderte sind in den politischen und fachpraktischen Bemühungen als eine wichtige Ressource, vor Krieg und Verfolgung Zuflucht Suchenden die Integration zu erleichtern und bei der Bewältigung von Unsicherheiten, Ausgrenzungs- und Diskriminierungserfahrungen anhand eigenes Erfahrungswissens mit Migration zu helfen. Im Gegensatz zu diesen integrationspolitischen Konzeptionen sind rassistische, antidemokratische Verhaltensweisen und Einstellungen von früh Zugewanderten gegenüber neu als Geflüchtete Zugewanderten zu beobachten, die im Sinne von Elias (1990) als Fremde, Außenseiter in der etablierten Gesellschaft wahrgenommen werden und mit Fremdheitserfahrungen umgehen müssen. Dies zeigt sich in den Auswertungen der Zukunftswerkstätten und Interviews mit früh und neu Zugewanderten mit der Frage „Wie gehen die früh und neu Zugewanderten mit Fremdheit um und wie versuchen sie die ihnen entgegnetretende Fremdheit im Ankunftsland zu überwinden?“.

## 1. Einleitung

In der Sozialen Arbeit mit und für Migrant\*innen wird in der Bevölkerung mit Migrationshintergrund ein wichtiges Potenzial für die Integration von neu Zugewanderten gesehen: So wird z.B. versucht, bereits heimische Migrant\*innen aus früheren Migrationsphasen über Projekte in die Integrationsarbeit als Lotsen oder Begleiter\*innen für neu Zugewanderte einzubeziehen und entsprechende Qualifizierungen bereitzuhalten (Dhawan 2019; Mösko et al. 2018). Ziel dieser Konzepte ist es, anhand eigener Erfahrungen mit Migration die neu Zugewanderten dabei zu unterstützen, einerseits strukturelle Herausforderungen zu bewältigen und andererseits einen Umgang mit den alltäglichen Erfahrungen als „Fremde“ zu finden. „Fremd“ oder „anders“ erscheinen die neu Zugewanderten nicht nur aus der Perspektive der sich als Alteingesessene definierenden deutschen Nachbarn, sondern auch der früh Zugewanderten. Rassismen und Vorbehalte von diesen Migrant\*innen gegenüber neu, insb. als Geflüchtete zugewanderte Menschen widersprechen der Lotsenidee innerhalb der Migrationsarbeit.

Damit deuten sich zwei gegenläufige Prozesse in dem Verhältnis von früher und aktuell nach Deutschland zugewanderten Gruppen an: Angesichts der gruppenbezogenen Fremdenfeindlichkeit von schon etablierten Migrant\*innen gegenüber insb. 2015/16 nach Deutschland geflüchteten Menschen ist fraglich, inwieweit Konzepte der Sprach- und Kulturvermittlung Migrant\*innen überhaupt erreichen und die angedeuteten ablehnenden bis fremdenfeindlichen Einstellungen entweder übersehen oder unterschätzt werden. Bemerkenswert erscheint, dass die Kohorten von Geflüchteten, die in den Jah-



ren 2015/16 nach Deutschland kamen, von früh Zugewanderten als Fremde wahrgenommen werden. Ihre ebenfalls von der Migration geprägte Lebensgeschichte wird kaum als Gemeinsamkeit erkannt und die geteilten Erfahrungen in der Zeit des Ankommens liegen nicht auf der Hand.

Im Mittelpunkt dieses Beitrages steht das Beziehungsgeflecht von Migrant\*innengruppen aus zwei unterschiedlichen Migrationsphasen und -politiken: Die eine Gruppe ist in den 1990er Jahren aus den ehemaligen Sowjetrepubliken als (Spät-)Aussiedler\*innen zugewandert, die andere Gruppe ist etwa in den Jahren 2015/2016 nach Deutschland geflüchtet. Anhand erster Ergebnisse meines Dissertationsprojekts „Konzeptionen der Fremdheit: eine figurationstheoretische Analyse der früh und neu Zugewanderten“ wird gezeigt, welche Fremdheitserfahrungen die Zuwanderungsgruppen in ihrem Beziehungsgeflecht machen und mit welchen Strategien sie versuchen bzw. versucht haben, Fremdheit im Ankunftsland zu überwinden.

## **2. Empirische Untersuchung: eine figurationstheoretische Analyse zu den Erfahrungen mit der Fremdheit von früher und neu Zugewanderten**

Elias und Scotson betrachten Fremdheit in ihrer Untersuchung „Etablierte und Außenseiter“, indem sie die Figuration oder das Interdependenzgeflecht von zwei Zuwanderungsgruppen analysieren (Elias/Scotson 1990). Die Autoren fanden am Beispiel einer englischen Stadt heraus, dass die nach dem Zweiten Weltkrieg Zugewanderten (aus einem anderen englischen Gemeinde) eine „Außenseitergruppe“ bildeten gegenüber den „etablierten“ Alteingesessenen. Die Mitglieder von Gruppen, die in Hinblick auf ihre Macht anderen, interdependenten Gruppen überlegen sind, glaubten, sie seien im Hinblick auf ihre menschliche Qualität besser als die anderen. Sie verfügten unstrittig über eine größere Macht als andere interdependente Gruppen (Elias/Scotson 1990: 7) oder anders ausgedrückt: Die „Etablierten“ stigmatisierten und grenzten die „Außenseiter“ aus.

Solche Etablierten-Außenseiter-Figurationen lassen sich auf die hier im Mittelpunkt stehenden Zuwanderungsgruppen erkennen. Im Fokus der Untersuchung stehen die Fragen, ob und wie es den früh und oder vor einigen Jahren Zugewanderten gelingt, machtvoll zu handeln oder die Autonomien bzw. Machtbalancen zu verschieben und auf welche Faktoren von Zuweisungsprozessen durch die Etablierten diese zurückzuführen ist. Welche Mechanismen der Abwehr und Überwindung von Fremdheit bzw. des Fremdsseins seitens der etablierten Migrant\*innen und neuen Außenseiter-Gruppe der Geflüchteten können identifiziert werden?

In Zukunftswerkstätten und qualitativen Interviews haben die beiden untersuchten Migrant\*innengruppen aus Osthessen ihr implizites Wissen (Bohnsack et al. 2013) zu solchen Mechanismen im Umgang mit Fremdheit/Fremdsein hervorgebracht, das sich in ihren Aussagen und Handlungen äußert. Die Daten wurden mit einem rekonstruktiven Verfahren in Anlehnung an die dokumentarische Methode nach Bohnsack ausgewertet. Im Auswertungsprozess wurden die Ergebnisse aus den Zukunftswerkstätten und Interviews an den untersuchten Personenkreis rückgekoppelt, mit dem Ziel, eine Reflexion der eigenen Perspektive zu ermöglichen, die auch das Handeln zukünftig verändern kann. Im Zentrum der Rückkopplungsdiskussion stand das Anliegen, Antworten

auf für die Soziale Arbeit relevanten Fragen zu finden, wie Ablehnungshaltungen abgebaut, Ausgrenzung und Stigmatisierung vermieden und nicht zuletzt solidarisches Handeln befördert werden kann.

### 3. Darstellung der Ergebnisse der empirischen Untersuchung

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen unter Anderem, wie Fremdheit von befragten Zugewanderten erfahren wurde und oder wird und welche Handlungsorientierungen die befragten Zugewanderten im Umgang mit der eigenen Fremdheit entwickeln, wie versuchen sie, die ihnen entgegengesetzte Fremdheit zu überwinden.

- a) Die Konstruktion der Fremdheit in der Etablierten-Außenseiter-Figuration von früher- und Neuzugewanderten

Eine zentrale Erkenntnis aus dem empirischen Material ist, dass Fremdheit unter verschiedenen wechselnden Bedingungen und in ganz unterschiedlichen Lebenssituationen von befragten Zugewanderten erfahren wird. Deshalb wird Fremdheit keinesfalls als eine einheitliche Kategorie oder eine Eigenschaft, sondern als Definition einer Beziehung bzw. Figuration (Elias 1990) mit verschiedenen Erlebnisformen beschrieben. Die empirischen Erkenntnisse zeigen die Aktualität der Fremdheit aus einer Perspektive der Etablierten-Außenseiter-Figuration nach Elias (ebd.). Im Kern einer solchen Figuration stehen *soziale Ungleichheiten der Etablierten- und Außenseitergruppen* in Prozessen der *Ausgrenzung* und *Stigmatisierung* sowie *ungleichen Machtverhältnisse*. Die Ausgrenzung von Geflüchteten zeigt sich als ein Prozess, indem den als Fremde, Flüchtlinge definierten Einzelpersonen oder Gruppen von Menschen systematisch verschiedene Rechte, Möglichkeiten, Ressourcen oder Zugriff auf Ressourcen verweigert werden. Diese Rechte, Möglichkeiten und Ressourcen (wie z.B. Wohnen, Arbeit, Bildung, Gesundheit etc.) stehen aber gleichzeitig den sich als einheimisch definierten Gruppen, also Mitgliedern einer anderen Gruppe zur Verfügung. Diese Erkenntnis ist aus dem empirischen Datenmaterial sowohl mit als Geflüchtete Zugewanderten als auch früh Zugewanderten entstanden. Dabei wurden drei Formen der Ausgrenzung von Geflüchteten empirisch herausgearbeitet: Ausschluss von Geflüchteten aus der WIR-Gruppe der früh Zugewanderten, Verdrängung der Geflüchteten aus dem öffentlichen Raum, Ausschluss von Geflüchteten aus den sozioökonomischen Ressourcen. Ein geflüchteter Mann sagte zum Beispiel in einer Zukunftswerkstatt:

*T1: Und wir waren Neujahr. [...] Wir waren drei Personen und im Rewe. Und da ich habe eine Frau gesehen (unv.), die auf unseren Boden gespuckt hat. (ZW.1, 83-86)*

Oder:

*TN6: wir sind in den Musikpark gegangen im (persisch) Weihnachten und Silvester in X und zwei Polizei, Security haben gesagt ‚geben mir Ausweis‘. Ich habe gegeben Ausweis (unv.) und ‚Nein, darf nicht rein‘. (ZW.2, 564-566)*

Neben Ausgrenzungsprozessen lassen sich Vorurteile gegenüber neuzugewanderten Geflüchteten herausarbeiten, die das Etablierten-Außenseiter-Verhältnis konstruieren. Als fremde „Araber“, „Moslems“, „Asylanter“, „Flüchtlingskinder“, „Kopftuchfrauen“ werden die Geflüchteten mit durchgängig negativen Attributen belegt. Ein früh Zugewandelter berichtet, dass der Name und das Aussehen öfter den Zugang zum System

erschweren, weil Vorurteile bestehen, dass Menschen mit ausländischem Namen oder anderem Aussehen nicht integriert seien und zurück in ihr Heimatland gehen sollten:

*B: Und der Name ist, ist auch ganz wichtig hier. Guckst du auf deinen Namen, guckst du auf deine mh, Ausländer und guck deine Haare. Ja. Mh, mh. (..) (I.2: 1114)*

In einem anderen Interview erzählt eine früh Zugewanderte:

*B1: Das bedeutet, diejenigen, die so ähm / was machen die denn hier, wieso laufen die so hin und her, haben sich mit diesen Dingen verschleiert und laufen, gehen sich (...) Kopftuch! ja, ja, ja. Die müssen zurück in ihr Heimatland gehen. // (I.1: 1034)*

Neben Stigmatisierungs- und Ausgrenzungsprozessen hat sich die Analyse der Macht bzw. der Machtverhältnisse der sogenannten etablierten Migrant\*innen zu den neu als Geflüchtete Zugewanderten als eine der zentralen Erkenntnisse zur Konstruktion der Fremdheit in der Etablierten-Außenseiter-Figuration erwiesen. Im empirischen Datenmaterial finden sich viele Merkmale der Etablierten-Außenseiter-Figuration wieder, die die ungleichen Machtverhältnisse der untersuchten Zuwanderungsgruppen beschreiben. Folgende Abbildung zeigt miteinander zusammenhängende Merkmale der Machtverhältnisse von beiden an der Etablierten-Außenseiter-Figuration beteiligten Zuwanderungsgruppen:

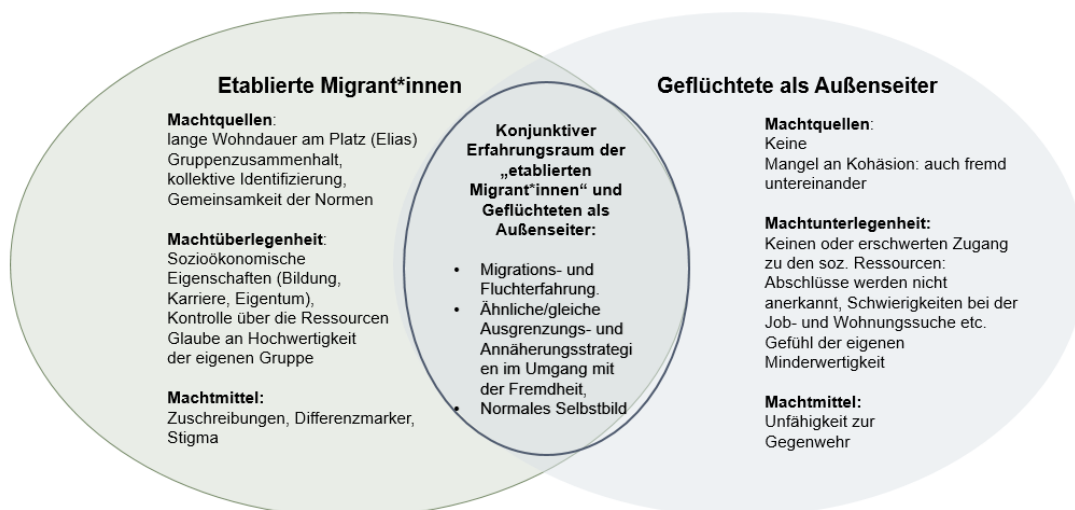


Abbildung 1: Merkmale der Etablierten- und der Außenseitergruppe

Auf allen genannten Ebenen der Fremdheitskonstruktion (Ausgrenzung, Stigmatisierung und ungleiche Machtverhältnisse) braucht es Strategien, dagegen zu kämpfen, wie die Zugewanderten als Fremde damit umgegangen sind bzw. auch noch heute umgehen. In Anlehnung an die dokumentarische Methode nach Bohnsack habe ich eine Typisierung vorgenommen (Bohnsack 2010). Die aus dem interpretierten Datenmaterial gebildeten Typen verstehen sich als Strategien im Umgang mit der Fremdheit der Zugewanderten und stellen Bezüge zwischen spezifischen Orientierungen und Erlebnishintergründen dar. Bei der Typenbildung habe ich mich auf die Handlungen der Etablierten- und Außenseiter-Gruppen fokussiert bzw. wie sie aufeinander bezogen sind, welche Handlungsorientierungen sie in ihrem Beziehungsgeflecht entwickeln, denn wie auch Elias sagt, sie sind durch eine Fülle von unsichtbaren Ketten aneinandergelassen. Kurz

gesagt- es gibt keine Etablierten ohne Außenseiter, und es gibt keine Außenseiter ohne Etablierten.

b) Handlungsorientierungen der früher und neu Zugewanderten im Umgang mit der eigenen Fremdheit

Aus dem empirischen Material lassen sich 4 Typen von fallübergreifenden Umgangsstrategien der Zugewanderten mit Fremdheit im Beziehungsgeflecht mit jeweils Anderen identifizieren. Es zeigt sich, dass die unterschiedlichen Umgangsstrategien situationsbezogen sind und dass deshalb eine und gleiche Person mehrere Strategien je nach Situation einsetzt. Das Einsetzen unterschiedlicher Strategien von als Außenseiter definierten Fremdengruppen gegenüber sich als etabliert beschriebenen Gruppen schließt sich an die Figurationstheorie von Elias an, die die Menschen und ihr Zusammenspiel miteinander in beweglichen Figurationen bzw. Interdependenzketten betrachtet. In der folgenden Abbildung sind die unterschiedlichen Abwehrmechanismen gegen Fremdheit bzw. Fremdsein dargestellt:

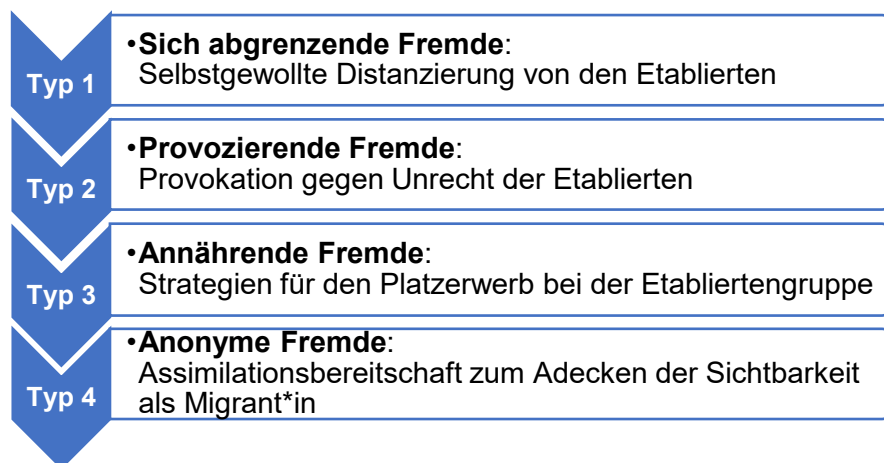


Abbildung 2: Mechanismen der Abwehr und Überwindung von Fremdheit bzw. Fremdsein

Den Typ 1 „an selbstgewollter Abgrenzung und hoher Distanzierung von den Etablierten orientiert“ habe ich bezeichnet als „sich Abgrenzende/r Fremde“. Charakteristisch ist für diesen Typus eine Art der selbstgewollten Distanzierung von den Etablierten. In diesem Typus finden sich viele wieder, die sich als hilf- und machtlos gegen Diskriminierung und rassistischer Gewalt bezeichnen, indem sie zurückgezogen sind und kein Gegenwehr gegen Unrecht der etablierten Gruppen ausüben. Eine früh Zugewanderte erzählt zum Beispiel:

*B: Dieses Verhalten von deutschen Kindern hat meine Mama versucht, immer zu entschuldigen. (...) Ich habe alles über mich ergehen lassen. (...) Ich hätte überhaupt nichts sagen können. (I.4, 227-228)*

Der Typ 2 umfasst eine Strategie, die „an Provokation und Widerstand orientiert“ ist. Zur Bewältigung der Fremdheit haben sich die „provozierenden Fremder“ eine Strategie angeeignet, wodurch sie sich gegen etablierte Gruppen wehren wollen. Ein Geflüchteter berichtet z.B. in der Zukunftswerkstatt:

*B: Und da fing es natürlich mit Alkohol, Rauchen. (.) Schimpfereien. Wir haben extra die Musik, äh, russische laut aufge/ dann fingen wir an zu provozieren, ja. also wir wollten zeigen. (I., 646-648)*

Alle befragten Zugewanderten berichten von der hohen Bedeutung der Sozial- und Systemintegration, die auch die Beziehung zwischen als Etablierte und Außenseiter definierten sozialen Gruppen nachhaltig ändern kann. Das gilt für die Bezeichnung des Typ 3 eines aus dem empirischen Datenmaterial herausgearbeiteten Typus, welcher „an Annäherung zu den etablierten Gruppen orientiert ist“ (Typ 3). Ein Geflüchtete sagt in einer Zukunftswerkstatt:

*TN1: (...) und ich habe drei Monate Praktikum gemacht und drei Monate Schule. Und ich hatte schon Plan A und Plan B. Ich wollte erst Sprache lernen und dann Ausbildung und gut Job.“ (ZW.2, 139-142)*

Der letzte rekonstruierte Typ 4 entwickelt Assimilationsstrategien, um die Sichtbarkeit als „Ausländer\*innen“ zu verdecken z.B. durch eine Namensänderung und das Lernen eines akzentfreien Deutschen. Beim Telefonieren mit Behörden oder anderen Institutionen stellen sich die Migrant\*innen mit deutschen Namen vor, um Othering-Prozesse zu vermeiden:

*B: Gestern wir haben auch eine mh, (.) ein Dozent gehabt, der hat aber seinen Namen geändert. (.) Aber mh, ja, das wahrscheinlich irgendwo, wenn die Leute nimm/ kennt dich nicht, vielleicht nimmt sie als Deutscher. (I.2, 1169-1192)*

Zum anderen wird versucht, sich äußerlich anzupassen, die Haare zu färben, die Kleidung anzupassen oder das Kopftuch abzulegen. Durch diese nachahmende (mimetische) Strategie ist der Typ 4 „an Anonymität und Veränderung orientiert“. Dieses Verlangen, dazu zu gehören, ist auch eine Reaktion auf Ablehnungs- und Ausgrenzungserfahrungen.

Die dargestellten Typen stellen eine Vielfalt der Strategien im Umgang mit Fremdheit dar, die mit Ausgrenzung, Stigmatisierung sowie Diskriminierung einhergeht. Es ist für die Subjekte ein Problem, sich von den Anderen als Fremde gesehen und sich selber als Fremde sehen umzugehen. Das Einsetzen dieser Strategien im Alltag bedeutet für sie eine große Arbeit zu sein, da es offenbar viel Kraft und Ressourcen braucht, sich mit Ausgrenzung und Stigmatisierung auseinanderzusetzen bzw. damit umzugehen. Bei dieser Arbeit kann man sie unterstützen, indem man Dialogprozesse und Vernetzung von Subjekten schafft und diese als eine große Ressource zur Gestaltung und Weiterentwicklung eines gelungenen Zusammenlebens nutzt. So gilt es in meiner Untersuchung, in moderierten Dialogprozessen wie Zukunftswerkstätten und Rückkopplungsdiskussion mit früher und neu Zugewanderten dafür zu sorgen, dass Ansätze zur Auflösung der binären Zuordnungen wie „wir und andere“, „Fremde und Einheimische“ geäußert bzw. bewusstgemacht werden.

#### **4. Rückkopplung der Ergebnisse**

In diesem Sinne wurden die gewonnenen Erkenntnisse zu den Fremdheitserfahrungen und Strategien im Umgang mit der Fremdheit der befragten Zugewanderten in der sogenannten Rückkopplungsveranstaltung (Bohnsack 2006) diskutiert, die als ein gemein-

sames Aushandlungs- und Austauschformat von früh Zugewanderten und neu als Geflüchtete Zugewanderten stattgefunden hat. Auf diese Weise konnten die früh und neu Zugewanderten mit ihren Interessen und Problemstellung zu der Frage, wie kann das Zusammenleben mit jeweils Anderen gelingen, konfrontiert werden. Dabei zeigten sich trotz Differenzen und widersprüchlichen Haltungen zu Fluchtzuwanderung der jüngsten Vergangenheit viele Gemeinsamkeiten zwischen früher und neu zugewanderten Menschen. Diese Form des Aushandlungsformats als gemeinsamer Austausch- und Aushandlungsort mit der zentralen Aufgabenstellung -nach Gemeinsamkeiten zu suchen- hat sich als ein sehr fruchtbares Instrument erwiesen, da die hervorgebrachten Gemeinsamkeiten dafür gesorgt haben, dass die jeweils „Wir“-Gruppe mit den jeweils Anderen sich verbunden fühlte. Dabei bestätigte sich, dass das Neue sich erst dann angemessen beschreiben ließ, als ein Blick auf das Alte geworfen wurde. Als Reaktion auf die Beschreibung der 4 Typen von Fremden sind die insbesondere früh Zugewanderten zu Erkenntnissen gekommen, die sich in vier Richtungen konkretisieren lassen. Sie haben in der Rückkopplungsveranstaltung *Chancen und Vorteile durch neue Fluchtmigration* gesehen. Anschließend haben sie die Überlegung dazu geäußert, inwiefern es *eine oder keine Integration braucht*. Weiterhin sind Erkenntnisse in Bezug die auf zwischen früher und neu Zugewanderten *geteilte Erfahrung Migration und Ankommen* zu gewinnen. Indem sie festgestellt haben, dass sie alle ähnliche Migrationserfahrung haben, ist in der Rückkopplung dieses Bewusstsein über gemeinsam geteilte Erfahrung Migration übergegangen zu dem Ansatz, die Neuzugewanderten dabei zu unterstützen bzw. Auswege aus der Spirale der Ausgrenzung zu finden. Diese Erkenntnis bezieht sich auf die gegenseitige Unterstützung von früher und neu Zugewanderten- *Migrant\*innen helfen Migrant\*innen*.

## 5. Fazit

Die in dieser Untersuchung dargestellten Erkenntnisse wurden erst durch meine methodische Vorgehensweise hervorgebracht. Die Partizipationsmethoden wie Zukunftswerkstätten und Rückkopplungsdiskussion ermöglichten die an der Forschung beteiligten Zugewanderten, dass sie überhaupt ihre Perspektiven äußern, sich darüber bewusstgemacht werden, wie es den Anderen in der Realität geht. Durch diesen Akt- miteinander zu sprechen und nicht übereinander- war eine authentische Kommunikation möglich, welche durch gegenseitige Perspektivenübernahme sowie Selbstreflexion, Verständnis und Vertrauen erzeugte. Aus dem Versuch, die schon über ein partizipatives Format wie Zukunftswerkstätten gewonnen Erkenntnisse wieder rückzukoppeln an diejenigen, die mitgewirkt hatten, entstand der Ansatz, die Ablehnungshaltungen, die sich in Interviews und Zukunftswerkstätten gezeigt haben, abzubauen und zu überwinden. Darüber hinaus geht es aber auch Ausgrenzungspraktiken generell als Aufgabe stärker anzunehmen, frühzeitig zu erkennen und nicht Integration als Projekt für mehrere Generationen laufen zu lassen (Alisch et al. 2022). Durch die Forschungsmethodik hat sich gezeigt, dass gemeinsame Dialogprozesse von verschiedenen aber eigentlich gleichen sozialen Gruppen gegen Ausgrenzung und Ablehnung wirken können. Die Förderung des Miteinanders, um die auch im partizipativen Forschungsprozess geht, kann also durch moderierte Dialogprozesse geleistet werden. Dabei geht es nicht um konkrete Lösung von Problemen, sondern es geht mehr darum, wie Ausgrenzungspraktiken hervorgebracht und Ablehnungshaltung überhaupt ansprechbar werden. Als nächstes ermöglichte die Forschungsmethodik-, Ansätze von Formen solidarischen Umgangs miteinander zu bearbeiten, Empathie und Involviertsein (Messerschmidt 2009) gegenüber

Neuzugewanderten als benachteiligte Gruppe zu ermöglichen und deren Benachteiligung sichtbar zu machen. Das heißt folglich auch, Bedingungen mitzudenken, die die Neuzugewanderten als eine benachteiligte Gruppe miteinschließen (Mecheril und Broden 2014). Im Sinne der sozialen Nachhaltigkeit ist es in meiner Untersuchung ein Stück weit gelungen, die sonst sehr pauschal in dem sonstigen Material hervorgebrachten Ablehnungshaltungen aufzubrechen, Ausgrenzungspraktiken zu überwinden, weil sie ansprechbar wurden. Mit Bezug auf die Soziale Arbeit müssen Herangehensweise wie die meines partizipativen Forschungsansatzes ein Teil der Praxis von Handeln in der Migrationsarbeit oder auch in der Gemeinwesenarbeit werden.

## Quellen

- Alisch, Monika/Ritter, Martina/Hille, Catharina/Hufeisen, Jonas/Mamajanyan, Tatevik (Hrsg.) (2022): Soziale Öffentlichkeiten kleinstädtischer Urbanität im Kontext der Migrationsgesellschaft.
- Bohnsack, Ralf (2010). Rekonstruktive Sozialforschung. Einführung in qualitative Methoden. 8., durchges. Aufl. Opladen: Budrich (UTB Erziehungswissenschaft, Sozialwissenschaft, 8242).
- Bohnsack, Ralf (2006). Qualitative Evaluation und Handlungspraxis – Grundlagen dokumentarischer Evaluationsforschung. In: Uwe Flick (Hg.): Qualitative Evaluationsforschung. Konzepte - Methoden - Umsetzung. Originalausgabe. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 135–158.
- Bohnsack, Ralf; Nentwig-Gesemann, Iris; Nohl, Arnd-Michael (Hg.) (2013). Die dokumentarische Methode und ihre Forschungspraxis. Grundlagen qualitativer Sozialforschung. 3. aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer VS.
- Dhawan, Savita (2019). Zusammenarbeit mit Sprachmittler\*innen in der psychosozialen Beratung. Handlungsempfehlungen und Standards. Eine Literaturrecherche. Hg. v. pro familia Bundesverband. pro familia Bundesverband.
- Elias, Norbert; Scotson, John L. (1990). Etablierte und Außenseiter. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Mecheril, Paul/Broden, Anne (Hrsg.) (2014): Solidarität in der Migrationsgesellschaft. Befragung einer normativen Grundlage. Migration - Macht - Bildung, Band 2. Bielefeld: transcript Verlag.
- Messerschmidt, Astrid (2009). Weltbilder und Selbstbilder. Bildungsprozesse im Umgang mit Globalisierung, Migration und Zeitgeschichte. 1. Aufl. Wissen & Praxis, v.151. Frankfurt am Main: Brandes & Apsel.
- Möske, Mike; Mueller, Jessica Terese; Breitsprecher, Christoph (2018). ZwischenSprachen–Qualitätsstandards zur Qualifizierung von Sprachmittlern in der Sozialen Arbeit mit Geflüchteten. Institut und Poliklinik für Medizinische PsychologieArbeitsgruppe Psychosoziale Migrationsforschung (AGPM). Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (UKE).

# Young refugees' adaptation process in Germany: The role of social identification and mutual understanding in inter-ethnic friendships with native peers

Dorothea Gläßer<sup>1</sup>, Nicole Harth<sup>1</sup>, and Philipp Jugert<sup>2</sup>

1 Ernst-Abbe University of Applied Sciences, Jena; corresponding author: Dorothea Gläßer, Phone: +49(0) 151 6105 7867, Email: dorothea.glaesser@eah-jena.de, Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena  
2 University Duisburg Essen

## Abstract

Drawing on the intergroup contact theory (Pettigrew & Tropp, 2006, 2008) as well as on acculturation frameworks (Bierwiazzonek & Kunst, 2021), we investigate connections between social identification with Germany, mutual understanding, and socio-cultural adaptation in friendships between young refugees and native peers. In a preliminary analysis of cross-sectional data, we report descriptive and correlational findings from a sample of young refugees ( $n = 41$ ). As hypothesized, we found a positive interrelation between the number of inter-ethnic friendships and socio-cultural adaptation ( $p = .028$ ). Exploratory findings did not support our other hypothesis regarding a positive interconnection between mutual understanding and socio-cultural adaptation. We discuss our results considering theoretical and practical implications and outline subsequent studies.

**Keywords:** refugees, acculturation, socio-cultural adaptation, inter-ethnic friendships, intergroup contact theory

## 1. Introduction

Since 2015, around 2.3 million asylum seekers have applied for asylum in Germany, one third of whom were minors at the time of application (Bundesamt für Migration und Flüchtlinge, 2016). What factors promote socio-cultural adaptation for young refugees? Drawing on the contact hypothesis by Allport (1954), refugees' attitudes toward the mainstream society and feelings of integration are closely connected to experiences of inter-ethnic contact with natives. For instance, recent findings suggests that social support on the personal and societal level play a central role in young refugees' adaptation process (e.g., Motti-Stefanidi & Masten, 2020). However, research on peer relations in young refugees' adaptation is still scarce, yet pivotal for the work of social workers, teachers, and educators. Thus, **the present study examines links between young refugees' friendships with German peers and their socio-cultural adaptation in Germany.**



For our study, we relate to frameworks of acculturation (Bierwiazzonek & Kunst, 2021) and intergroup contact theory (Pettigrew & Tropp, 2008). Researchers commonly understand acculturation as “those phenomena which result when groups of individuals having different cultures come into continuous first-hand contact, with subsequent changes in the original cultural patterns of both groups.” (Redfield et al., 1936, p. 150). Young refugees have to connect both cultural spheres, and their way of integrating (or: dis-integrating) those cultural patterns influences their socio-cultural adaptation (Bierwiazzonek & Kunst, 2021). Pre-conditions of positive inter-cultural contacts have been described in Gordon Allport’s *contact hypothesis* (Allport, 1954). Pettigrew and Tropp both validated and extended the contact hypothesis by formulating the *intergroup contact theory* (ICT; Pettigrew & Tropp, 2006, 2008). According to the ICT, intergroup friendship appears the most promising way to reduce intergroup prejudice, as it “potentially invokes all four<sup>1</sup> mediating processes” (Pettigrew, 1998, pp. 75–76).

### 1.1 Socio-cultural adaptation and inter-ethnic friendships

Inter- and intra-ethnic friendships seem to serve different needs for young immigrants: friendships with ingroup members can be connected to the exploration of ethnic identity, whereas friendships with natives are important for socio-cultural adaptation (Jugert & Titzmann, 2020). Furthermore, inter-ethnic friendships have psychosocial benefits for immigrant adolescents (Graham et al., 2014). Yet these relations can be more demanding, and carry a higher risk of misunderstanding than same-ethnic friendships (Jugert, 2021). But what factors strengthen the prevalence and stability of inter-ethnic friendships? The present study exemplarily addresses social identification with the mainstream culture, mutual understanding in inter-ethnic friendships, and their influence on young refugees’ socio-cultural adaptation.

According to Tajfel and Turner’s (1986) *social identity theory*, individuals satisfy their need for positive self-esteem by their belonging to social groups. Current research shows how positive and negative experiences of social contact shape refugees’ social identification in Germany: when refugees experience discrimination, this can be reflected in more negative attitudes towards the mainstream society (Maiitah et al., 2018). Generally, both national and dual identification positively influence ethnic minority adolescents’ inter-ethnic friendships (Jugert et al., 2018). Thus, **it is expected that closer contact to mainstream society (e.g., by having more German friends) can be connected to a more positive identification with German mainstream culture, and consequently higher socio-cultural adaptation (H1).**

In an intergroup context, other-focused emotions, such as empathy or compassion, have been linked to behavioral tendencies (Harth et al., 2008). Mutual understanding is a crucial aspect of positive experiences within inter-ethnic encounters (Shelton & Richeison, 2006) and promotes inter-ethnic friendships (Jugert & Titzmann, 2020). Also, the ability to empathize is an essential factor for the longevity of inter-ethnic friendships (Jugert et al., 2013). Understanding the other as well as feeling understood can strengthen friendship bonds, which might explain young refugees’ adaptation. We

---

<sup>1</sup> Which are, according to Pettigrew and Tropp (2006): learning about the out-group, change of behavior, affective ties, and the ingroup’s reappraisal

therefore expect that, **if refugees report higher understanding in their inter-ethnic friendships, this should also be reflected in higher socio-cultural adaptation (H2).**

## 1.2 The present study

To promote social support and positive peer relations between refugees and native peers, it is important to examine these relations for a) theory development and b) the purpose of informing institutions involved in the joint education or schooling<sup>2</sup> of young refugees and their native peers. Thus, the present research explores associations between inter-ethnic friendships and socio-cultural adaptation for a sample of young refugees in Germany. Drawing on data of a preliminary subsample from a cross-sectional online survey, we report descriptive and correlational findings prior to the analysis of the above-mentioned hypotheses.

## 2. Method

### 2.1 Procedure and participants

As it was expected that the planned sample of young refugees (also, with sufficient language proficiency for German) would be difficult to reach, participants were recruited via snowball-sampling. For instance, we sent the call for participation to several local Telegram-groups<sup>3</sup>, migrant organizations, and integration projects in different German states. This resulted in a preliminary sample of 41 persons. In our call, we invited young adult refugees for participation who had come to Germany during their childhood or adolescence. Participants filled out an online survey in German language (anticipated duration: 10-20 min). They could voluntarily sign in for the drawing of a 25 Euro voucher among 50 participants each.

Of the 41 participants, the majority indicated Syria as their country of birth (48.8%), 6 participants came from the Ukraine (14.6%), and 2 from Afghanistan (4.9%). Ten other countries were named by one person each (2.4% each).<sup>4</sup> As their first language, 24 named Arabic (58.5%), four persons each named Ukrainian or Russian (9.8%), and three Persian (7.3%).<sup>5</sup> Most of the respondents indicated living in Germany since more than five years (65.9%), seven persons since two to five years (17.5%), and six since a year (15.0%). The gender distribution was rather balanced, with 19 persons each of male/female gender (46.3%), two non-binary persons (4.9%), and one trans person (2.4%). Respondents had a wide age range (17-47 years) with a mean of 30.2 years ( $SD = 7.7$ ).

---

<sup>2</sup> Although this study does not directly address adolescent refugees, it is assumed that young adult refugees' perspectives on their friendships with natives should as well be transferable to younger peers. In following studies, we will address inter-ethnic friendships in a school context, see also section 4. **Discussion.**

<sup>3</sup> In these local groups within the Telegram messenger, members share (im)material goods on a non-monetary basis – such as pleas to participate in scientific surveys.

<sup>4</sup> Which were: Iraq, Palestine, Sudan, Israel, Yemen, Yugoslavia, Russia, Saudi-Arabia, Germany, and Vietnam.

<sup>5</sup> Other languages as indicated by one person each (2.6%): German, Kurdish, Romanes/Serbo-Croatian, Vietnamese, and Wolof.

## 2.2 Measures

We created an online questionnaire via the SoSci Survey platform, with measures of young refugees' everyday experiences, adaptation, and socio-demographic background. Socio-cultural adaptation was assessed as the dependent variable. The number of German friends, mutual understanding, and national identification will be included as predictors. Results will be controlled for gender, age, duration of stay in Germany, and subjective socio-economic status (SES) as demographic background variables. For the subjective SES, participants were asked how they would perceive their financial situation in Germany (1=very bad, 5=very well).

*Socio-cultural adaptation* was measured using 4 items, adapted from a scale by Wilson et al. (2017). On a 5-point-scale (1=not easy at all, 5=very easy), participants rated how easy they would find different situations in Germany, e.g., "building and maintaining relationships".

Similar to an item by Beelmann et al. (2019), the *number of inter-ethnic friendships* was assessed by asking the respondents how many close friends of German origin they have (1=none, 2=one, 3=two, 4=three, 5=four or more). Prior to the item, "close friends" was defined as persons whom they would see often and do something together, regardless of the other person's gender.

*National identification* was assessed with four items developed by Leszczensky and Gräbs Santiago (2014) for the German context, for example "It bothers me when someone speaks badly about Germany" (1=totally disagree, 5=totally agree).

The two items for *mutual understanding* in inter-ethnic relations were developed by the authors, but inspired by items from a study on inter-ethnic understanding by Holoien et al. (2015). On a 5-point scale (1=not at all, 5=completely), participants rated how well a) they understand their German friends and b) how well they feel understood by them. The item was supplemented by an explanation that understanding is meant to be the ability of "knowing what the other persons/you think/s or feel/s".

## 2.3 Analytical strategy

In the latest version of our data set prior to submission (March 31, 2023), 41 participants had filled out the questionnaire. Hence, the application of inference statistics is somewhat limited. In the following, descriptive analyses, and correlation analyses (Spearman's rho – which is applicable to small samples) are reported. For the final presentation of our data, an increased sample size will enable linear regression and mediation analyses (for sample calculation, see section 3.2). For the present analysis, we used SPSS version 29.0.0.0.

### 3. Results

#### 3.1 Descriptives and correlational analyses

In Table 1, means, standard deviations, and intercorrelations (Spearman's rho) are reported for all included measures. The preliminary analysis of the relevant outcomes enables an approximation of the underlying associations. As expected for H1, the number of inter-ethnic friends correlated positively with socio-cultural adaptation ( $\rho = .028$ ). However, national identification correlated neither with the number of inter-ethnic friends ( $\rho = .217$ ) nor with socio-cultural adaptation ( $\rho = .334$ ). Instead, national identification was positively associated with felt understanding ( $\rho = .005$ ). As for our second hypothesis, felt and perceived understanding were positively interrelated ( $\rho < .001$ ), but neither of the factors showed a significant connection with socio-cultural adaptation (felt:  $\rho = .105$ , perceived:  $\rho = .180$ ). Interestingly, both variables correlated negatively with age (felt:  $\rho = .014$ , perceived:  $\rho = .015$ ) and were connected to a higher number of inter-ethnic friendships (felt:  $\rho = .018$ , perceived:  $\rho = .001$ ).

Of the other demographic variables, we also found some significant correlations. Male gender was associated with higher national identification ( $\rho = .017$ ) and lower subjective SES ( $\rho = .044$ ). Higher subjective SES was in turn correlated with higher national identification ( $\rho = .011$ ). Those refugees who reported to have lived in Germany for a while indicated having a higher number of inter-ethnic friendships ( $\rho = .015$ ).

**Table 1**

*Descriptives and intercorrelations for all included measures*

Variable	Descriptives			Correlations ( $n = 37$ )								
	$n$	$M$	$SD$	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Socio-cultural adaptation	41	3.2	0.9	.36*	.16	.27	.23	-.08	.03	.08	.01	
2. Number of inter-ethnic friends	41	3.3	1.6		.21	.39*	.52**	.04	-.08	.40*	-.04	
3. National identification	41	3.4	0.8			.45**	.27	-.39*	-.22	.06	.41*	
4. Felt understanding	38	3.5	1.0				.73**	.01	-.40*	.11	.25	
5. Perceived understanding	38	3.5	1.0					.10	-.40*	.24	.12	
6. Gender <sup>a</sup>	41	1.5	0.5						-.29	.06	-.33*	
7. Age	41	30.2	7.1							.03	.12	

8. Duration of residence <sup>b</sup>	40	6.1	1.8	.28
9. Subjective SES	41	3.0	0.9	

Note. \*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$

<sup>a</sup> 0= male, 1= female/diverse <sup>b</sup> 1=half a year, 2=one year, 3=two years, 4=three years, 5=four years, 6=five years, 7=more than five years

### 3.2 Power analyses for subsequent analyses

As to calculate sample sizes for a sufficiently powered analysis (95%) of our hypotheses, we used predictor correlations with the outcome socio-cultural adaptation. An estimation of sample sizes using G\*Power (version 3.1.9.7) for a linear multiple regression with a fixed model and  $R^2$  deviation from zero indicated required sample sizes of  $n_1 = 86$  (H1), and respectively  $n_2 = 113$  for H2. Thus, our final sample should contain a minimum of 113 participants.

## 4. Discussion

In a preliminary analysis of young refugees' responses to an online survey, we examined interrelations of national identification, mutual understanding within, as well as number of inter-ethnic friendships with socio-cultural adaptation. Prior to an analysis of the hypothesized linear regression models, we applied correlational analyses. As expected within H1, we found a positive interrelation between the number of inter-ethnic friendships and socio-cultural adaptation. Yet we did not find significant connections between national identification and the number of inter-ethnic friendships as it was present in other studies (e.g., Jugert et al., 2018), or respectively socio-cultural adaptation (Jugert & Titzmann, 2020). As for our second hypothesis, we did not find significant correlations between felt or perceived understanding and socio-cultural adaptation.

Although our research design and sample size do not allow to draw causal conclusions yet, our results enable an initial insight into young refugees' perspectives on inter-ethnic friendships and socio-cultural adaptation. Preliminary correlational analyses so far do not support our assumptions, still we found several interesting interrelations. Apparently, both felt and perceived understanding were connected to a higher number of inter-ethnic friendships. Thus, integrating mutual understanding into theoretical frameworks on inter-ethnic friendships appears a promising approach (Jugert et al., 2013).

However, interpretability of our findings remains limited. Power analyses suggested a minimum sample of 113 participants for a sufficiently powered examination of the hypothesized effects. Also, descriptive analyses of demographic background variables indicated that older refugees had also felt addressed by our inquiry. To avoid reducing the small sample further, we included older participants into our analysis. This likely impacted our results, as higher reports of felt and perceived understanding were connected to younger age. In subsequent analysis, an increased sample size should allow to control for age effects. Furthermore, we might as well apply a translated version of our questionnaire in order to reach younger, more recently arrived refugees as well.

In our presentation, we will be able to present an up-to-date, and higher-powered version of present analyses. Especially the findings on felt and perceived understanding will inform following research on the dynamics of inter-ethnic friendships. In subsequent studies, we delve deeper into mutual processes within inter-ethnic friendships. By drawing on research on inter-ethnic contact (e.g., Holoien et al., 2015), we apply a dyadic research design to deepen the understanding of optimal conditions for initial contacts between young refugees and native peers. Additionally, we apply a social network analysis of mutual understanding and inter-ethnic friendship in a sample of approximately 450 Thuringian students, drawn from a sample of 16 secondary schools.

Although researchers agree on the beneficial role of inter-ethnic friendships for the reduction of intergroup prejudice (Pettigrew & Tropp, 2008), and acculturative adaptation (Jugert & Titzmann, 2020), pre-conditions of optimal initial contact and persisting friendship require further research. In this preliminary examination of young refugees' responses, as well as in our subsequent studies, we aim to fill this gap. Furthermore, shifting focus from an individualistic approach to a relational perspective on young refugees' adaptation process appears a promising gateway (Motti-Stefanidi & Masten, 2020). By doing so, our research might further inform professionals in the design of school or social work interventions with a clearer focus on intergroup and peer relations.

## 5. References

- Allport, G. W. (1954). *The nature of prejudice*. Addison-Wesley.
- Beelmann, A., Dingfelder, J., Lutterbach, S., Noack, P., Schmidtke, F., & Schulz, A. (2019). *Integration erfolgreich gestalten: Einstellungen und Orientierungen syrischer Flüchtlinge in Thüringen*. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Bierwaczzonek, K., & Kunst, J. R. (2021). Revisiting the integration hypothesis: Correlational and longitudinal meta-analyses demonstrate the limited role of acculturation for cross-cultural adaptation. *Psychological Science, 32*(9), 1476–1493. <https://doi.org/10.1177/09567976211006432>
- Bundesamt für Migration und Flüchtlinge. (2016). *Das Bundesamt in Zahlen 2015: Asyl, Migration und Integration*. Bundesamt für Migration und Flüchtlinge. [https://www.bamf.de/SharedDocs/Anlagen/DE/Statistik/BundesamtinZahlen/bundesamt-in-zahlen-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=16](https://www.bamf.de/SharedDocs/Anlagen/DE/Statistik/BundesamtinZahlen/bundesamt-in-zahlen-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=16)
- Graham, S., Munniksma, A., & Juvonen, J. (2014). Psychosocial benefits of cross-ethnic friendships in urban middle schools. *Child Development, 85*(2), 469–483. <https://doi.org/10.1111/cdev.12159>
- Harth, N. S., Kessler, T., & Leach, C. W. (2008). Advantaged group's emotional reactions to intergroup inequality: The dynamics of pride, guilt, and sympathy. *Personality and Social Psychology Bulletin, 34*(1), 115–129. <https://doi.org/10.1177/0146167207309193>
- Holoien, D. S., Bergsieker, H. B., Shelton, J. N., & Alegre, J. M. (2015). Do you really understand? Achieving accuracy in interracial relationships. *Journal of Personality and Social Psychology, 108*(1), 76–92. <https://doi.org/10.1037/pspi0000003>
- Jugert, P. (2021). Interethnische Freundschaften: Wozu sie gut sind und wie wir sie fördern können. In A. Beelmann & L. S. Sterba (Eds.), *Sir Peter Ustinov Institut. Prävention und Bildung im Kindes- und Jugendalter: Vorurteilen begegnen, Toleranz stärken* (1st ed., pp. 98–113). Wochenschau Verlag.

- Jugert, P., Leszczensky, L., & Pink, S. (2018). The effects of ethnic minority adolescents' ethnic self-identification on friendship selection. *Journal of Research on Adolescence : The Official Journal of the Society for Research on Adolescence*, *28*(2), 379–395. <https://doi.org/10.1111/jora.12337>
- Jugert, P., Noack, P., & Rutland, A. (2013). Children's cross-ethnic friendships: Why are they less stable than same-ethnic friendships? *European Journal of Developmental Psychology*, *10*(6), 649–662. <https://doi.org/10.1080/17405629.2012.734136>
- Jugert, P., & Titzmann, P. F. (2020). Developmental tasks and immigrant adolescent's adaptation. In D. Güngör & D. Strohmeier (Eds.), *Contextualizing immigrant and refugee resilience* (pp. 33–50). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42303-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42303-2_3)
- Leszczensky, L., & Gräbs Santiago, A. (2014). *Die Messung ethnischer und nationaler Identität von Kindern und Jugendlichen*. Mannheimer Zentrum für Europäische Sozialforschung. Arbeitspapiere - Working papers. <http://www.mzes.uni-mannheim.de/publications/wp/wp-155.pdf>
- Maiitah, W., Harth, N., & Kessler, T. (2018). Wie Wasser und Öl, wir mischen uns nicht: Eine sozialpsychologische Analyse sozialer Diskriminierung anhand von Aussagen geflüchteter Menschen in Deutschland. In A. Rohmann & S. Stürmer (Eds.), *Beiträge zur Angewandten Psychologie: Band 2. Die Flüchtlingsdebatte in Deutschland - Sozialpsychologische Perspektiven* (pp. 127–143). Peter Lang.
- Motti-Stefanidi, F., & Masten, A. S. (2020). Immigrant youth resilience: Integrating developmental and cultural perspectives. In D. Güngör & D. Strohmeier (Eds.), *Contextualizing immigrant and refugee resilience* (pp. 11–32). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42303-22>
- Pettigrew, T. F. (1998). Intergroup contact theory. *Annual Review of Psychology*, *49*, 65–85. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.49.1.65>
- Pettigrew, T. F., & Tropp, L. R. (2006). A meta-analytic test of intergroup contact theory. *Journal of Personality and Social Psychology*, *90*(5), 751–783. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.5.751>
- Pettigrew, T. F., & Tropp, L. R. (2008). How does intergroup contact reduce prejudice? Meta-analytic tests of three mediators. *European Journal of Social Psychology*, *38*(6), 922–934. <https://doi.org/10.1002/ejsp.504>
- Redfield, R., Linton, R., & Herskovits, M. J. (1936). Memorandum for the study of acculturation. *American Anthropologist*, *38*(1), 149–152.
- Shelton, J. N., & Richeson, J. A. (2006). Interracial interactions: A relational approach. In M. P. Zanna (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology. Advances in Experimental Social Psychology Volume 38* (Vol. 38, pp. 121–181). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(06\)38003-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(06)38003-3)
- Tajfel, H., & Turner, J. C. (1986). The social identity theory of intergroup behavior. In W. G. Austin & S. Worchel (Eds.), *Psychology of intergroup relations* (2nd ed., pp. 7–24). Brooks/Cole.
- Wilson, J., Ward, C., Fetvadjeiev, V. H., & Bethel, A. (2017). Measuring cultural competencies: The development and validation of a revised measure of sociocultural adaptation. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *48*(10), 1475–1506. <https://doi.org/10.1177/0022022117732721>

# Lehren und Lernen qualitativer Forschung im Wandel: Transformationsprozesse, Anwendungszusammenhänge und Desiderate

Christoph Stamann, Emily Grace Lehwald, Paul S. Ruppel

Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

## Abstract

In diesem Beitrag wird das Feld des Lehrens und Lernens qualitativer Forschung vor dem Hintergrund zentraler Transformationsprozesse wie Digitalisierung, Didaktisierung und Institutionalisierung diskutiert. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf Spannungsfelder der Etablierung digitaler Lehr-/Lernarrangement gelegt. Anschließend werden mit dem Erwerb von Schlüsselkompetenzen und dem Anfertigen qualitativer Qualifikationsarbeiten zwei zentrale Anwendungszusammenhänge vorgestellt sowie abschließend Desiderate in der Gestaltung von Lehr-/Lernarrangements im Bereich qualitativer Forschung herausgestellt.

## 1. Lehren und Lernen qualitativer Forschung: Transformative Tendenzen

Derzeit erleben die qualitative Forschung und die Lehre einen Digitalisierungsschub. Digital angereicherte Lehre ist in den letzten Jahren zum Normalfall geworden (Pfaff & Tervooren, 2020). Für die qualitative Forschung lässt sich zudem seit einigen Jahren eine zunehmende Auseinandersetzung mit dem Thema Lehren und Lernen feststellen (Mey, 2008; Schreier & Breuer, 2020; Schreier & Ruppel, 2021). Hierbei handelt es sich jedoch um schleichende und nicht kanonisierte Didaktisierungsprozesse, nicht zuletzt da (teils stark strukturierende) Didaktisierungsansprüche bei qualitativer Forschung und ihrer Lehre auf ein Feld treffen, in dem traditionell Offenheit, (Selbst-)Reflexivität und selbstgesteuerte Lernprozesse betont werden und qualitative Forschungsansätze zudem in ihrer „Instruktionalität“ variieren (Kühlmeier et al., 2020).

Qualitative Forschung und ihre Lehre sind weiterhin sehr heterogen und bisweilen eigeninitiativ-informell gestaltet. Beispielhaft seien die vielen qualitativ-methodischen Forschungswerkstätten ohne institutionelle Anbindung genannt, die ganz selbstverständlich neben solchen mit institutioneller Anbindung existieren<sup>1</sup> oder auch das Netzwerk aus Lehrwerkstätten, welches sich 2022 formiert hat<sup>2</sup>. Gleichzeitig entwickeln sich starke Formen der Institutionalisierung wie u.a. die Etablierung von Methodenzentren an Hochschulen (Kalkstein & Mey, 2021) oder von außerhochschulischen, gemeinnützigen wie auch kommerziellen Anbietern. Diese Entwicklungen werfen u.a. die Frage auf, wie diese sich einerseits zu Schulen qualitativer Forschung verhalten und inwiefern sie andererseits als Katalysator hin zu einer veränderten Landschaft qualitativer Forschung fungieren, in der es „keine [...] klaren Schulen [mehr gibt]“ (Reichertz, 2017, S. 75).

---

<sup>1</sup> Eine „Übersicht Forschungswerkstätten im deutschsprachigen Raum“ findet sich unter <https://qualitative-forschung.de/uebersicht-forschungswerkstaetten/>

<sup>2</sup> <https://qualitative-forschung.de/lehrwerkstaetten/>



Auf Grundlage dieser Transformationsprozesse sehen wir folgende Spannungsfelder der Etablierung digitaler Lehr-/Lernarrangement im Feld qualitativer Forschung:

- Anspruch nach Kanonisierung der Forschungsmethoden vs. zunehmende Pluralisierung des Feldes (Mey, 2016),
- Fokus auf Erlernen methodisch-technischen Wissens vs. Bedeutung der Enkulturation sowie der Einübung eines forschenden bzw. wissenschaftlichen Habitus (Straub et al., 2020, S. 10ff.),
- Gestaltung disziplinübergreifend transferierbarer vs. individualisierter und personenzentrierter Lehr-/Lernarrangements,
- Digitalisierung der Lehr-/Lernarrangements vs. Priorisierung leiblicher Ko-Präsenz und analoger Verfahren (Reichertz, 2021) sowie
- didaktische Vorstrukturierung institutionalisierter Lernprozesse vs. Betonung von Offenheit, (Selbst-)Reflexivität und selbstgesteuerten Lernprozessen.

Die dargestellten Transformationsprozesse und die mit diesen einhergehenden Spannungsfelder können allenfalls analytisch getrennt betrachtet werden. *De facto* vollziehen sie sich in Form komplexer Wechselbeziehungen und bedingen einander, so z.B. im Rahmen institutionalisierter didaktischer Weiterbildungsangebote an Hochschulen, die zunehmend digital stattfinden und gleichzeitig digitale Lehr-/Lernsettings zum Gegenstand haben. Erkennbar wird ein stark ausdifferenziertes Feld des Lehrens und Lernens qualitativer Forschung, welches Lehrende mit vielfältigen und didaktisch teils folgenreichen Entscheidungsnotwendigkeiten konfrontiert.



Abbildung 1: Entscheidungsdimensionen bei der Planung von Lehrveranstaltungen zu qualitativer Forschung

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, können bei der Planung von Lehrveranstaltungen zu qualitativer Forschung unterschiedliche Entscheidungsdimensionen angelegt werden. Neben der Wahl des Veranstaltungsformats und dessen raum-zeitlicher Gestaltung umfassen diese die genutzten grundlegenden didaktischen Strategien, die sich nach Schreier und Ruppel (2021) und in Anlehnung an Kilburn et al. (2014) als traditionell, aktivierend und forschungsbasiert differenzieren lassen sowie die leitenden didaktischen Konzepte wie bspw. Forschendes Lernen, Inverted Classroom und Problembasiertes Lernen. Nicht zuletzt adressieren die Entscheidungsdimensionen auch die Fragen nach dem in der jeweiligen Veranstaltung vertretenen Grundverständnis qualitativer Forschung, das sich nach Breuer und Schreier (2007) entlang der Pole pragmatisch vs. paradigmatisch verorten lässt. Hinzu kommen hier nicht abgebildete Aspekte wie Medientechnik, Art und Rhythmus der Betreuung sowie Form und Modus der Prüfung.

Eine zentrale Herausforderung besteht letztlich darin, im Rahmen sich vollziehender Transformationsprozesse des Lehrens und Lernens qualitativer Forschung (Stamann et al., 2023/in Vorbereitung) Lehr-/Lernarrangements zu entwerfen, die in enger Wechselbeziehung mit einer dynamischen und vielgestaltigen Forschungspraxis sowie zu spezifischen, teils komplementären Anwendungszusammenhängen stehen. Zwei dieser Anwendungszusammenhänge skizzieren wir im Folgenden.

## **2. Anwendungszusammenhänge: Schlüsselkompetenzen und Abschlussarbeiten**

Qualitative Forschung zu lehren und zu lernen bietet mehr als die Aneignung von Methodenwissen. Die Vermittlung und Aneignung nicht nur des methodisch-technologischen Wissens, sondern gerade der theoretisch-methodologischen Grundlagen und Prinzipien qualitativer Forschung wie Offenheit, Fremdheit, Kommunikation und Reflexivität (Helfferich, 2011; Mey & Ruppel, 2018), eröffnet Studierenden vielmehr Chancen für den Erwerb von fächerübergreifenden bzw. Schlüsselkompetenzen. Besonders Fähigkeiten des Perspektivwechsels, der Ambiguitätstoleranz, selbstreflexive Denk-, Urteils- und Handlungsfähigkeiten sowie Kompetenzen für das Handeln in kulturell, sozial und generationen heterogenen Gruppen, für Gesprächsführung, Moderation und den Umgang mit Medien können in der Auseinandersetzung mit qualitativer Forschung erworben werden. Ergänzend können Fähigkeiten im Bereich der Selbstorganisation, der Projektgestaltung und im Umgang mit Unsicherheiten und offenen Prozessen ausgebaut werden. (vgl. zu den einzelnen potenziell zu erwerbenden Kompetenzen u.a. Dausien, 2007; Fuhrmann et al., 2021; Kanter & Mey, 2021; Mey 2008; Raab et al., 2021; Ruppel, 2020; Schreier & Breuer, 2020, die trotz jeweiliger Akzentuierungen eine große Schnittmenge der Schlüsselkompetenzen kenntlich werden lassen.)

Während der Schlüsselkompetenzerwerb tendenziell als zusätzliches Potenzial der Auseinandersetzung mit qualitativer Forschung mit nur eingeschränkter Relevanz für Prüfungsleistungen erscheint, stellen qualitative Qualifikationsarbeiten für Studierende in vielen Fällen einen auch studienerefolgsbezogenen Kulminationspunkt ihrer Auseinandersetzung mit qualitativer Forschung dar. Sie bilden zugleich den Höhepunkt eines methodisch-methodologischen Selektionsprozesses, der schon in Einführungsveranstaltungen aufgrund der Vielgestaltigkeit und Komplexität qualitativer Forschung initiiert wird. Vertiefenden Forschungsseminaren in höheren Semestern ist aufgrund ihrer forschungspraktischen Ausrichtung qua Definition eine weitere Selektionsnotwendigkeit eingeschrieben. Folglich sehen sich Studierende – so es diese forschungspraktischen

Lehrveranstaltungen in ihrem Studium überhaupt gibt – im Zuge einer qualitativ-empirischen Qualifikationsarbeit der Herausforderung gegenüber, zum ersten Mal einen qualitativen Forschungsprozess eigenverantwortlich zu planen, zu gestalten, durchzuführen und zu dokumentieren. Soll dabei Gütekriterien qualitativer Forschung wie etwa der Gegenstandsangemessenheit (Steinke, 2015) hinreichend Rechnung getragen werden, erfordert dies mitunter Methoden einzubeziehen, mit denen Studierende in ihrem Studium nicht oder nur kaum in Berührung gekommen sind.

### **3. Die virtuelle Lernumgebung Q|Port als Schnittstelle zwischen digitalen Lehr-/Lernmaterialien, Beratung und Austausch**

Vor diesem Hintergrund werden im Lehr-Lern-Labor „qualitativ\_diskursiv\_digital“<sup>3</sup>, Teil des an der Hochschule Magdeburg-Stendal angesiedelten Projekts „h<sup>2</sup>d<sup>2</sup> – didaktisch und digital kompetent Lehren und Lernen“, digitale und digital angereicherte Angebote zur Vermittlung und Aneignung qualitativer Forschung entwickelt, die einzeln nutzbar und gleichsam systematisch konzipiert sind, um die qualitative Methodenlehre insgesamt zu stärken. Grundsätzlich werden eine einfache Dichotomie Präsenz vs. Digital zurückgewiesen und vielmehr physisch und virtuell synchrone Formate mit asynchronen virtuellen Angeboten verknüpft. Eine didaktische Grundlage stellt das Constructive Alignment (Biggs & Tang, 2011) dar, um Lernziele und -aktivitäten sowie Prüfungsformen aufeinander abzustimmen. Zu den Angeboten gehören für Lehrende die Peer-to-Peer-Forschungswerkstatt „qualitativ\_diskursiv“, die als fachgebiets- und standortübergreifendes Fachforum zu einem kontinuierlichen Austausch über qualitative Methoden in Forschung und Lehre dient (Kanter & Mey, 2021). Diese wird um individuelle Beratungsangebote sowie Weiterbildungsworkshops zur Didaktik qualitativer Forschung ergänzt.

Als ein von Studierenden und Lehrenden flexibel einsetzbares Lehr-/Lernarrangement wird die virtuelle Lernumgebung „Q|Port“ (Portal QUALITATIV – forschen. lernen. lehren.) entwickelt. Sie bietet Studierenden generell und insbesondere hinsichtlich des Verfassens einer qualitativen Qualifikationsarbeit Unterstützung und Lehrenden Handreichungen für die Gestaltung der Lehre und des Begleitungs- und Betreuungsprozesses von Arbeiten. Q|Port vereint folgende Elemente:

- den „Methoden|Kompass“ mit einer Vielzahl an Materialien zum Einsatz in Lehrveranstaltungen oder zum selbstgesteuerten Lernen,
- die „Schreib|Zeit“ mit Videokonferenzraum und schreibdidaktischen Hinweisen zur autonomen Gestaltung von Schreibsitzungen,
- die „Online|Kurse“ mit digitalen Selbstlerneinheiten,
- den „Fragen|Pool“ mit Antworten auf häufig gestellte Fragen,
- den Bereich „Abschluss|Arbeit“ mit einer Reihe an Informationen und Dokumenten, die bei der Anfertigung einer qualitativen Abschlussarbeit unterstützen sowie
- „Sup|Port“ als Anlaufpunkt und Buchungsplattform für individuelle Beratung in Form einer virtuellen Sprechstunde. Zudem bietet sie die Möglichkeit zur Mitbestimmung bei der thematischen Ausgestaltung der Veranstaltungsreihe „h<sup>2</sup>|Methoden-Meetings“, welche häufig nachgefragte Themen qualitativer Forschung in einem einführenden und dialogischen Workshop-Format behandelt.

---

<sup>3</sup> Leitung des qualitativ\_diskursiv\_digital-Labors Günter Mey; wissenschaftliche Mitarbeiter Christoph Stamann und Paul S. Ruppel

In diesem Gefüge werden Strukturen und Angebote etabliert und ausgebaut, die eine individuelle Aneignung qualitativer Forschung, aber auch werkstattförmiges Arbeiten sowohl offline, als auch online und hybrid fördern und flankieren. Beides eröffnet Potenziale sowohl für den Schlüsselkompetenzerwerb (Fuhrmann et al., 2021; Mey, 2021) als auch für die Bearbeitung forschungspraktischer Herausforderungen und Unsicherheiten im Zuge von qualitativ-empirischen Qualifikationsarbeiten.

Q|Port ist dabei kein linearer, einem konkreten Pfad folgender Selbstlernkurs, sondern offeriert unterschiedliche Formate, Materialien und Angebote, die sich für verschiedene Anwendungszusammenhänge lehrenden- und studierendenseits kombinieren und kompilieren lassen. So kann im Rahmen von Qualifikationsarbeiten die Beratung Anstoß zur weitergehenden Auseinandersetzung mit methodischen oder forschungspraktischen Fragen sein, für welche der Methoden|Kompass einführende und vertiefende Materialien bietet. Der Bereich Abschluss|Arbeit wiederum kann helfen, im Zuge der Anfertigung einer qualitativen Abschlussarbeit aufkommende Fragen selbständig zu klären und die zeitlich kontingentierte Beratungen gewinnbringend zu nutzen. So findet sich in diesem Bereich z.B. ein Dokument, aus dem ein idealtypischer Aufbau sowie damit verknüpfte Anforderungen an die inhaltliche Ausgestaltung einer qualitativen Arbeit hervorgehen („Leitfaden für eine qualitative Abschlussarbeit“). Ein anderes Beispiel ist der „Planungsbogen für eine qualitative Abschlussarbeit“, ein Instrument zur Dokumentation und Reflexion des eigenen methodischen Vorgehens, welches auch als Besprechungsgrundlage in den virtuellen Sprechstunden zum Einsatz kommt und als Orientierung für Gespräche mit Betreuenden genutzt werden kann.

Bei der Entwicklung von Q|Port war und ist die Berücksichtigung der eingangs genannten Spannungsfelder der Etablierung digitaler Lehr-/Lernarrangements im Feld qualitativer Forschung bedeutsam. Ein Leitgedanke der Entwicklungsarbeit ist, dass die Bereitstellung digitaler Lehr-/Lernmaterialien auf einer Lernumgebung allein keine angemessene Antwort bieten kann. Nach unserem Verständnis vermögen es nur systematisch abgestimmte digitale, analoge und hybride Angebote, im sich ergänzenden Zusammenspiel auf die in den Spannungsfeldern zum Ausdruck kommenden konkurrierenden Perspektiven und Ansprüche zu antworten, ohne diese indes in eine Richtung auflösen zu können. Daher ist Q|Port als Schnittstelle zwischen digitalen Lehr-/Lernmaterialien sowie Beratungs-, Veranstaltungs- und Austauschangeboten konzipiert, die sich sowohl an Lernende als auch Lehrende richten. Diese verschränkte Angebotsstruktur flankiert wiederum die an der Hochschule Magdeburg-Stendal curricular verankerte qualitative Methodenlehre in mehreren Studiengängen.

Folgende Erkenntnisse im Sinne von ‚lessons learned‘ haben sich in der bisherigen Entwicklung von Q|Port im Umgang mit den Spannungsfeldern herauskristallisiert:

- Es bedarf sowohl Lehr-Lern-Angeboten, die als erste pointierte Orientierung bestehende Kanonisierungen im Feld qualitativer Forschungsmethoden kartieren, als auch parallel solcher, welche die zunehmende Pluralisierung erfassbar, besser noch erfahrbar machen.
- Methodisch-technisches Wissens kann zwar in weiten Teilen auf Grundlage von Selbstlernangeboten, wie sie Q|Port bereithält, angeeignet werden, die Einübung eines forschenden Habitus wird jedoch schwerlich als solitäres Unterfangen ohne die Teilhabe an gemeinsam (auch in leiblicher Ko-Präsenz) geführten Diskursen und

gestalteter Praxis gelingen, wie dies etwa in Lehrforschungsprojekten und Forschungs- (vgl. hierzu etwa Allert et al., 2014; Fuhrmann et al., 2021; Ruppel, 2020) bzw. Projektwerkstätten (Mey, 2021; Mruck & Mey, 1998) verwirklicht wird.

- Die Didaktisierung des Lehrens und Lernens qualitativer Forschung kann nicht schablonenhaft und mittels stark standardisierter Lösungen erfolgen, sondern muss flexibel und situativ anpassbare Wege aufzeigen, sollen die erwähnten und für qualitative Forschung zentralen Prinzipien wie Offenheit und (Selbst-)Reflexivität (Mruck & Mey, 2019) bewahrt und an der Einsicht in die Kontingenz und Relationalität forschenden Handelns (Straub & Ruppel, 2023) festgehalten werden.

#### 4. Desiderate und Ausblick

Die skizzierten Transformationsprozesse sind ihrerseits in sich wandelnde Forschungs- und Organisationskulturen sowie gesellschaftliche Veränderungen und Diskurse eingebettet. Damit stellt sich die Frage nach den (Mit-)Gestaltungspotenzialen durch die direkt mit den Transformationen konfrontierten respektive in diese involvierten Personengruppen, Institutionen, Anbietenden von Produkten und Dienstleistungen (u.a. Studierende, Lehrende, Hochschulen, institutionalisierte Weiterbildungsanbieter). Eingebettet in einen größeren Zusammenhang, lässt sich dies auf die Frage zuspitzen, wie die beteiligten Akteur:innen die Transformationsprozesse nicht als Widerfahrnis, sondern als Gestaltungsspielraum für gute Bildung erleben können. Der Zielhorizont ist dabei die gemeinsame Anstrengung, über Hierarchien, Fächer- und Hochschulgrenzen hinweg die Lehre und das Lernen qualitativer Forschung den unterschiedlichen Gegenständen, Forschungszugängen und Lehr-, Lern- sowie Fachkulturen angemessen weiterzuentwickeln. Für die Weiterentwicklung der in diesem Beitrag skizzierten Lehr-/Lernarrangements im Bereich qualitativer Forschung erscheint es essenziell, die Strukturen und Angebote in engem Austausch mit Studierenden und Lehrenden auszudifferenzieren, um sie zielgruppenadäquat zu gestalten, ihre Nutzungshäufigkeit zu erhöhen und hierdurch den Kreis der Akteur:innen, die sich in den Prozess der Weiterentwicklung einbringen, zu erweitern. Hierfür müssen zielgerichtete und gleichsam offene sowie iterativ fortschreitende Prozesse ermöglicht werden. Für die Entwicklung der Lehre und des Lernens qualitativer Forschung bedarf es demnach ähnlicher Prozesse, wie sie sich für qualitative Forschung selbst schon bewährt haben.

#### Quellen

Allert, T., Dausien, B., Mey, G., Reichertz, J., Riemann, G. (2014). Forschungswerkstätten – Programme, Potenziale, Probleme, Perspektiven. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Analysen und Diskussionen – 10 Jahre Berliner Methodentreffen*. Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05538-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05538-7_15)

Breuer, F., & Schreier, M. (2007). Zur Frage des Lehrens und Lernens von qualitativ-sozialwissenschaftlicher Forschungsmethodik. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 8(1), Art. 30. <https://doi.org/10.17169/fqs-8.1.216>

Biggs, J. & Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University* (4<sup>th</sup> ed.). Open University Press/McGraw Hill.

Dausien, B. (2007). Reflexivität, Vertrauen, Professionalität. Was Studierende in einer gemeinsamen Praxis qualitativer Forschung lernen können. Diskussionsbeitrag zur FQS-Debatte „Lehren und Lernen der Methoden qualitativer Sozialforschung“. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 8(1). <https://doi.org/10.17169/fqs-8.1.220>

Fuhrmann, L., Mey, G., Stamann, C. & Janssen, M. (2021). Forschungswerkstätten als Orte des Schlüsselkompetenzerwerbs. In A. M. Kunz, G. Mey, J. Raab & F. Albrecht (Hrsg.), *Qualitativ Forschen als Schlüsselqualifikation. Prämissen – Praktiken – Perspektiven* (S. 175–200). Beltz Juventa.

Helfferrich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. VS Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>

Kalkstein, F. & Mey, G. (2021). Methoden im Zentrum! Methoden ins Zentrum? Potenziale und Grenzen universitärer Methodenzentren für die Erweiterung der qualitativen Methodenausbildung. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 22(2), Art 26. <https://doi.org/10.17169/fqs-22.2.3736>

Kanter, H. & Mey, G. [mit Kurzbeiträgen von C. Dreke, R. Hajji, A. Hofmeister, B. Hungerland, S. Köchy & J. Heßmann, H. Stecklum] (2021). Herausforderungen, qualitative Forschungsmethoden zu lehren/lernen. Ansprüche, Spezifika und Lösungswege zum Erwerb von Schlüsselqualifikationen an Hochschulen der angewandten Wissenschaft. In A. M. Kunz, G. Mey, J. Raab & F. Albrecht (Hrsg.), *Qualitativ Forschen als Schlüsselqualifikation. Prämissen – Praktiken – Perspektiven* (S. 26–51). Beltz Juventa.

Kilburn, D., Nind, M., & Wiles, R. (2014). Learning as Researchers and Teachers: The Development of a Pedagogical Culture for Social Science Research Methods? *British Journal of Educational Studies*, 62(2), 191–207. <https://doi.org/10.1080/00071005.2014.918576>

Kühlmeier, K., Muckel, P. & Breuer, F. (2020). Qualitative Inhaltsanalysen und Grounded-Theory-Methodologien im Vergleich: Varianten und Profile der "Instruktionalität" qualitativer Auswertungsverfahren. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 21(1), Art. 22. <https://doi.org/10.17169/fqs-21.1.3437>

Mey, G. (2008). Lehre (in) der Qualitativen Forschung – eine Leerstelle? *Journal für Psychologie*, 16(1). <https://journal-fuer-psychologie.de/article/view/194>

Mey, G. (2016). Qualitative Forschung: Zu einem Über(be)griff und seinen (Ver)wendungen. *Zeitschrift für Qualitative Forschung*, 17(1–2), 185–197. <https://doi.org/10.3224/zqf.v17i1-2.25550>

Mey, G. (2021). Qualitative Forschung findet immer in Gruppen statt. Das ist nicht einfach, aber produktiv – Reflexionen zur „Projektwerkstatt qualitatives Arbeiten“. In C. Detka, H. Ohlbrecht & S. Tiefel (Hrsg.), *Anselm Strauss – Werk, Aktualität und Potentiale. Mehr als nur Grounded Theory* (S. 125–144). Verlag Barbara Budrich.

Mey, G. & Ruppel, P. S. (2018). Qualitative Forschung. In O. Decker (Hrsg.), *Sozialpsychologie und Sozialtheorie. Bd. 1: Zugänge* (S. 205–244). Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19564-3>

Mruck, K. & Mey, G. (1998). Selbstreflexivität und Subjektivität im Auswertungsprozeß biographischer Materialien – zum Konzept einer „Projektwerkstatt qualitativen Arbeitens“ zwischen Colloquium, Supervision und Interpretationsgemeinschaft. In G. Jüttemann & H. Thomae (Hrsg.), *Biographische Methoden in den Humanwissenschaften* (S. 284–306). Beltz/PVU. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-1200>

Mruck, K. & Mey, G. (2019). Grounded Theory Methodology and Self-Reflexivity in the Qualitative Research Process. In A. Bryant & K. Chamaz (Eds.), *The SAGE Handbook of Current Developments in Grounded Theory* (pp. 470–496). Sage. <https://doi.org/10.4135/9781526485656>

Pfaff, N. & Tervooren, A. (2020). Editorial. *Zeitschrift für Qualitative Forschung*, 21(2), 157–161. <https://doi.org/10.3224/zqf.v21i2.01>

- Raab, J., Mey, G., Kunz, A. M. & Albrecht, F. (2021). Schlüsselqualifikationen und qualitative Forschung – Einführende Bemerkungen. In A. M. Kunz, G. Mey, J. Raab & F. Albrecht (Hrsg.), *Qualitativ Forschen als Schlüsselqualifikation. Prämissen – Praktiken – Perspektiven* (S. 7–23). Beltz Juventa.
- Reichertz, J. (2017). Neues in der qualitativen und interpretativen Sozialforschung? *Zeitschrift für Qualitative Forschung*, *18*(1), 71–89. <https://doi.org/10.3224/zqf.v18i1.06>
- Reichertz, J. (2021). Die coronabedingte Krise der qualitativen Sozialforschung. *Soziologie*, *50*(3), 313–335.
- Ruppel, P. S. (2020). Die Forschungswerkstatt als kooperatives Lehr-Lern-Arrangement: Potenziale und Herausforderungen einer hybriden Form der On- und Offline-Zusammenarbeit. *Zeitschrift für Qualitative Forschung*, *21*(2), 217–232. <https://doi.org/10.3224/zqf.v21i2.05>
- Schreier M. & Breuer F. (2020). Lehren und Lernen qualitativer Forschungsmethoden. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Band 2: Designs und Verfahren* (2., akt. u. erw. Aufl., S. 265–289). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-26887-9\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-658-26887-9_32)
- Schreier, M. & Ruppel, P. S. (2021). Entwicklungspotenziale im Lehren und Lernen qualitativer Forschungsmethoden in den Sozialwissenschaften. In M. Dietrich, I. Leser, K. Mruck, P. S. Ruppel, A. Schwentesius & R. Vock (Hrsg.), *Begegnen, Bewegen und Synergien stiften: Transdisziplinäre Beiträge zu Kulturen, Performanzen und Methoden* (S. 325–342). Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-33632-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-658-33632-5_18)
- Stamann, C., Ruppel, P. S. & Mey, G. (Hrsg.). (2023/in Vorbereitung). Transformationen des Lehrens und Lernens qualitativer Forschung. *Journal für Psychologie*, *31*(2).
- Steinke, I. (2015). Gütekriterien qualitativer Forschung. In U. Flick, E. von Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (11. Aufl., S. 319–331). Rowohlt.
- Straub, J. & Ruppel, P. S. (2023). Relationale Hermeneutik: Theoretisch-methodologische Systematisierungen interpretativer Forschung. In U. Wolfradt, L. Allolio-Näcke & P. S. Ruppel (Hrsg.), *Kulturpsychologie – Eine Einführung* (S. 157–172). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-37918-6\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-658-37918-6_15)
- Straub, J., Ruppel, P. S., Plontke, S. & Frey, B. (2020). Forschendes Lernen als Lern- und Lehrformat – Prinzipien und Potentiale zwischen Wunsch und Wirklichkeit. In J. Straub, S. Plontke, P. S. Ruppel, B. Frey, F. Mehrabi & J. Ricken (Hrsg.), *Forschendes Lernen an Universitäten. Prinzipien, Methoden, Best-Practices an der Ruhr-Universität Bochum* (S. 3–59). Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-30828-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-30828-5_1)

# Qualitätsmessung von transdisziplinären Forschungsprojekten: Zwischen gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Wirkungen

## Assessing the quality of transdisciplinary research projects: among societal and scientific impact

Gabriela Michelini, Katharina Lange

aF Urbane Zukunft, Fachhochschule Potsdam, Kiepenheuerallee 5, Haus 4, Raum 3.13a, 14469 Potsdam

### Abstract

Transdisziplinäre Forschung (TD) ist ein Forschungsmodus, bei der verschiedene Formen des Wissens – die nicht zwangsläufig wissenschaftlich sind – in die Bearbeitung von Fragestellungen zu hybriden und komplexen gesellschaftlichen Problemen integriert werden. Hieraus ergibt sich eine doppelte methodologische Herausforderung:

Zum einen kommen in der TD disziplinäre Forschungsmethoden zum Einsatz. Diese gelten in den jeweiligen (inter-)disziplinären Kontexten, in denen sie entwickelt wurden, als valide und stellen somit eine Voraussetzung für die Qualitätssicherung der Forschung. Zum anderen werden in der TD auch kreative Methoden eingesetzt, die drei unterschiedliche Arten von Wissen systematisch verarbeiten und integrieren können.

Für die Validierung von Forschungsergebnissen, die im Rahmen disziplinärer Forschungsmethoden erzielt wurden, bestehen einige Standards, die jedoch teilweise kontrovers diskutiert werden. Hierzu zählen z. B. Validität, Objektivität und Repräsentativität für die quantitative Forschung oder Reichweite, Transparenz und Intersubjektivität für die qualitative Forschung. Für die Bewertung der Validität von Ergebnissen, die mit kreativen Methoden erzielt wurden, bestehen hingegen weit weniger definierte Standards. Hieraus ergibt sich die Frage, wie die wissenschaftliche und gesellschaftliche Qualität von transdisziplinären Forschungsergebnissen sichergestellt werden kann.

Diese Fragestellung liegt unserer derzeitigen Studie in einer Arbeitsgruppe am Institut für angewandte Forschung Urbane Zukunft (IaF) an der Fachhochschule Potsdam zugrunde. Obwohl es noch keine einheitlichen Standards gibt, haben sich bereits eine Vielzahl an früheren TD-Projekten mit der Frage der Qualitätsmessung befasst und dabei jeweils eigene Kriterien entwickelt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser bereits bestehenden Arbeiten sind wir dabei, ein Instrument zur Selbstevaluierung zu entwickeln, das die Qualität der transdisziplinären Integration in TD-Forschungsprojekten bewerten kann.

In diesem Beitrag stellen wir unsere Methodik vor und geben einen kurzen Überblick über den Stand unserer Forschung und unserer vorläufigen Ergebnisse. Im Rahmen unserer Forschung haben wir eine umfangreiche systematische Literaturrecherche durchgeführt, die Journal-Artikel, Buchkapitel und Konferenzveröffentlichungen umfasst, die in der Datenbank SCOPUS katalogisiert sind. Die Schlüsselwörter und Parameter, die



für die systematische Literaturrecherche verwendet wurden, basierten auf der vorherigen Analyse einschlägiger Literatur der Arbeitsgruppe "Rigour" innerhalb der „International Transdisciplinary Alliance“.

Die untersuchte Literatur präsentiert nicht nur eine Vielzahl von Beobachtungskategorien für die Bewertung der Qualität von TD-Projekten, sondern auch unterschiedliche Formen und Herangehensweisen für die Evaluierung. Im nächsten Schritt haben wir die in der Literatur vorgeschlagenen Konzepte, Indikatoren, Frameworks und Kriteriensets mit unseren Erfahrungen im TD-Projekt SmartUpLab verglichen. Das Projekt wurde von 2020 bis 2022 an der FH Potsdam umgesetzt und befasste sich mit der partizipativen Entwicklung und Erprobung eines digitalen Tools für die Mobilitätsplanung in Potsdam und verfolgte dabei einen Reallabor-Ansatz.

Auf der Grundlage dieses Abgleichs konnte festgestellt werden, dass es einige grundsätzliche Parameter im Bereich der Evaluierung transdisziplinärer Ansätze gibt, die sich in einem großen Teil der Literatur wiederfinden lassen. Diese beziehen sich auf die folgenden Kategorien zur Bewertung und Evaluierung:

**Berücksichtigung der Grundsätze transdisziplinärer Forschung:** Es sollte überprüft werden, ob das Projektdesign grundsätzlich für TD geeignet ist. Zu überprüfen sind hier z. B. die Art, die Ziele und die Intensität der transdisziplinären Zusammenarbeit. Es sollten nicht nur alle relevanten Stakeholder aktiv einbezogen werden, sondern es sollten auch substantielle Interaktionen zwischen den Teilnehmer:innen innerhalb des Prozesses stattfinden.

**Methodische Entscheidungen:** Untersuchung, ob die verwendeten Methoden mit dem Projektziel passend sind, um das Projektziel zu erreichen

**Zu erwartende und tatsächliche Wirkungen:** Dies bezieht sich nicht nur auf die wissenschaftliche Wirkung in Form von Veröffentlichungen, sondern auch auf die soziale Akzeptanz der Ergebnisse. Dieser letzte Aspekt wirft auch die Frage nach den quantitativen bzw. qualitativen Kriterien für die Bewertung dieser verschiedenen Outputs und Outcomes auf.

**Zeitpunkt der Evaluierung:** Während eine formative Evaluierung geeigneter ist, um die einzelnen Fälle der Wissensintegration innerhalb eines TD-Projekts zu erfassen, ist eine summative Evaluierung für ein Projekt als Ganzes passender. Bei der Entwicklung eines Evaluierungsinstruments muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass TD-Forschung reflexiv und anpassungsfähig ist. In dieser Hinsicht wird auch die Frage relevant, wer die Evaluierung durchführt. Es muss sichergestellt werden, dass TD-Forschung konsistent evaluiert wird: einzelne Gutachter:innen oder ein interdisziplinäres Komitee auf Grundlage einer gemeinsamen Abstimmung

Mit diesem Beitrag möchten wir die oben genannten Kategorien, die die Grundlage für unser Tool für Selbstevaluierung bilden, in die Diskussion einbringen. Darüber hinaus wollen wir den Austausch über die Relevanz der Qualitätsbewertung transdisziplinärer Forschung für die Entwicklung wissenschaftlicher Karrieren an Fachhochschulen fördern.

## 1. Einführung

Transdisziplinäre Forschung (TD) ist ein Forschungsmodus, bei dem verschiedene Formen des Wissens – die nicht zwangsläufig wissenschaftlich sind – in die Bearbeitung von Fragestellungen zu hybriden und komplexen gesellschaftlichen Problemen integriert werden. Die in dieser Art von Forschung eingesetzten Methoden integrieren disziplinäre Forschungsmethoden, die in den verschiedenen (inter-)disziplinären Kontexten entwickelt wurden und in diesem Kontext gültig sind. Auf der anderen Seite setzt die TD-Forschung kreative Methoden ein, die drei Wissens Ebenen systematisch verarbeiten und integrieren können (Adler, 2018). Zu diesen Wissens Ebenen zählen:

- Systemwissen: Grundlegendes Verständnis von Komponenten und Dynamiken zwischen einzelnen Systemen,
- Zielwissen: Wissen zur Erklärung und Priorisierung von Werten, die im Umgang mit komplexen Problemen und damit verbundenen Wechselwirkungen von Bedeutung sind,
- Transformationswissen: Wissen zu Möglichkeiten der Systemveränderung, um diese Werte zu verfolgen.

Die drei Wissens Ebenen müssen von unterschiedlichen Wissensträger:innen bereitgestellt werden. Obwohl sich die TD vorrangig auf nicht-akademisches Wissen bezieht, integriert sie auch verschiedene Formen von disziplinärem Wissen. Dies gilt insbesondere für die Methodenkompetenzen.

Für die Validierung von Forschungsergebnissen, die im Rahmen disziplinärer Forschungsmethoden erzielt wurden, bestehen einige Standards, die jedoch teilweise kontrovers diskutiert werden. Hierzu zählen z. B. Validität, Objektivität und Repräsentativität für die quantitative Forschung oder Reichweite, Transparenz und Intersubjektivität für die qualitative Forschung (Flick, 2019). Für die Bewertung der Validität von Ergebnissen, die mit kreativen Methoden erzielt wurden, gibt es hingegen weit weniger definierte Standards. Hieraus ergibt sich die Frage, wie die wissenschaftliche und gesellschaftliche Qualität von transdisziplinären Forschungsergebnissen sichergestellt werden kann.

Payne et.al. (2015) merkt an, dass die Auswertung von transdisziplinären Forschungsansätzen einen Aspekt von TD darstellt, der grundsätzliche Herausforderungen mit sich bringt und der wenig verstanden ist. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass viele gesellschaftliche Auswirkungen erst Jahre nach der Durchführung der Forschung erfasst werden können. Es besteht also eine Lücke zwischen der Forschung und ihrem Impact. Die zunehmende Verbreitung transdisziplinärer Forschungsansätze ging somit mit der Entwicklung von Konzepten zu deren Evaluierungen (vgl. Bergmann et al. 2013) und der Entwicklung entsprechender Evaluationsinstrumente einher. Die meisten Evaluierungen im TD-Bereich werden jedoch als "stand-alone"-Verfahren durchgeführt, d.h. die Daten werden in der Regel nur für eine bestimmte Evaluierung ausgewertet (Wolf et al. 2013).

In diesem Beitrag stellen wir unseren Ansatz vor, ein Konzept zur Qualitätsmessung transdisziplinärer Forschung zu entwickeln. Hierzu haben wir zum einen den aktuellen Forschungsstand auf diesem Gebiet untersucht. Zum anderen haben wir die Relevanz

des Themas in der Forschung und insbesondere in der Arbeit von Nachwuchswissenschaftler:innen verortet.

Hierfür stellen wir zunächst unsere Methode vor und geben einen kurzen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. Anschließend stellen wir unsere ersten Ergebnisse dar und beschreiben die damit verbundenen Herausforderungen. Darüber hinaus gehen wir in diesem Beitrag auf die Bedeutung dieser Herausforderungen in der Forschungspraxis und im Hinblick auf die berufliche Entwicklung von Nachwuchswissenschaftler:innen ein.

## 2. Methoden

Die erste Annäherung an das Thema erfolgte über eine Literaturliste, die von der Arbeitsgruppe "Rigour" der International Transdisciplinary Alliance<sup>1</sup> zusammengestellt wurde. Diese Arbeitsgruppe befasst sich mit Fragen und Herausforderungen zu Stringenz von Methoden, die im Bereich der in der transdisziplinären Forschung eingesetzt werden.

Auf Grundlage der wissenschaftlichen Paper, die in dieser Literaturliste vorgeschlagen werden, konnten wir eine Reihe an Vorüberlegungen treffen und eine Grundlage für unseren Forschungsansatz erarbeiten. Die Literaturliste der Rigour-Arbeitsgruppe umfasst 18 Paper, die den Zeitraum zwischen 1999 und 2020 abdecken. Anhand dieser Literaturauswahl haben wir zunächst untersucht, ob die Paper 1) systematische Verfahren zur Qualitätsmessung der Transdisziplinarität vorschlagen; 2) ob die Qualitätsmessung auf transdisziplinäre Methoden, Projekte oder Programme abzielt; 3) ob Empfehlungen für weiterführende Literatur getroffen wird. Auf der Grundlage von 3) wurden weitere vier Paper in die Analyse aufgenommen.

Bei der Analyse dieser Paper konnten wir Dimensionen, Kriterien und Indikatoren identifizieren, die für die Bewertung der Umsetzung, der Ergebnisse und der Auswirkungen transdisziplinärer Projekte in der Literatur verwendet werden. Jeweils zwei Wissenschaftler:innen haben die Beiträge gelesen und diese diskutiert. Durch die Diskussion konnten Kategorien gebildet werden, die anschließend in einer Tabelle zusammengefasst wurden. Die Ergebnisse dieser ersten Analyse haben wir im nächsten Schritt mit unseren bisherigen Erfahrungen bei der Evaluation transdisziplinärer Forschung am Beispiel des kürzlich abgeschlossenen TD-Projekts „SmartUpLab“ (Dametto et.al. 2022) verglichen. Im letzten Schritt unserer Analyse konnten wir die zuvor erarbeitete Tabelle in eine Matrix überführen. Die Matrix bildet zum einen die verschiedenen Phasen ab, die in einem TD-Projekt evaluiert werden können (Vorbereitung eines Projekts, seine Umsetzung und der gesamte Prozess). Zum anderen umfasst die Matrix die unterschiedlichen Parameter, die im Mittelpunkt einer Auswertung der transdisziplinären Forschung stehen können.

In diesen ersten Arbeitsschritten konnten wir feststellen, dass die transdisziplinäre Forschung im deutschsprachigen Raum zwar sehr verbreitet ist, die meisten Ergebnisse jedoch eher auf Englisch veröffentlicht werden. Ebenso konnte festgestellt werden, dass ausschließliche Evaluierung verwendeter TD-Methoden nicht ausreicht, um die Qualität von Projekten zu bewerten. Daher haben wir diesen Ansatz nicht weiterverfolgt. Das

---

<sup>1</sup> Siehe: [https://itd-alliance.org/working-groups/toolkits\\_methods/](https://itd-alliance.org/working-groups/toolkits_methods/)

Gleiche gilt für die Qualitätsbewertung von TD-Programmen, die häufig über eine finanzielle Unterstützung zur Durchführung einer umfangreichen Evaluierung verfügen, die während häufig kürzerer Laufzeiten von Projekten nicht möglich ist.

Im Rahmen der Analyse konnten wir zudem feststellen, dass die meisten systematischen Bewertungs- und Evaluationsansätze in der TD-Literatur als komplexe „Frameworks“ betrachtet werden. Ebenso hat sich gezeigt, dass in der Literatur die Bezeichnungen Evaluierung, Bewertung und Messung häufig synonym verwendet werden (dies ist auch in diesem Beitrag der Fall). Dies könnte darauf hindeuten, dass bisher wenig Dialog zwischen Expert:innen aus dem Bereich der Evaluationsforschung auf der einen und der TD-Forschung auf der anderen Seite besteht.

In den folgenden Abschnitten werden wir unsere Erkenntnisse präsentieren, die wir aus der Analyse der TD-Literatur ableiten konnten. Anschließend wird erörtert, wie wir die Parameter für unsere darauf aufbauende systematische Literaturrecherche aufgestellt haben und welche weiteren Schritte in unserem Forschungsprozess bevorstehen.

### **3. Ergebnisse**

Die untersuchte Literatur beinhaltet nicht nur eine Vielzahl an unterschiedlichen Analyse-kategorien für die Qualitätsmessung von TD-Projekten, sondern auch verschiedene Formen und Herangehensweisen für die Evaluierung. Durch den Vergleich der unterschiedlichen Kategorien und Evaluierungsansätze konnten wir feststellen, dass es einige grundsätzliche Parameter im Bereich der Evaluierung transdisziplinärer Ansätze gibt, die sich in einem großen Teil der Literatur wiederfinden lassen.

#### *A. Berücksichtigung der Grundsätze transdisziplinärer Forschung:*

Diese Parameter sind darauf ausgerichtet zu überprüfen, ob ein Projektdesign grundsätzlich für TD geeignet ist. Zu überprüfen sind hier z. B. die Art, die Ziele und die Intensität der transdisziplinären Zusammenarbeit. Als Qualitätskriterien für allgemeine Anforderungen an transdisziplinäre Projekte können folgende Aspekte zusammengefasst werden (vgl. Norström et.al. 2020 und Verwoed et. al. 2019):

- Kontextbezogenheit
- Zielgerichteter Ansatz
- Pluralistischer Ansatz
- Responsive und entwicklungsfähiges Design
- Beteiligung der relevanten Interessengruppen.

TD-Forschung erfordert die Zusammenarbeit von Wissenschaftler:innen unterschiedlicher Disziplinen und Wissensformen sowie die Einbindung von nicht-akademischen Stakeholdergruppen. Die relevanten Stakeholder sollten dabei nicht nur aktiv einbezogen werden, sondern es sollten auch substantielle Interaktionen zwischen einander innerhalb des Prozesses stattfinden (Hansson und Polk, 2018).

#### *B. Methodische Entscheidungen:*

Die nächsten Parameter zielen darauf ab zu untersuchen, ob die verwendeten Methoden passend sind, um das Projektziel zu erreichen. Hierzu werden in der Literatur auch

weitere Aspekte, wie die kontextspezifische Qualität der verwendeten Methoden sowie die Kombination verschiedener Datenerhebungsmethoden hervorgehoben (Schuck-Zöller et al. 2017). Darüber hinaus wird auch der systemische und komplexe Charakter der Probleme, die im Rahmen des TD-Projekts adressiert werden, erwähnt (Brennan und Rondón-Sulbarán, 2019). In diesem Zusammenhang kann ergänzt werden, dass ein idealtypisches konzeptionelles Modell für transdisziplinäre Forschung nach Lang et al. (2012) die folgenden Phasen vorsieht:

- gemeinsame Problemstellung und Aufbau eines kollaborativen Forschungsteams (Phase A)
- gemeinsame Erarbeitung von lösungsorientiertem und übertragbarem Wissen durch kollaborative Forschung (Phase B)
- (Re-)Integration und Anwendung des produzierten Wissens in der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Praxis (Phase C).

### *C. Zu erwartende und tatsächliche Wirkungen/Impact:*

Diese Parameter beziehen sich nicht nur auf die wissenschaftliche Wirkung in Form von Veröffentlichungen, sondern auch auf die soziale Akzeptanz der TD-Forschungsergebnisse (Wolf, 2013). Hierbei stellt sich auch die Frage nach den quantitativen bzw. qualitativen Kriterien für die Bewertung verschiedener Outputs und Outcomes. Lux et al. (2019) stellen die vier Kategorien Lernprozesse, Kapazitätsaufbau, Netzwerkeffekte und strukturelle Veränderungen sowie Entscheidungen oder Handlungen im öffentlichen Bereich für die Bewertung gesellschaftlicher Auswirkungen zusammen.

Insbesondere die Erfassung der letztgenannten Kriterien nimmt oft viel Zeit in Anspruch. Diese Kriterien sind daher während des Projekts schwer zu bewerten. Da der soziale Output schwer zu messen ist, besteht ein möglicher Ansatz darin, die diesbezüglichen Erwartungen der Teammitglieder und Partner:innen zu bewerten und später zu beobachten, ob diese mit den erreichten Ergebnissen übereinstimmen.

### *D. Art und Zeitpunkt der Evaluierung:*

Die letzte Gruppe an Parametern, die der Literatur entnommen werden konnten, beziehen sich auf die Art und den Zeitpunkt der Bewertung bzw. Evaluierung. Während eine formative Evaluierung geeigneter ist, um die einzelnen Fälle der Wissensintegration innerhalb eines TD-Projekts zu erfassen, ist eine summative Evaluierung für ein Projekt als Ganzes passender. Bei der Entwicklung eines Evaluierungsrahmens muss auch berücksichtigt werden, dass TD-Forschung reflexiv und anpassungsfähig ist. In dieser Hinsicht wird auch die Frage relevant, wer die Evaluierung durchführt. Es muss sichergestellt werden, dass TD-Forschung konsistent evaluiert wird. Hierfür kommen entweder einzelne Gutachter:innen oder ein interdisziplinäres Komitee auf Grundlage einer gemeinsamen Abstimmung infrage.

Die transdisziplinäre Forschung bringt verschiedene Akteure mit unterschiedlichem Wissen und Interessen an den Forschungsergebnissen zusammen. Daher kann die Relevanz der einzelnen Qualitätskriterien für eine Bewertung der TD-Qualität – je nachdem, wer die Bewertung durchführt – unterschiedlich ausfallen. In diesem Zusammenhang unterscheiden Jahn und Keil (2015) in ihrem Qualitätsleitfaden für Nachhaltigkeitsfor-

schung, ob die Qualitätsbewertung bzw. Evaluierung von Forscher:innen, Programmmanager:innen oder Geldgeber:innen und politischen Entscheidungsträger:innen durchgeführt wird.

Wie in den folgenden Abschnitten zu erkennen, unterscheiden sich die Kriterien für die interne und externe Validität der Ergebnisse wesentlich von Kriterien zur Bewertung von Auswirkungen von Projekten im öffentlichen Sektor oder der politischen Verbreitung von Maßnahmen. Diese sind eher Gegenstand von Quantifizierungen. Auch die Größe eines Projekts ist ein zu berücksichtigender Faktor. Eine Qualitätsbewertung erfordert jeweils Zeit und Ressourcen. Daher ist es möglich, dass ein kleines bzw. kurzes Projekt die Anforderungen für die Anwendung dieser Art von Bewertung nicht erfüllen kann.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die Art des Evaluationsgegenstandes. Die Literatur, die im Rahmen unserer Analyse berücksichtigt wurde, befasst sich sowohl mit Forschungsprogrammen (Di Giulio und Delfila 1999) als auch mit Projekten (Belcher 2019) oder spezifischen partizipativen Phasen innerhalb von Projekten, wie z. B. Living Labs oder Software Co-Design (Schuck-Zöllner et al., 2017). Der Gegenstand der Evaluierung bestimmt auch die Art und den Zeitpunkt der Evaluierung bzw. Qualitätsbewertung (Fokus auf Vorbereitung, Durchführung oder Ex-post-Bewertung eines Programms, Projekts oder einer Aktivität), was wiederum die Relevanz der zu berücksichtigenden Kriterien bestimmt.

#### **4. Diskussion**

Durch die Literaturanalyse konnten wir grundlegende Parameter zur Bewertung der Qualität transdisziplinärer Forschung ermitteln. Hierzu zählen das Projektdesign, die ausgewählten Methoden, der (erwartete) Impact und die Evaluierung des Projektes an sich. Ebenso wurde durch die Literaturanalyse deutlich, dass die hier dargestellten allgemeinen Überlegungen zur Entwicklung eines universalen Bewertungstools, das uns bei der Qualitätsbewertung unserer transdisziplinären Projekte unterstützen kann, weiter verfeinert werden muss. In diesem Zusammenhang sind auch einige Fragen offen geblieben, die es in weiteren Forschungsprozessen, die auf den Ergebnissen der Literaturanalyse aufbauen, zu beantworten gilt. Zu diesen Fragen zählen u. a., welche spezifischen Indikatoren sich für die Bewertung von Projekten eignen, ob es systematische Verfahren zur Bewertung für TD-Projekte gibt, die sich mit der Nachhaltigkeit befassen, oder welche konkreten Methoden für die Qualitätsbewertung von TD-Projekten geeignet sind.

Um diese Fragen zu beantworten und unsere Forschung zu diesem Themenbereich zu vertiefen, wurde eine auf unseren bisherigen Ergebnissen aufbauende systematische Literaturrecherche durchgeführt. Für die systematische Literaturrecherche wurde die Datenbank SCOPUS genutzt, da diese die meisten für uns relevanten Fachjournals umfasst und es keine spezifische Datenbank für TD-Fachjournals gibt. Die Literatursuche wurde auf englischsprachige Artikel beschränkt, die in den letzten zehn Jahren veröffentlicht wurden. Die analytischen Parameter, die der Literaturrecherche zugrunde gelegt wurden, bauen auf den Ergebnissen unserer vorherigen Analyse auf. Auf Grundlage unserer vorläufigen Ergebnisse die Parameter für unsere Suche festgelegt.

Zur Begutachtung der Literatur wurden die folgenden Fragen angewendet:

- Welche weiteren Parameter zur Messung der Qualität von transdisziplinären Forschungsprojekten gibt es?
- Welche unterschiedlichen Ansätze bestehen für die Evaluierung und Bewertung der Qualität von TD? Gibt es diesbezügliche Definitionen?
- Welche Anforderungen bestehen an die Evaluierung von TD-Projekten?

Unsere erste Suche in der Datenbank SCOPUS, bei der Stichworte wie „Transdisciplinary research + evaluation“ und andere verwendet wurden, ergab eine Anzahl von 2.078 Fachartikeln. Nach einem ersten Filtern der Ergebnisse auf Basis des Titels und des Abstracts berücksichtigt wurde die Anzahl relevanter Fachartikel auf 512 reduziert.

Zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Beitrags sind die weitere Verfeinerung der Ergebnisse und die Analyse der Paper noch in Arbeit. Erste Beobachtungen deuten darauf hin, dass mittels der Ergebnisse unserer systematischen Literaturrecherche aus den bestehenden abstrakten Parametern konkrete Indikatoren zur Qualitätsbewertung von TD-Projekten entwickelt werden können.

Die Förderung von Prozessen zur Qualitätssicherung im Bereich der TF hat für uns nicht nur Auswirkungen auf die weitere Entwicklung der angewandten Forschung, sondern auch auf unsere Karrieren als Nachwuchsforscher:innen. Die Literatur zeigt auch, dass es nicht nur schwierig ist, die gesellschaftlichen Auswirkungen der transdisziplinären Forschung zu beobachten und zu messen, sondern auch, dass es einen Zielkonflikt zwischen der Integration von Nicht-Expertenwissen und akademischen Forschungsergebnissen gibt. Transdisziplinäre Forschung scheint in vielen Fällen den Abschluss von Promotionsstudien zu behindern (Newig et.al. 2019). Die gleiche Literatur weist jedoch darauf hin, dass die Berücksichtigung der oben genannten Parameter die Möglichkeit bietet, Strategien zur Verringerung dieser negativen Auswirkungen zu implementieren. Dazu gehören ein gutes Forschungsdesign, das die verschiedenen Phasen der transdisziplinären Forschung berücksichtigt, eine gute Zusammenarbeit in Teams mit verteilten Aufgaben und das Interesse an der systematischen Produktion von Wissen und dessen adäquaten Kommunikationsformaten für die spezifische Zielgruppe. Mit unserer Forschung wollen wir daher nicht nur einen Beitrag zur Methodendiskussion über die Qualität der transdisziplinären Forschung leisten, sondern auch zu nachhaltigen Forschungspraktiken innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft beitragen.

## Quellen

Adler, C.; Hirsch Hadorn, G.; Brey, T.; Wiesmann, U.; Pohl, C.(2018). Conceptualizing the transfer of knowledge across cases in transdisciplinary research. *Sustainability Science*, 13, 179–190 <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0444-2>

Belcher, B.; Claus, R.; Davel, R.; Ramirez, L. (2019). Linking transdisciplinary research characteristics and quality to effectiveness: A comparative analysis of five research-for-development projects. *Environmental Science and Policy*, 101, 192–203, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.013>

Bergmann, M. et.al. (2013). *Methods for Transdisciplinary Research. A Primer for Practice*. Frankfurt am Main: Campus Verlag

Brennan, M.; Rondón-Sulbarán, J. (2019). Transdisciplinary research: Exploring impact, knowledge and quality in the early stages of a sustainable development project. *World Development*, 122, 481–491, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.06.001>

Dametto, D. et.al. (2022) *Abschlussbericht SmartUpLab – Decision Support Tools für integrierte Stadtentwicklung*. OPUS-Service der Fachhochschule Potsdam:<https://opus4.kobv.de/opus4-fhpotsdam/frontdoor/index/index/docId/2903>

Di, Giulio, A. und Delfila, R. (1999). Evaluating Transdisciplinary Research. *Panorama*, special issue 1/99, 5-27, <https://www.ikaoe.unibe.ch/forschung/ip/Specialissue.Pano.1.99.pdf>

Flick, U. (2019). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Reinbek/ Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Hansson, S. und Polk, M. (2018). Assessing the impact of transdisciplinarity research: The usefulness of relevance, credibility, and legitimacy for understanding the link between process and impact. *Research Evaluation*, 27(2), 2018, 132–144 doi: 10.1093/reseval/rvy004

Jahn, T.; Keil, F. (2015). An actor-specific guideline for quality assurance in transdisciplinary research. *Futures*, 65, 195–208 <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2014.10.01>

Lang, D.J., Wiek, A., Bergmann, M. et al. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, 7 (Suppl 1), 25–43, <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>

Lux A., Schäfer M., Bergmann M., Jahn T., Marg O., Nagy E., Ransiek A.-C., Theiler L. (2019). Societal effects of transdisciplinary sustainability research—How can they be strengthened during the research process? *Environmental Science and Policy*, 101, 183-191, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.012>

Newig J., Jahn S., Lang D.J., Kahle J., Bergmann M. (2019). Linking modes of research to their scientific and societal outcomes. Evidence from 81 sustainability-oriented research projects. *Environmental Science and Policy*, 101, 147-155, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.008>

Norström, A.V., Cvitanovic, C., Löf, M.F. et al. (2020). Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability*, 3, 182–190. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2>

Schuck-Zöllner et al. (2017). Evaluating co-creation of knowledge: from quality criteria and indicators to methods. *Advances in Science and Research*, 14, 305–312, 2017 <https://doi.org/10.5194/asr-14-305-2017>

Payne, T., Small, B., Montes de Oca, O. (2015). Developing Reliable and Valid Measures for Science Team Process Success Factors in Transdisciplinary Research. *International Journal of Interdisciplinary Organizational Studies*, 10 (2), 1-22, <https://doi.org/10.18848/2324-7649/CGP/v10i02/53429>

Verwoerd et al. (2019). Combining the roles of evaluator and facilitator: Assessing societal impacts of transdisciplinary research while building capacities to improve its



quality. *Environmental Science and Policy*, 103 (2020) 32–40,  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.011>

Wolf, B. et.al. (2013) Evaluating Research beyond Scientific Impact. How to Include Criteria for Productive Interactions and Impact on Practice and Society. *GAI/A*, 22/2, 104–114: <https://doi.org/10.14512/gaia.22.2.9>

# Unterschiede in der psychischen Belastung von onkologischen Patient\*innen

Janine Jänisch<sup>1,2</sup>, Gabriele Helga Franke<sup>1</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,3</sup>

1 Hochschule Magdeburg-Stendal, Rehabilitationspsychologie, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

2 Johanniter GmbH, Johanniter-Krankenhaus Stendal, Wendstraße 31, 39576 Stendal

3 Hochschule Neubrandenburg, Gesundheitswissenschaften, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

Aufgrund der demografischen Entwicklung vermutet das Robert Koch-Institut zukünftig einen Anstieg der Krebsneuerkrankungen. Die deutsche Version des Distress-Thermometers ermöglicht die Erhebung unterschiedlicher psychosozialer Belastungen. Ziel dieser Studie ist die Prüfung von drei Belastungsgruppen im DT in einer Stichprobe von 75 Krebserkrankten. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass sich die DT-Belastungsgruppen voneinander unterscheiden und mit Zunahme der Belastung im DT auch die Belastung in der Mini-Symptom-Checklist ansteigt. Die Berücksichtigung der DT-Belastungsgruppen kann zu einer Verbesserung der rehabilitationspsychologischen Versorgung führen.

## 1. Einleitung

Das Robert Koch-Institut schätzte 2021, dass in Deutschland jährlich etwa 500.000 Menschen erstmalig an Krebs erkranken. Es wird vermutet, dass aufgrund der demografischen Entwicklung zwischen 2015 und 2030 der Anstieg der Neuerkrankungen bei circa 23% liegen wird (ebd.).

Im Verlauf einer Krebserkrankung treten verschiedene Situationen auf, die bei Erkrankten zu Belastungen führen können (Münch, 2020). Eine frühzeitige Diagnostik der psychosozialen Belastung sowie eine schnelle und umfassende Begleitung durch das onkologische Team kann die Lebensqualität verbessern (ebd.).

Nach Donovan et al. (2014) hat sich im klinischen Kontext das NCCN Distress-Thermometer (DT) etabliert. Das DT, in der deutschen Version von Mehnert et al. (2006), misst psychosoziale Belastung von Krebserkrankten innerhalb der letzten sieben Tagen auf einer Skala von 0 (= gar nicht belastet) bis 10 (= extrem belastet). Zusätzlich ist eine Problemliste (PL) zur Ermittlung potentieller weiterer Belastungen aufgeführt. Die Interpretation des DT erfolgt mit Hilfe eines Cut-off-Werts. Eine psychische Belastung liegt ab einem Wert von 5 vor (Mehnert et al., 2006).

Küttner und Kolleg\*innen (2017) untersuchten die PL des DT bei 103 Palliativpatient\*innen in Deutschland. Die drei häufigsten Probleme waren Erschöpfung (90%), Bewegung/ Mobilität (84%) und Essen/ Ernährung (63%). Mehnert et al. (2018) überprüften die PL bei 3.724 deutschen Krebserkrankten und identifizierten, neben Erschöpfung (56%) und Bewegung/ Mobilität (47%), ebenso Schlaf (51%) als Belastungsbereiche.

Das DT wurde von Radke et al. (2022) in einer Stichprobe orthopädischer Rehabilitand\*innen eingesetzt. Hier wurden drei Belastungsgruppen (wenig, deutlich, stark) gebildet und es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den DT-Gruppen und den Ausprägungen der Mini-Symptom-Checklist (Mini-SCL; Franke, 2017)

gefunden. Je höher das Belastungserleben im DT, umso höher war die Belastung in der Mini-SCL (Radke et al., 2022).

## 2. Fragestellung

Ziel dieser Studie ist es, die von Radke et al. (2022) vorgeschlagenen DT-Belastungsgruppen (wenig, deutlich, stark) in einer stationären, onkologischen Stichprobe zu untersuchen.

## 3. Methode

Im Rahmen des Projekts *Medikamenten-Adhärenz in der Onkologie* werden seit Januar 2021 Daten von onkologischen Patient\*innen des Johanniter-Krankenhauses Stendal erhoben. Ein Teilprojekt fokussiert die Prüfung der drei DT-Belastungsgruppen nach Radke et al. (2022). Neben dem DT kam die Mini-SCL von Franke (2017) zum Einsatz. Sie erfasst die subjektiv empfundene psychische Belastung innerhalb der letzten sieben Tage mit Hilfe von 18 Items, die den drei Skalen Depressivität, Ängstlichkeit und Somatisierung zugeordnet werden. Alle Items dienen der Berechnung des Globalen Kennwerts (GSI), der die durchschnittliche psychische Belastung erfasst. Nach Franke (2017) ist die Reliabilität der Mini-SCL sehr gut (GSI), gut (Skala Depressivität, Ängstlichkeit) bis zufriedenstellend (Skala Somatisierung).

Die Datenanalyse wurde mit der Statistiksoftware IBM® SPSS® Statistics 27 durchgeführt. Die Auswertung umfasste die Darstellung der deskriptiven Statistik, die Korrelation nach Pearson zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen DT und Mini-SCL sowie eine univariate Varianzanalyse zur Prüfung von Unterschieden zwischen den Belastungsgruppen.

## 4. Ergebnisse

**Stichprobenbeschreibung:** Die Stichprobe umfasste 75 onkologische Patient\*innen im durchschnittlichen Alter von 68 Jahren ( $\pm 10$ , Spanne 40-86 Jahre). 51% waren männlich, 71% lebten mit Ehe-(Partner)-in/ in der Familie, 65% waren verheiratet, 91% hatten Kinder, 72% waren Rentner\*in, 80% gaben an, nicht an einer psychiatrischen Erkrankung zu leiden und 68% waren zuvor noch nie von einer Krebserkrankung betroffen.

**DT-Cut-off-Wert:** Für die Ermittlung des optimalen Cut-off-Werts wurden fünf Cut-off-Werte ( $\geq 4$ ,  $\geq 5$ ,  $\geq 6$ ,  $\geq 7$ ,  $\geq 8$ ) geprüft. Die Cut-off-Werte  $\geq 6$  und  $\geq 7$  zeigten ähnliche Ergebnisse. Bei einem Cut-off-Wert von  $\geq 6$  waren 44 Personen (59%) im auffälligen und 31 Personen (41%) im unauffälligen Bereich. Bei einem Cut-off-Wert von  $\geq 7$  waren 32 Personen (43%) im auffälligen und 43 Personen (57%) im unauffälligen Bereich.

**DT-Problembereiche:** Die drei am häufigsten genannten Problembereiche waren: Erschöpfung (63%), Schmerzen (60%) und Bewegung/Mobilität (59%). Am wenigsten wurden Probleme in Bezug auf Gott (0%), den Verlust des Glaubens (1%) und den Umgang mit dem Partner (1%) angeführt.

**Korrelation zwischen DT und Mini-SCL:** Es konnte eine mittlere Korrelation zwischen dem DT und der Skala Depressivität ( $r=.44$ ) ermittelt werden. Ebenso zeigte sich ein mittlerer Zusammenhang zwischen dem DT und dem GSI ( $r=.42$ ). Eine niedrige Korrelation bestand zwischen dem DT und den Skalen Ängstlichkeit ( $r=.24$ ) sowie Somatisierung ( $r=.38$ ).

**DT-Belastungsgruppen:** Auf Grundlage von Radke et al. (2022) wurden drei Belastungsgruppen anhand der Belastungsskala des DT gebildet: Gruppe 1 (Werte von 0 bis 5): 31 Personen mit wenig Belastung (41%), Gruppe 2 (Werte von 6 bis 7): 25 Personen mit deutlicher Belastung (33%) und Gruppe 3 (Werte von 8 bis 10): 19 Personen mit starker Belastung (25%).

Die statistische Prüfung zeigte, dass sich die DT-Gruppen in der psychischen Belastung, gemessen mit der Mini-SCL, voneinander unterschieden und dass mit Zunahme der Belastung im DT die Belastung in der Mini-SCL stieg (siehe Tabelle 1). Die Grenze von  $T \geq 60$  gibt die Belastung in der Mini-SCL an. Hier zeigte sich, dass in der ersten DT-Gruppe im Durchschnitt keine psychische Belastung vorlag, in der zweiten Gruppe die Somatisierung leicht erhöht war ( $T[\text{gerundet}] = 60$ ) und in der dritten DT-Gruppe die Skalen Somatisierung und Ängstlichkeit sowie der GSI leicht erhöht waren.

Skala	DT-wenig (n=31)	DT-deutlich (n=25)	DT-stark (n=19)	Summe (N=75)	stat. Prüfung
Depressivität	48.71 ± 8.29	52.48 ± 8.40	58.74 ± 6.89	52.51 ± 8.85	F = 9.25 p < .001 $\eta^2 = .204$
Ängstlichkeit	53.13 ± 11.09	52.44 ± 8.97	60.37 ± 9.80	54.73 ± 10.50	F = 3.99 p = .023 $\eta^2 = .100$
Somatisierung	53.19 ± 11.03	59.76 ± 10.57	61.32 ± 11.05	57.44 ± 11.33	F = 4.13 p = .020 $\eta^2 = .103$
GSI	52.32 ± 10.19	56.32 ± 8.58	61.63 ± 7.67	56.01 ± 9.70	F = 6.21 p = .003 $\eta^2 = .147$

Signifikanzniveau bei 5%.

Tabelle 1: Unterschiede in den T-Werten der Mini-SCL-Skalen und des GSI in Abhängigkeit der DT-Gruppen.

## 5. Diskussion

Aufgrund der demografischen Entwicklung werden zukünftig mehr Krebsneuerkrankungen erwartet (RKI, 2021). Die Diagnose Krebs geht mit psychosozialen Belastungen einher, die sich individuell äußern (Münch, 2020). Mit Hilfe eines Screenings wie dem Distress-Thermometer nach Mehnert et al. (2006) kann ein schneller Einblick in die Problemwelt der Erkrankten ermöglicht werden. Wichtig ist, dass die Behandler\*innen die Belastung erfassen, um einschätzen zu können, wann genau eine professionelle Hilfe notwendig ist (Münch, 2020).

Durch zahlreiche internationale Validierungsstudien (Donovan et al., 2014) konnte der optimale Cut-off-Wert von  $\geq 4$  ermittelt werden. In der aktuellen Studie wurden die Cut-off-Werte von  $\geq 6$  sowie  $\geq 7$  genutzt, damit wurde die Anschlussfähigkeit an die Studie von Radke et al. (2022) hergestellt. In weiteren Studien sollten die Cut-off-Werte weiterhin untersucht werden.

Erschöpfung und Bewegung/ Mobilität gehören zu den häufigsten Problembereichen unter denen Krebserkrankte leiden (Küttner et al., 2017; Mehnert et al., 2018). Dieses

Ergebnis konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden. Mit zunehmender Belastung in den DT-Gruppen ging zudem eine Steigerung der Belastung in der Mini-SCL einher. So konnte in der DT-Gruppe mit der stärksten Belastung im Distress-Thermometer eine im Durchschnitt leichte psychische Belastung in den Skalen Somatisierung und Ängstlichkeit sowie im GSI nachgewiesen werden. Der Nutzen der DT-Belastungsgruppen konnte somit nicht nur bei orthopädischen Patient\*innen (Radke et al., 2022), sondern auch in einer onkologischen Stichprobe belegt werden.

Die Erfassung der Schwere der psychischen Belastung bei Krebspatient\*innen hat das Ziel, eine Verbesserung der rehabilitationspsychologischen Versorgung zu ermöglichen. Durch ein Ultrakurzzeit-Screening wie das DT können in jeder Phase der Behandlung diejenigen Patient\*innen niedrigschwellig identifiziert werden, die eine intensivere psychosoziale Betreuung benötigen.

### Quelle

Donovan, K. A., Grassi, L., McGinty, H. L. & Jacobsen, P. B. (2014). Validation of the distress thermometer worldwide: State of the science. *Psycho-Oncology*, 23, 241-250. DOI: 10.1002/pon.3430

Franke, G. H. (2017). *Mini-SCL. Mini-Symptom-Checklist - Manual*. Hogrefe.

Küttner, S., Wüller, J. & Pastrana, T. (2017). How much psychological distress is experienced at home by patients with palliative care needs in Germany? A cross-sectional study using the distress thermometer. *Palliative and Supportive Care*, 15, 205-213. DOI: 10.1017/S1478951516000560

Mehnert, A., Hartung, T. J., Friedrich, M., Vehling, S., Brähler, E., Härter, M., Keller, M., Schulz, H., Wegscheider, K., Weis, J., Koch, U. & Faller, H. (2018). One in two cancer patients is significantly distressed: Prevalence and indicators of distress. *Psycho-Oncology*, 27, 75-82. DOI: 10.1002/pon.4464

Mehnert, A., Müller, D., Lehmann, C. & Koch, U. (2006). Die deutsche Version des NCCN Distress-Thermometers - Empirische Prüfung eines Screening-Instruments zur Erfassung psychosozialer Belastung bei Krebspatienten. *Zeitschrift für Psychiatrie, Psychologie und Psychotherapie*, 54(3), 213-223. <https://doi.org/10.1024/1661-4747.54.3.213>

Münch, U. (2020). Psychosoziale Belastungsfaktoren. Krebspatienten auch bei ihren Sorgen und Ängsten zur Seite stehen. *Im Fokus Onkologie*, 23(1), 56-58. DOI: 10.1007/s15015-019-0743-9

Radke, J., Franke, G. H., Jänisch, J. & Jagla-Franke, M. (2022). Einsatz des Distress-Thermometers in der orthopädischen Rehabilitation. In Arbeitskreis Klinische Psychologie in der Rehabilitation, Fachgruppe der Sektion Klinische Psychologie im Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen (BDP) e. V. (Hrsg.). *Innovatives und Bewährtes in der Rehappsychologie. Beiträge zur 41. Jahrestagung des Arbeitskreises Klinische Psychologie in der Rehabilitation vom 21.10.-22.10.2022* (S. 34-45). Deutscher Psychologen Verlag.

Robert Koch-Institut (RKI). (2021). *Krebs in Deutschland für 2017/2018* (13. Aufl.). Verfügbar unter: [https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs\\_in\\_Deutschland/kid\\_2021/krebs\\_in\\_deutschland\\_2021.pdf;jsessionid=0E84A440DFE4B77A39668BE438E696D9.internet062?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/kid_2021/krebs_in_deutschland_2021.pdf;jsessionid=0E84A440DFE4B77A39668BE438E696D9.internet062?__blob=publicationFile)

# Serious Games für Senior:innen – Einfluss auf die koordinativen Fähigkeiten

Leen Abu Esbaa<sup>1</sup>, Birgit Didczuneit-Sandhop<sup>1,2,3</sup>, Eberhard Beck<sup>1</sup>, Katja Orłowski<sup>1</sup>

1 Technische Hochschule Brandenburg, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg an der Havel

2 Universitätsklinikum Brandenburg, Hochstr. 29, 14770 Brandenburg an der Havel

3 Medizinische Hochschule Brandenburg, Nicolaiplatz 19, 14770 Brandenburg an der Havel

## Abstract

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss von Serious Games (SG) auf die koordinativen Fähigkeiten demenzerkrankter Senior:innen über einen Zeitraum von zehn Wochen zu untersuchen. Hierzu wurden koordinative Tests vor und nach dem Interventionszeitraum durchgeführt und die Daten vergleichend gegenübergestellt.

## 1. Einleitung

Oftmals kommt es vor allem im Alter zu stärkeren Einschränkungen der sensomotorischen und kognitiven Funktionen. Besonders bei Senior:innen mit Demenz führt dies zu einem höheren Sturzrisiko, so dass sie ihr Leben nicht mehr selbstbestimmt und unabhängig führen können (Arriaga et al., 2013). Serious Games (SG) sind Spiele, die nicht nur der Unterhaltung dienen, sondern auch einen ernsthaften Zweck haben (Harrington et al., 2022). Durch den Spieleaspekt haben sie eine motivierende Wirkung im Vergleich zu normalen Trainings. SGs mit therapeutischer Intention sind in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus gerückt. Durch die motivierende Wirkung können sie dazu beitragen, die Lebensqualität der Senior:innen zu verbessern und eine Abnahme der koordinativen Fähigkeiten zu verzögern (Wiemeyer 2018, Huxhold et al. 2008).

Solche SGs wurden an unserer Hochschule entwickelt. Sie werden mittels Verlagerung des Körperschwerpunkts (KSP) auf einer Kraftmessplatte (KMP) gesteuert. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass auch bei Demenzkranken mit einem sensomotorischen Training eine Stabilisierung oder sogar Verbesserung der kognitiven und exekutiven Fähigkeiten, des Gleichgewichts, der Mobilität und der Kraft möglich sind (Buchner & Larson, 1987; Zhao, 2020). Knochenbrüche, Wunden und schmerzhaftes Prellungen sind physische Folgen von Stürzen. Darüber hinaus sind die psychischen Folgen nicht zu unterschätzen. Senior:innen verlieren das Vertrauen in ihre eigene Mobilität und vermeiden aus Angst jegliche Bewegung. Dies wird insbesondere bei Demenzerkrankte beobachtet, weil sie allmählich ihre kognitiven Fähigkeiten verlieren, zu denen auch die Fähigkeit gehört, Gefahren richtig zu erkennen (Vatareck, 2022).

Mit den speziell für die Senior:innen mit leichter bis mittelschwerer Demenz entwickelten SGs wurden Interventionsstudien in Pflegeeinrichtungen durchgeführt, um diese auf ihre Wirkung auf die koordinativen Fähigkeiten zu untersuchen.

## 2. Material und Methoden

Die Interventionsstudien wurden im Prä-Post-Design über einen Zeitraum von zehn Wochen durchgeführt. Das Training mit allen zur Verfügung stehenden SGs fand dreimal wöchentlich statt. Die Senior:innen konnten bei jedem Training die Spiele frei wählen, die für je 10-15 Minuten gespielt wurden.

Die verwendeten SGs lassen sich in zwei Kategorien einteilen: Spiele mit koordinativem und kognitivem Fokus. Im vorliegenden Paper wird auf die Spiele BalanceBall, Surfex und Wald-spaziergang (s. *Abbildung 1*) mit koordinativem Fokus eingegangen, während die SGs mit kognitivem Fokus bei Kustanovich et al. (2023) vorgestellt werden.

Beim BalanceBall wird ein virtueller Spieltisch geneigt, so dass sich die silberne Metallkugel bewegt und damit die Objekte eingesammelt werden. Beim Waldspaziergang und Surfex wird ein menschlicher Avatar z.B. in einem realistisch wirkenden Wald bzw. auf einem Surfbrett übers Meer gesteuert. Ziel beim Waldspaziergang ist es, im Wald verteilte Objekten (z.B. Bilder von Familienmitgliedern) zu sammeln. Für ein realistischeres Erlebnis werden im Hintergrund typische Geräusche abgespielt, z.B. Vogelgezwitscher. Beim Spiel Surfex werden Objekte (Wasserbälle) und damit Punkte gesammelt. Hindernissen muss ausgewichen werden, um Minuspunkte zu vermeiden. Zwischendurch werden Zahlen auf dem Bildschirm gezeigt, die sich der Spieler merken soll und am Ende der Runde in Form eines Quiz abgefragt werden.



*Abbildung 1: Die Spiele mit koordinativem Fokus (v.r.n.l.): Waldspaziergang, Surfex und BalanceBall.*

Vor und nach dem Interventionszeitraum wurden koordinative Tests durchgeführt, um den aktuellen Status der körperlichen Fähigkeit zu ermitteln. Zu diesen Tests gehören statische und dynamische Gleichgewichtstests sowie der Timed-Up-and-GO-Test (TUG) und eine Befragung zur Ermittlung der Sturzangst (Falls Efficacy Scale, FES). Um das Gleichgewicht zu untersuchen, wurde mittels PLUX-KMP der KSP und die Auslenkung in medio-lateraler (ML) sowie anterior-posteriorer (AP) Richtung erfasst. Das statische Gleichgewicht wurde im beidbeinigen Stand mit offenen (GG AA) und geschlossenen (GG AZ) Augen sowie im Semi-Tandem-Stand (ST) mit dem linken (GG ST li) und rechten Fuß (GG ST re) vorn untersucht. Jede Standposition wurde zweimal für 30 Sekunden aufgezeichnet. Die Schwankungsfläche wurde aus der maximalen ML- und AP-Auslenkung berechnet. Beim dynamischen Gleichgewichtstest versuchen die Proband:innen mit ihrem KSP acht Punkte anzusteuern, die kreuz-/sternförmig angeordnet sind und nacheinander auf dem Bildschirm angezeigt werden (Sternstest). Die Gesamtzeit fürs Ansteuern aller Punkte wird erfasst. Beim TUG sollen die Proband:innen eine Strecke von 3 m bis zur Markierung und wieder zurück laufen. Die Ausgangs- und Endposition ist sitzend auf einem Stuhl. Die Zeit vom Aufstehen bis zum Sitzen wird gemessen.

Die Daten des Prä- und Posttests werden vergleichend gegenübergestellt, wobei zunächst Methoden der deskriptiven Statistik eingesetzt wurden, um die Wirkung der Serious Games auf die koordinativen Fähigkeiten zu bewerten.

An den Interventionsstudien in den Jahr 2021 und 2022 nahmen 32 Proband:innen aus verschiedenen Pflegeeinrichtungen freiwillig teil. Sie oder ihre gesetzlichen Vertreter:innen gaben ihre schriftliche Zustimmung zur Teilnahme. Einschlusskriterien waren u.a. ein MMST-Wert größer zehn, die Fähigkeit eine 3 m-Wegstrecke laufen zu können (mit



Hilfsmittel) und für zehn Minuten stehen zu können, da die Spiele auf der KMP stehend mittels KSP-Verlagerung gesteuert werden.

### 3. Ergebnisse

Von 23 der 32 teilnehmenden Senior:innen (17 wbl., 6 ml., 83,8 (± 4,7) Jahre) wurden die Daten zur Analyse herangezogen werden. Neun Senioren:innen wurden von der Auswertung ausgeschlossen, weil sie aus gesundheitlichen Gründen keine Teilnahmequote von 60 % erreichten. Durchschnittlich haben die 23 Senior:innen an 26,3 (± 3,2) der 30 Interventionseinheiten in den zehn Wochen teilgenommen, so dass die Teilnahmequote 86,3 % beträgt. Die durchschnittliche Spielzeit betrug 12,4 (± 2,5) Minuten.

In der Tabelle 1 sind die Daten der durchgeführten Tests als Mittelwert und Standardabweichung sowie als absolute und relative Veränderung angegeben.

Tabelle 1 Parameter der durchgeführten koordinativen Tests des Prä- und Posttests

Testverfahren	Prä MW (± SD)	Post MW (± SD)	Absolute Diff.	Relative Diff. in %
GG AA [mm <sup>2</sup> ]	852,5 (±569,3)	834,3 (±504,8)	-18,2	-2,0
GG AZ [mm <sup>2</sup> ]	884,0 (± 755,0)	913,3 (±715,5)	29,3	3,3
GG ST li [mm <sup>2</sup> ]	1483,3 (±877,5)	1333,3 (±870,5)	-150,0	-10,1
GG ST re [mm <sup>2</sup> ]	1437,9 (±730,3)	1456,8 (±626,6)	18,9	1,3
GG dyn. [s]	103,5 (±90,8)	91,7 (±93,5)	-14,9	-14,4
TuG [s]	21,3 (±7,8)	22,5 (±8,6)	1,2	5,6
FES [Punkte]	22,2 (±7,3)	21,5 (±8,9)	-0,7	-3,2

Bezüglich des statischen Gleichgewichts wurde für die Standpositionen beidbeinig Augen Auf (GG AA) und ST links (GG ST li) eine Verringerung der Schwankungsfläche beim Posttest festgestellt (rel. Diff.: GG AA = -2,0 %; GG ST li = -10,1%). Hingegen wurde beim beidbeinigen Stand mit Augen zu (GG AZ) und ST rechts (GG ST re) eine vergrößerte Schwankungsfläche im Vergleich zum Prätest ermittelt (rel. Diff.: GG AZ = 3,3 %; GG ST re = 1,3%). Die Abbildung 2 gibt einen Überblick der Schwankungsfläche der einzelnen Proband:innen, wobei 12 der 23 Proband:innen eine verringerte Schwankungsfläche zeigen, die bei P21, P22 und P28 recht deutlich ausfällt. Bei P12 und P19 hingegen musste beim Posttest eine deutlich vergrößerte Schwankungsfläche festgestellt werden.

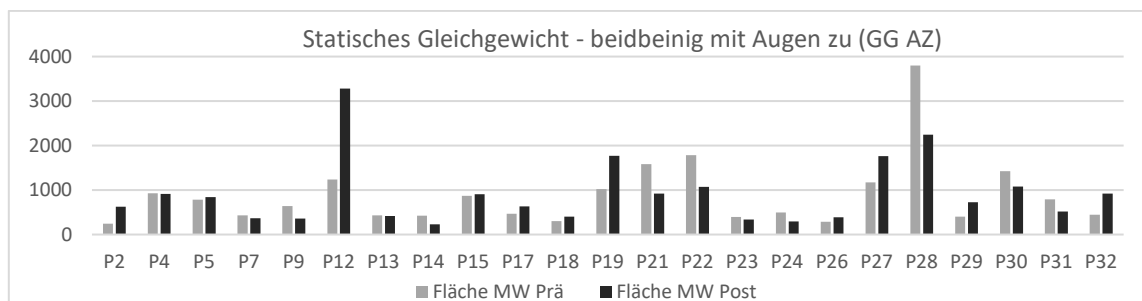


Abbildung 2 Überblick über die einzelnen Werte des Gleichgewichtstest mit geschlossenen Augen im beidbeinigen Stand.

Hinsichtlich der Sturzangst zeigt sich beim FES eine Verringerung des Posttestwertes (21,5 Punkte) im Vergleich zum Prätest mit 22,2 Punkten. Dies ist eine relative Differenz von -3,2 %.

Die für den TUG-Test benötigte Zeit ist beim Posttest mit 22,5 s im Vergleich zum Prätest mit 21,3 s leicht angestiegen (rel. Diff. 5,6 %). Dennoch blieb bei allen Senior:innen das Mobilitätsniveau gleich.

#### **4. Diskussion**

Die durchgeführte Interventionsstudie im Prä-Post-Design verfolgte das Ziel, mithilfe von SGs Effekte auf die koordinativen Fähigkeiten von Senior:innen festzustellen. Zur Bewertung der relativen Veränderung der Parameter vom Prä- zum Posttest wurde ein Wert von mehr als 5 % Abnahme als Verbesserung festgelegt. Eine Veränderung von 0 bis 5 % Abnahme wird als Stabilisierung gewertet.

Die Werte des Gleichgewichts mit offenen Augen (-2,0 %) und geschlossenen Augen (3,3 %), im ST-Stand rechts (1,3 %) sowie der FES-Wert (-3,2 %) sind stabil geblieben. Diese Stabilisierung der genannten Parameter ist für die untersuchte Stichprobe als positiv zu bewerten. Beim Gleichgewicht im ST-Stand links (-10,1 %) und im dynamischen Gleichgewicht (Sternstest, -14,4 %) konnte zudem eine deutliche Verbesserung ermittelt werden. Die relative Veränderung von -14,4 % im dynamischen Gleichgewichtstests ist im Vergleich aller untersuchten Parameter am deutlichsten, was den Erwartungen entspricht, da hier die Zielsicherheit untersucht wird. Verbesserungen der Gleichgewichtsfunktion und der Bewegungs-/Haltungskontrolle werden auch von Zhao et al. (2020) berichtet.

Die leicht verringerte Sturzangst (FES) ist ein positives Zeichen, die auch Zhao et al. (2020) ermittelten. Jedoch gibt es Proband:innen, die nach der Intervention einen größeren FES-Wert aufweisen. Hier könnte die Intervention dazu geführt haben, sich dem eigenen Unvermögen bewusst zu werden. Beim TUG wurde mit einer relativen Veränderung von 5,6 % eine leichte Verschlechterung festgestellt. Diese ist teilweise auf Schwierigkeiten bei der Durchführung zurückzuführen, da krankheitsbedingt ein andere/r Untersucher:in den Posttest übernahm. Einige Proband:innen hatten im Prä- im Gegensatz zum Posttest die 3m-Linie nicht vollständig überschritten.

Wegen der bisher geringen Anzahl an zur Verfügung stehenden Senior:innen in den Pflegeeinrichtungen konnte bisher keine Kontrollgruppe parallel untersucht werden, so dass die Ergebnisse auch aus diesem Grund als vorläufig betrachtet werden müssen.

#### **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Mit computergestützten Gleichgewichtsspielen, SGs, soll das Fortschreiten der Demenz und ihrer Folgen (Funktionseinschränkungen und Stürze) aufgehalten werden. Eine positive Tendenz ist erkennbar, wobei die Daten zunächst deskriptiv ausgewertet wurden und keine Kontrollgruppe zum Vergleich zur Verfügung stand.

Im nächsten Schritt soll eine inferentielle Statistik durchgeführt werden, um zu bewerten, ob es sich um signifikante Unterschiede handelt. Zwar ist die Stichprobengröße mit 23 Proband:innen gut, dennoch sollen in weiteren Pflegeeinrichtungen Interventionsstudien durchgeführt werden, um so ein besseres Bild von der Wirkung der SGs zu be-

kommen. Bei einer größeren Stichprobe könnten auch der Demenzgrad oder die Jahreszeit als Einflussfaktoren untersucht werden. Zudem wäre es wichtig, eine Kontrollgruppe in die Studie einzubeziehen, um die Ergebnisse besser einschätzen zu können.

## Quellen

- Buchner, D.M., Larson, E. (1987). *Falls and fractures in patients with Alzheimer-type dementia*. *Jama*. 1987; 257(11), 1492-1495.
- Arriaga, P., Esteves, F., & Fernandes, S. (2013). *Playing for Better or for Worse?: Health and Social Outcomes with Electronic Gaming*. In M. Cruz-Cunha, I. Miranda, & P. Gonçalves (Eds.), *Handbook of Research on ICTs for Human-Centered Healthcare and Social Care Services* (pp. 48-69). IGI Global.  
<https://doi.org/10.4018/978-1-4666-3986-7.ch003>
- Harrington, K., Craven, M.P., Wilson, M.L., Landowska, A. (2022). *Perceptions of Cognitive Training Games and Assessment Technologies for Dementia: Acceptability Study With Patient and Public Involvement Workshops*. *JMIR Serious Games*. 2022
- Huxhold, O., Schäfer, S., Lindenberger, U. (2008). *Wechselwirkungen zwischen Sensorik und Kognition im Alter*. *Z Gerontol Geriatr*.  
doi:10.1007/s00391\_008\_0566\_3.
- Kustanovich, M., Posmyk, A., Didczuneit-Sandhop, B., Beck, E. & Orlowski, K. (2023). *Serious Games für Senior:innen - Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten*. NWK23, Wernigerode.
- Wiemeyer, J. (2018). *Spielerische Forderung körperlicher Aktivität von Älteren: Theorie und Empirie*. *Pravent Gesundheitsförderung*. 13(4):285–91.
- Vatareck, E. (2022). *Sturzprophylaxe - Risikofaktoren, Maßnahmen & Ziele*.  
<https://pflegebox.de/ratgeber/pflege/sturzprophylaxe/>
- Zhao, Y., Feng, H., Wu, X., et al. (2020). *Effectiveness of Exergaming in Improving Cognitive and Physical Function in People With Mild Cognitive Impairment or Dementia: Systematic Review*. *JMIR Serious Games*;8:e16841.  
<https://doi.org/10.2196/16841>.

# Serious Games für Senior:innen – Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten

Maria Kustanovich<sup>1</sup>, Anna Posmyk<sup>2</sup>, Birgit Didczuneit-Sandhop<sup>1,2,3</sup>, Eberhard Beck<sup>1</sup>, Katja Orlowski<sup>1</sup>

1 Technische Hochschule Brandenburg, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg/Havel

2 Medizinische Hochschule Brandenburg, Nicolaiplatz 19, 14770 Brandenburg/Havel

3 Universitätsklinikum Brandenburg, Hochstr. 29, 14770 Brandenburg/Havel

## Abstract

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss von Serious Games (SG) auf die kognitiven Fähigkeiten demenzerkrankter Senior:innen über einen Zeitraum von zehn Wochen zu untersuchen. Hierzu wurden kognitive Tests vor und nach dem Interventionszeitraum durchgeführt und die Daten vergleichend gegenübergestellt.

## 1. Einleitung

Demenz ist eine progressive neurodegenerative Erkrankung mit variablen Krankheitsverlauf und definiert als Verlust höherer kognitiver Funktionen und Alltagskompetenzen (S3 Leitlinie Demenzen, 2016). Die Betroffenen haben zunehmend Schwierigkeiten sich Informationen einzuprägen, sich zu orientieren, Zusammenhänge zu erkennen sowie sich gezielt zu konzentrieren (Sell, 2022). Demenz im Seniorenalter kann viele Folgen nach sich ziehen, die nicht nur das alltägliche Leben stark einschränken, sondern zusätzlich auch noch eine sichtbare Verschlechterung der kognitiven Fähigkeiten betreffen. Aktuell sind in Deutschland rund 1,8 Millionen Menschen an Demenz erkrankt (Sell, 2022, Dt. Alzheimer Gesellschaft, 2022).

SGs verfolgen neben dem Entertainmentfaktor mindestens ein weiteres Ziel. Sie stellen eine Integration und Verknüpfung von Spiel und Lernen/Training für ernsthafte Zwecke wie Bewegung, Gesundheit oder Prävention her (Wiemeyer et al., 2011). Durch gezielten Einsatz von Spielelementen soll die Motivation und das Interesse der Spielenden gesteigert werden, sodass über die gesteigerte Partizipation ausgewählte Kompetenzen, wie die Kognition, trainiert werden (Wiemeyer, 2016). Studien haben gezeigt, dass SGs einen positiven Einfluss auf das Gedächtnis haben können. Mittels SGs kann eine Stabilisierung oder sogar Verbesserung kognitiver Fähigkeiten erreicht werden (Rogge et al., 2017; Tong et al., 2017, Saragih et al., 2022).

Um zu erforschen, ob die an unserer Hochschule entwickelten SGs eine positive Wirkung auf die kognitiven Fähigkeiten von Senior:innen mit leichter bis mittelschwerer Demenz haben, wurden Interventionsstudien im Prä-Post-Design durchgeführt.

## 2. Material und Methoden

Zu Studienbeginn sowie -ende wurden folgende Tests eingesetzt: (1) Mini Mental Status Test (MMST), der Auskunft über die Orientierungsfähigkeit gibt, (2) der Trail Making Test in den Versionen A und B (TMT\_A, TMT\_B), der die Hirnfunktionsleistung überprüft und (3) die Geriatriische Depressionsskala (GDS), die Auskunft gibt, ob eine Depression vorliegt. Die Intervention erfolgte über einen Zeitraum von zehn Wochen, wobei dreimal wöchentlich je 10-15 Minuten mit den verschiedenen SGs trainiert wurde. Diese werden

durch die Verlagerung des Körperschwerpunkts (KSP) auf einer Kraftmessplatte (KMP) gesteuert.

Für das Training standen sechs SGs aus zwei Kategorien zur Verfügung und konnten von den Senior:innen frei gewählt werden. Die Spiele MusicGame, PickIT Game und Memory Game haben einen kognitiven Fokus. Beim Music Game geht es um das Erkennen von Bildern, die durch Kacheln verdeckt sind. Diese werden bei der Verlagerung nach links, rechts, vorn oder hinten entsprechend entfernt. Um den Spieler zu animieren, immer in Bewegung zu bleiben, spielt bei aktiver Bewegung Musik. Beim Spiel PickIT gibt es zwei Spielmodi: entweder wird ein Bild oder ein Wort gezeigt, zu dem das passende Wort/Bild aus vier Wörtern/Bildern ausgewählt werden soll. Beim Memory Game handelt es sich um die digitale Version des klassischen Memorys. Es gibt fünf Level mit bis zu zehn Kartenpaaren. Die Spiele BalanceBall, Surflex und Waldspaziergang mit koordinativen Fokus werden im Beitrag von Abu Esbaa et al. (2023) vorgestellt.

Die Daten des Prä- und Posttests wurden vergleichend gegenübergestellt, um die Wirkung des Trainings mit den SGs beurteilen zu können. Für den Vergleich kamen Methoden der deskriptiven Statistik zum Einsatz.

An den Interventionsstudien in den Jahren 2021 und 2022 nahmen 32 Proband:innen aus verschiedenen Pflegeeinrichtungen freiwillig teil. Sie oder ihre gesetzlichen Vertreter:innen gaben ihre schriftliche Zustimmung zur Teilnahme. Einschlusskriterien waren u.a. ein MMST-Wert größer zehn, die Fähigkeit eine 3 m-Wegstrecke laufen zu können (mit Hilfsmittel) und für zehn Minuten stehen zu können, da die Spiele auf einer KMP stehend mittels KSP-Verlagerung gesteuert werden.

### 3. Ergebnisse

Die Daten von 23 Proband:innen wurden zur Auswertung herangezogen (17 wbl., 6 ml., 83,8 ( $\pm$  4,7) Jahre). Die Proband:innen haben durchschnittlich an 26,3 ( $\pm$  3,2) von 30 Interventionen teilgenommen. Die Teilnahmequote (TQ) beträgt 86,3 % und die durchschnittliche Spielzeit 12,4 ( $\pm$  2,5) Minuten. Probanden, die die festgelegte Mindest-TQ ( $\geq$  60 %) nicht erreichten (z.B. aus gesundheitlichen Problemen), wurden von der Auswertung ausgeschlossen.

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt die Veränderung in Prozent an. Der Punktwert des MMST-Posttests (N = 23) hat sich im Mittel um mehr als einen halben Punkt von 22,1 auf 22,7 Punkten erhöht (rel. 2,7 %). Der TMT\_A (N = 18) wurde beim Posttest 2,4 Sekunden schneller absolviert. Der Fehler „abgesetzt“ reduzierte sich von 2,5 auf 2,1. Die Zeit, die die Proband:innen (N = 13) für den TMT\_B beim Posttest benötigen haben, ist um 4,5 Sekunden angestiegen (Prä: 303,9 ( $\pm$  110,1) s; Post: 308,4 ( $\pm$  114,5) s). Der Fehler „abgesetzt“ reduzierte sich beim TMT\_B von 3,5 auf 2,5. Der GDS-Wert des Posttests (N = 23) hat sich durchschnittlich um mehr als einen halben Punkt von 3,7 auf 3,0 Punkte verringert.

*Tabelle 1 Prä- und Posttestvergleich der kognitiven Tests als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) sowie als absolute und relative Differenz.*

Testverfahren	Prä MW ( $\pm$ SD)	Post MW ( $\pm$ SD)	Absolute Diff.	Relative Diff. in %
MMST [Punkte]	22,1 ( $\pm$ 5,0)	22,7 ( $\pm$ 5,9)	0,6	2,7
TMT_A Zeit [s]	127,2 ( $\pm$ 60,8)	124,8 ( $\pm$ 62,5)	-2,4	-1,9
TMT_A Fehler abgesetzt	2,5 ( $\pm$ 2,0)	2,1 ( $\pm$ 1,0)	-0,4	-16,0

Testverfahren	Prä MW ( $\pm$ SD)	Post MW ( $\pm$ SD)	Absolute Diff.	Relative Diff. in %
TMT_B Zeit [s]	303,9 ( $\pm$ 110,1)	308,4 ( $\pm$ 114,5)	4,5	1,5
TMT_B Fehler abgesetzt	3,5 ( $\pm$ 2,7)	2,5 ( $\pm$ 2,8)	-1,0	-28,6
GDS [Punkte]	3,7 ( $\pm$ 3,2)	3,0 ( $\pm$ 3,1)	-0,7	-18,9

Abbildung 1 (links) veranschaulicht die Ergebnisse des MMSTs aufgeteilt nach Schweregraden. Der Anteil der Proband:innen der leichten sowie mittelschweren Demenz verringerte sich, jedoch muss nach dem Posttest ein/e Proband:in dem Demenzgrad schwer zugeordnet werden. Die Anzahl an Proband:innen, die nach Einschätzung des MMST keine Demenz haben ist von vier auf neun gestiegen.

Zudem stellt Abbildung 1 (rechts) die GDS im Prä- und Post-Vergleich eingeteilt in die drei Kategorien normal, leicht-mäßig und schwer dar. Die Anzahl der Proband:innen mit einer schweren Depression ist geringfügig um eine Person gestiegen, die Anzahl der Proband:innen ohne erkennbare Depression hat sich im Posttest um 4 auf 21 erhöht.

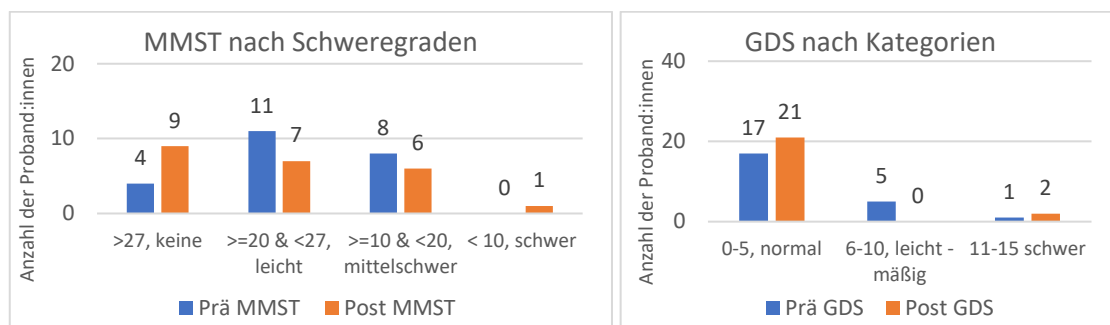


Abbildung 1 Links: Prä- und Posttest des Mini Mental Status Test (MMST) im Vergleich. Rechts Punktzahl der Geriatrischen Depressionsskala (GDS) im Prä- und Posttest Vergleich

#### 4. Diskussion

Die im Prä-Post-Design durchgeführte Interventionsstudie verfolgte das Ziel, mithilfe von SGs positive Auswirkungen auf kognitiven Fähigkeiten von Senior:innen festzustellen. Um die Veränderungen zu bewerten, wurde festgelegt, dass eine Zunahme (MMST) bzw. Abnahme (TMT A, TMTB, GDS) um mindestens 5 % eine Verbesserung darstellt, während eine Veränderung von 0 bis 5 % als Stabilisierung angesehen wird.

Beim MMST ist der Wert mit 2,7 % Veränderung konstant geblieben. Dies wird als Stabilisierung gewertet. Saragih et al. konnten in ihrer Metaanalyse herausstellen, dass SGs durch ihr umfassendes systematisches kognitives Training mit einer Vielzahl von Aktivitäten die Bereiche Denken, visuelle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit stimulieren. Sie betonen, dass Proband:innen vom konstruktivem Lernen auf neurologischer Ebene profitieren, welches zur verbesserten kognitiven Funktion führt (Saragih et al., 2022).

Lager et al. konnten in ihrer Metaanalyse herausstellen, dass die Reaktionsgeschwindigkeit bei älteren Menschen nach dem regelmäßigen Spielen von Computerspielen ansteigt (Lager et al., 2007). Im TMT\_A, der die Exekutivfunktion betrachtet, waren die Proband:innen nach der Intervention um rund 2,4 s schneller (rel. Abnahme: -1,9 %). Auch die Fehlerquote verringerte sich absolut um -0,4 (rel. Abnahme: -16 %). Dies stellt eine Stabilisierung des Parameters dar. Beim TMT\_B haben die Proband:innen im Mittel

mit 4,5 s etwas mehr Zeit benötigt (rel. Zunahme: 1,5 %), jedoch verringerte sich der Fehler relativ um -28,6 %. Diese Veränderung wird jedoch als Stabilisierung gewertet.

Bei der GDS hat sich der psychische Allgemeinzustand bei elf Personen verbessert, von denen vier nach der Intervention keine Depression mehr aufwiesen. Die relative Abnahme von -18,9 % zeigt eine deutliche Verbesserung des Gemütszustandes, was auch vom Betreuungspersonal der Einrichtungen berichtet wurde. Depressionen sind häufige Begleitsymptome im dementiellen Entwicklungsprozess. Das Spielen von SGs kann eine Steigerung des Stimmungszustands und Verringerung depressiver Symptome zur Folge hat (Saragih et al., 2022).

Es wird deutlich, dass diese Intervention bei der vorliegenden Stichprobe mit einer Verbesserung eines Parameters (GDS) sowie der Stabilisierung zweier Parameter (MMST, TMT) als positiv zu bewerten ist. Jedoch lässt die Auswertung, die bislang nur deskriptiv erfolgte, noch keine Verallgemeinerung zu. Ferner wurde bisher aus Mangel an Probanden noch keine Kontrollgruppe betrachtet.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die in der Interventionsstudie untersuchte Wirkung der SGs auf die kognitiven Fähigkeiten der Senior:innen mit leichter bis mittelschwerer Demenz ist positiv einzuschätzen. Zwar sind noch keine verallgemeinerten Schlüsse möglich, da u.a. eine Kontrollgruppe zum Vergleich nicht zur Verfügung stand. Dennoch ist eine positive Tendenz erkennbar. Bei der Durchführung der Interventionen wurde beobachtet, dass die teilnehmenden Senior:innen viel Freude hatten. Dennoch ist der Effekt individuell und hängt von vielen Faktoren ab, die zukünftig untersucht werden.

Im nächsten Schritt soll eine inferentielle Statistik durchgeführt werden, um einschätzen zu können, ob die gezeigten Unterschiede signifikant sind. Zudem müssen weitere Studien in Pflegeeinrichtungen durchgeführt werden, um eine noch größere Datenbasis zu bekommen und den Effekt abschließend beurteilen zu können.

## Quellen

Abu Esbaa, L., Didczuneit-Sandhop, B., Beck, E. & Orlowski, K. (2023). *Serious Games für Senior:innen – Einfluss auf die koordinativen Fähigkeiten*. NWK23, Wernigerode.

Dt. Alzheimer Ges. e.V. Selbsthilfe Demenz (Hrsg.) (2022). *Die Häufigkeit von Demenzerkrankungen*. [https://www.deutsche.alzheimer.de/fileadmin/Alz/pdf/factsheets/infoblatt\\_1\\_haeufigkeit\\_demenzerkrankungen\\_dalzg.pdf](https://www.deutsche.alzheimer.de/fileadmin/Alz/pdf/factsheets/infoblatt_1_haeufigkeit_demenzerkrankungen_dalzg.pdf)

Dt. Ges. für Psychiatrie und Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde (DGPPN), Dt. Ges. für Neurologie (DGN), Dt. Alzheimer Ges. e.V. – Selbsthilfe Demenz. (Hrsg.) (2016). *S3 Leitlinie-Demenzen, Langversion*. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/038-013>

Lager, A., & Bremberg, S. (o. J.). *Health effects of video and computer game playing: A systematic review*. Swedish National Institute of Public Health.

Rogge, A. K., Röder, B., Zech, A., Nagel, V., Hollander, K., Braumann, K. M., & Höting, K. (2017). *Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults*. *Scientific reports*, 7(1), 5661. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06071-9>

- Saragih, I.D., Everard, G. & Lee, B.O. (2022). *A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials on the effect of serious games on people with dementia*. *Ageing Res Rev.*;82:101740
- Sell, S. (2022). *Neue Zahlen zu Demenzerkrankungen in Deutschland*. <https://aktuelle-sozialpolitik.de/2022/08/16/neue-zahlen-zu-demenzerkrankungen-in-deutschland/>
- Tong, T., Chan, J. & Chignell, M. (2017). *Serious Games for Dementia*. Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion. 1111-1115.
- Wiemeyer, J., Kliem, A. (2012). *Serious games in prevention and rehabilitation-a new panacea for elderly people?*. *Eur Rev Aging Phys Act* 9, 41-50.  
<https://doi.org/10.1007/s11556-011-0093-x>
- Wiemeyer, J. (2016). *Serious Games für die Gesundheit. Anwendung in der Prävention und Rehabilitation im Überblick*. Springer Verlag



# Interpretative Analyse rechtsextremistischer Meme am Beispiel einer rechten Jugendorganisation

Dr. Vincent Knopp

Hessische Hochschule für öffentliches Management und Sicherheit (HöMS), Campus Wiesbaden (Forschungsprojekt „Meme, Ideen, Strategien rechtsextremistischer Internetkommunikation“, MISRIK), Schönbergstraße 100, 65199 Wiesbaden

Was verbindet einen zerknitterten Frosch, ein im Niqab verhülltes Funkenmariechen und halbnackte Foto-Models? Sie alle sind unfreiwillige Kämpfer\*innen memetischer Kriegsführung (Merrin, 2018) und somit Teil der rechten „autoritären Revolte“ (Weiß, 2017). Spätestens seit dem US-amerikanischen Wahlkampf 2015 sind Meme ein Markenzeichen (extrem) rechter, metapolitisch orientierter Online-Strategien (Strick, 2021).<sup>1</sup> Als multimodale Text-Bild-Arrangements, die – oft ironisierend – v. a. in sozialen Netzwerken kolportiert werden, bedienen sich Meme häufig einer humoristischen Herangehensweise (MISRIK, 2022). Zu den rechten Organisationen, die seit ihrer Gründung auf Meme zurückgreifen, gehört die Junge Alternative für Deutschland (JA).

Ein aus 94 Memen bestehendes Daten-Sample – 2015-2022 zusammengestellt und mittels interpretativer Verfahren analysiert – bildet die empirische Basis. Der gewählte Forschungsansatz ist die Interpretative Policy-Analyse (Münch, 2016), als Auswertungstool wurde die Software MAXQDA eingesetzt. Die Untersuchung fußt auf Erkenntnissen des Verbundprojekts „Meme, Ideen, Strategien rechtsextremistischer Internetkommunikation“ (MISRIK), welches an der Hessischen Hochschule für öffentliches Management und Sicherheit (HöMS) sowie an der Universität Mainz und an der TU Darmstadt angesiedelt ist.

## Warum Meme(n)?

Das bewusste Einsetzen von Memen wird innerhalb des Rechtsaußenspektrums als strategisches Mittel diskutiert und reflektiert (Wegner, 2017). So findet sich etwa im 2018 online erschienenen extrem rechten Handbuch für Medienguerillas folgender Hinweis: „Wir alle verarschen gerne Opfer im Internet. (...) Die Menschen sprechen mehr auf Bilder an, als auf Text. Mit Bildern kann man hervorragend memetische Kriegsführung betreiben und sein Narrativ unters Volk bringen“ (D-Generation, 2018).

Meme unterbreiten Mitmachangebote: Die Rezipierenden sind immer auch diejenigen, die die Meme potenziell weiterentwickeln und -verbreiten. Dieses in der Partizipationsforschung mithilfe der Kofferwörter Prosuming und Produsage verhandelte Phänomen trifft auf rechtsextremistische Meme in besonderem Maße zu: „In Anlehnung an den Begriff des ‚Prosuming‘, mit dem die Synthese aus Produzieren und Konsumieren in

---

<sup>1</sup> Rechtsextremismus im Verständnis des Verfassers fußt auf drei Säulen: Erstens auf dem Konzept der ethnisch und/oder weltanschaulich homogenen „Volksgemeinschaft“ als mythischer, oft retrotopisch verklärter Zielvorstellung, zweitens auf der Betonung von Ungleichheit und Ungleichwertigkeit, drittens auf Ideologien und Ideologemen, die hier aus Platzgründen nicht näher ausgeführt werden können (v. a. Antipluralismus, Antiliberalismus, Rassismus, Antisemitismus, Demokratiefeindlichkeit, Sozialdarwinismus).

neueren marktbezogenen Praktiken bezeichnet wird, wird mit ‚Produsage‘ die für interaktive Netzpraktiken typische Verbindung von Mediennutzung und Medienproduktion auf den Begriff gebracht“ (Baringhorst, 2013, S. 19).

Inwiefern Meme auch als (eigenständige) Form der (Online-)Partizipation betrachtet werden können, ist ein Desiderat. Denkbar ist, dass memetische Kommunikation denjenigen, die an ihr mitwirken, das Gefühl des Dazugehörens zu einer Ingroup ermöglicht. Diese Ingroup-Konstruktion verläuft oft auf Kosten derjenigen, die die Ikonographie rechtsextremistischer Meme unterschiedlichen Outgroups zurechnet.

### Das Beispiel Junge Alternative (JA)

Der 2013 gegründeten JA gelang 2015 die Angliederung an die AfD: Die JA ist seitdem Parteijugend. Beobachter\*innen konstatierten die Einflussnahme der JA auf AfD-Diskurse und attestierten ihr die Koketterie mit provokanten, polarisierenden Inhalten, mittels derer die JA ihren Bekanntheitsgrad sukzessive steigerte (Herkenhoff, 2016, S. 202; Knopp, 2017, S. 296-302). Die JA wird durch das Bundesamt für Verfassungsschutz und die Verfassungsschutzbehörden mehrerer Länder als Verdachtsfall für eine extremistische Bestrebung eingestuft und beobachtet (SPIEGEL Online, 2022).

Mithilfe des analysierten Datensatzes kann gezeigt werden, dass die JA in ihrer memetischen Bildsprache folgende Narrative am häufigsten aufruft: 21 Meme lassen sich dem Narrativ „Politiker\*innen der etablierten Parteien sowie deren Policies sind lächerlich“ zuordnen. Zwölf Meme entfallen auf das Narrativ „Die EU und/oder einzelne ihrer Institutionen sind illegitim“, zehn auf „Bestimmte Formen der Zuwanderung sind gefährlich“ und acht auf „Die von linken Spektren kolportierten Utopien sind heuchlerisch und/oder gefährlich“.

Als zentrale Kommunikationsmittel lassen sich Personalisierung, Provokation, Polarisierung, Insinuation und Retorsion beobachten (Knopp, 2017, S. 290-305). Anhand eines Beispiels, welches auf die kommunikativen Mittel der Retorsion und der Provokation zurückgreift, soll gezeigt werden, wie sich der von der JA geführte *meme war* äußert.



Abbildung 1: Mem der Jungen Alternative Hessen e. V. (eigener Screenshot. Urheber: Junge Alternative Hessen e. V. Quelle: [https://twitter.com/ja\\_hessen/status/1253009721843486723](https://twitter.com/ja_hessen/status/1253009721843486723), letzter Abruf am 17. 11. 2022)

Das Mem zeigt zwei junge Menschen – eine Frau und einen Mann –, die Seite an Seite stehen. Sie halten gemeinsam eine rote Fahne. Beide Figuren tragen Kleidung, die an politische Jugendorganisationen aus der Zwischenkriegszeit erinnert. Im Hintergrund ist ein Sternenhimmel, durch den Raketen, Raumschiffe und ein UFO fliegen.

Das Mem wandelt ein in den 1950er-Jahren veröffentlichtes Propagandaplakat der UdSSR ab. In dem originalen Plakat hatte die Aufschrift in der roten Fahne „Wir öffnen (Ihnen) ferne Welten“ geheißen. Es hatte das Raumfahrtprogramm der UdSSR beworben. Das JA-Mem zeigt das sowjetische Propagandaposter mit veränderter Aufschrift: In der roten Fahne steht in gelben Großbuchstaben „Shitposter, hinein in die Junge Alternative“. Die Exklamation ist der kommunistischen Propaganda entlehnt, die insbesondere in der Zwischenkriegszeit Imperative wie „Hinein in die KPD!“ verwendete. Bei dem Mem handelt es sich also um eine offensive Mitgliederwerbung, die – in provokativer Absicht – ikonographisch und ikonologisch die Grenzen politischer Lager überschreitet. „Shitposter“ rekurriert auf den mit Blick auf rechte Internetspektren verbreiteten Vorwurf des Trollings und eben Shitpostings. Die JA greift diesen Vorwurf mit dem Mittel der Retorsion auf, indem sie ebenjenes Netzmilieu als Rekrutierungsfeld potenzieller Neumitglieder anspricht und umwirbt. Das Posting ist in dieser Hinsicht provokant, da es versucht, die politischen Gegner\*innen der JA Hessen zu reizen: Die Provokation besteht einerseits in der Verwendung kommunistischer Ikonographie. Andererseits provoziert die JA, indem sie im Stile einer Geusen-Retorsion den Begriff „Shitposter“ positiv konnotiert und die gemeinten Akteur\*innen umwirbt. Der Aussagegehalt des originalen Plakats – Einbettung des UdSSR-Raumfahrtprogramms in das realsozialistische Fortschrittsnarrativ – wird ebenfalls qua Retorsion aufgegriffen: Die JA inszeniert sich als technisch fortschrittlich, indem sie die Möglichkeiten von Social Media (u. a. Trolling, Shitposting usw.) instrumentalisiert.

## Fazit

Die Untersuchung legt Korrelationen zwischen den o. g. häufigsten Narrativen und den skizzierten Kommunikationsmitteln nahe. Die von der JA gewählten rhetorischen Mittel – v. a. Personalisierung, Provokation und Retorsion – scheinen geeignet, politische Gegner\*innen unglaubwürdig, lächerlich und inkompetent wirken zu lassen. Das gewählte Beispiel verdeutlicht, wie die auf Verunglimpfung setzende Strategie von der Jugendorganisation selbstironisch aufgegriffen und zu einem Markenkern erhoben wird. Diese via Meme verfolgte, auf politische Geländegewinne setzende Agitation ist eingebettet in ‚neurechte‘ Strategien: etwa den metapolitischen Kampf um kulturelle Hegemonie.<sup>2</sup> Narrative wie die hier gezeigten unterfüttern die Strategie mit (diskriminierenden) Inhalten, die von den Anhänger\*innen der JA und ihrem Umfeld verstanden und – im mehrfachen Wortsinne – geteilt werden.

## Quellen

[Abbildung 1] Junge Alternative Hessen e. V. [@ja\_hessen]. (2020, 22. April). *Shitposter, hinein in die #Junge Alternative*. [Tweet]. Twitter. [https://twitter.com/ja\\_hessen/status/1253009721843486723](https://twitter.com/ja_hessen/status/1253009721843486723)

Baringhorst, S. (2013). Politischer Protest im Zeichen digitaler Kommunikation – Akteure, Themen und Organisationsstrukturen. In K. Sonntag (Hrsg.), *E-Protest: neue soziale Bewegungen und Revolutionen* (S. 11-35). Universitätsverlag Winter GmbH.

---

<sup>2</sup> Die Begriffe Neue Rechte und neurechts sind Eigenbezeichnungen von (extrem) rechten Akteur\*innen, die von wissenschaftlichen und journalistischen Beobachter\*innen oft unkritisch übernommen werden, was einer Verharmlosung dieser Akteur\*innen Vorschub leisten kann (Meiering, 2022).

Bogerts, L. et al. (2019). „Do You Want Meme War?“ Understanding the Visual Memes of the German Far Right. In M. Fielitz, N. Thurston (Hrsg.), *Post-Digital Cultures of the Far Right* (S. 137-153). Transcript.

D-Generation (2018). *Handbuch für Medienguerillas*. Hooligans gegen Satzbau. <https://www.hogesatzbau.de/wp-content/uploads/2018/01/HANDBUCH-F%C3%9CR-MEDIENGUERILLAS.pdf>

Herkenhoff, A.-L. (2016). Rechter Nachwuchs für die AfD – die Junge Alternative (JA). In A. Häusler (Hrsg.), *Die Alternative für Deutschland. Programmatik, Entwicklung und politische Verortung* (S. 201-217). VS Verlag.

Knopp, V. (2017). *Die Junge Alternative für Deutschland (JA) in Nordrhein-Westfalen – Rekonstruktion einer parteipolitischen Profilbildung*. Universitätsbibliothek Siegen.

Meiering, D. (2022). Politische Theorie(n) der ‚Neuen Rechten‘. Jenseits von Anomie und Antagonismus? In D. Meiering (Hrsg.), *Schlüsseltex-te der ‚Neuen Rechten‘. Kritische Analysen antidemokratischen Denkens* (S. 1-30). VS Verlag.

Merrin, W. (2018): President Troll: Trump, 4Chan and Memetic Warfare. In C. Harper/A. Hoskins/W. Merrin (Hrsg.), *Trump's Media War* (S. 201–226). Palgrave Macmillan.

MISRIK (2022). *Meme, Ideen, Strategien rechtsextremistischer Internetkommunikation*. MISRIK. <https://www.philosophie.tu-darmstadt.de/misrik/>

Münch, S. (2016). *Interpretative Policy-Analyse. Eine Einführung*. VS Verlag.

SPIEGEL Online (2022, 16. Oktober). *Junge Alternative wählt als Extremisten eingestuft Soldaten zum Bundesvorsitzenden*. SPIEGEL Online. <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/junge-alternative-waehlt-als-extremisten-eingestuft-soldaten-zum-bundesvorsitzenden-a-95c63033-9622-4369-874a-7aee633ed025>

Strick, S. (2021). *Rechte Gefühle. Affekte und Strategien des digitalen Faschismus*. Transcript.

Wegner, N. (2017). Meme: kognitive Biowaffen im Informationskrieg? *Sezession, Ausgabe 77*, 34-37.

Weiß, V. (2017). *Die autoritäre Revolte. Die NEUE RECHTE und der Untergang des Abendlandes*. Klett-Cotta.

**Teil 7**

**Umwelt und Technik**

# **FINEconcepts - Wissenstransfer und Energiesystemoptimierung mithilfe des digitalen Zwillings**

Klaus Markgraf, Benjamin Dietrich, Katja Müller, Robert Flassig, Peter Flassig

Technische Hochschule Brandenburg, Magdeburger Straße 50, 14770 Brandenburg an der Havel

## **Abstract**

Climate change, but also geopolitical circumstances, are moving topics such as energy efficiency and renewable energies more and more into the focus of the population, economy, and politics. As a result, the will to optimize new and existing energy systems extends from private individuals to companies and even entire communities. This work describes the development and usage of a new software called FINEconcepts which creates a digital twin of an energy system. This virtual model can then be used to optimize the energy system based on annual costs, CO<sub>2</sub> emissions or other relevant criteria such as self-sufficiency. Because all system components, which include renewable technologies as well, can be added as a building block with chosen but changeable parameters, the software allows the user to explore and awaken interest and understanding of technologies that were previously considered too costly, irrelevant, or unrealistic. Implemented projects in small and large companies as well as in residential areas did prove, that the usage of FINEconcepts leads not only to more efficient energy systems by increasing the use of renewable energy, but also increased knowledge and understanding in terms of energy. Besides economics, ecology and security, understanding is an equally important factor in achieving a sustainable energy supply.

**Keywords:** Digitaler Zwilling, Energiesystemoptimierung, CO<sub>2</sub>-Reduktion

## **1 Motivation**

Durch den sich verschärfenden Klimawandel und immer komplexer werdende geopolitische Herausforderungen rücken Themen wie energetische Effizienz und erneuerbare Energien immer weiter in den Fokus. Für Bevölkerung, Wirtschaft und Politik ergibt sich daraus unter anderem die Notwendigkeit, bestehende und neue Energiesysteme zu optimieren.

Trotz umfassender Forschungen im Bereich des wirtschaftlichen und ökologischen Nutzens von erneuerbaren Technologien, existiert noch immer eine Divergenz zwischen Vorurteilen der Bevölkerung und Forschungsergebnissen (Radtke & Canzler, 2019). Um die daraus resultierende Hemmung der Energiewende zu lösen, müssen dem Verbraucher Einsatzpotenziale aktueller Technologien für bedarfsorientierte Zielstellungen auf breiter Ebene plausibel und zugänglich gemacht werden (Radtke & Canzler, 2019). Zu diesem Zweck werden immer häufiger Online-Tools veröffentlicht, welche dem Anwendenden Unterstützung bieten sollen. Aufgrund ihrer einfachen Bedienbarkeit, geben die Tools einen Einblick, sind jedoch für die Beratung zum Aufbau eines Energiesystems ungeeignet. Somit ergibt sich als Ziel des hier beschriebenen Projekts, Energiesysteme als digitalen Zwilling aufzubauen. Im Fokus liegt hier die effiziente Auslegung mithilfe

mathematischer Optimierung nach ausgewählten Aspekten. Dabei soll der Prozess gemeinsam mit dem Verbraucher stattfinden, Freiraum für Konfigurationen lassen und klare Ergebnisse liefern, um einen Wissenstransfer und Akzeptanz für die Optimierung von bestehenden und zukünftigen Energiesystemen zu schaffen.

## **2 Software**

Zur Lösung der in Abschnitt 1 beschriebenen Herausforderung, bedarf es einer Software, welche es dem Anwendenden ermöglicht, intuitiv Erkenntnisse bei der selbstständigen Nutzung des Tools zu gewinnen. Dabei muss die Qualität der Ergebnisse hoch genug sein, um fundierte Entscheidungen treffen zu können.

Einen möglichen Lösungsansatz bietet das Framework FINE (engl.: Framework for Integrated Energy System Assessment), welches vom Institut für Energie- und Klimafor- schung im Forschungszentrum Jülich entwickelt wurde. Dieses ermöglicht den Aufbau eines virtuellen Energiesystems (FINE, o. D.). Hierzu sind jedoch interdisziplinäre Kom- petenzen sowohl im Bereich der Energiesystembilanzierung als auch in der Program- mierung notwendig, um Energieströme aller Energieformen sowie Stoff- und Material- ströme simulieren und optimieren zu können.

Im Zuge des Forschungsprojekts GREEN der Technischen Hochschule Brandenburg wurde die webbasierte Software FINEconcepts zur Optimierung ganzheitlicher Energie- systeme entwickelt (Technische Hochschule Brandenburg, o. D.). FINEconcepts er- möglicht das Erstellen von Systemkomponenten und deren Parametrisierung über eine grafische Benutzeroberfläche. Dabei werden alle Ströme innerhalb des Systems zeit- diskret mit einer stündlichen Auflösung betrachtet. Hierzu wird jeder Komponente, die sich durch einen zeitlich abhängigen Verbrauch/Ertrag auszeichnet, ein spezifischer Last-/Ertragsgang zugewiesen. Dies bietet die Möglichkeit, den zeitgenauen Verbrauch einer Senke mit den zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Quellen zu decken, und dabei stets ein optimales Energiesystem zu modellieren. Die Komplexität der Ener- giesysteme wächst mit der Anzahl ihrer Komponenten. Weiter besitzt jede einzelne Komponente eine Vielzahl technoökologischer und -ökonomischer Parameter, die di- rekten oder indirekten Einfluss auf das Energiesystem haben. Die gesteigerte Kompe- xität bei umfangreichen Energiesystemen steht einer einfachen und intuitiven Bedie- nung entgegen. Somit wird der schmale Grat zwischen einem äußerst komplexen Pro- gramm mit nahezu unzähligen Möglichkeiten und einem intuitiv bedienbaren Programm mit eingeschränkten, aber dennoch individuellen Möglichkeiten, erkennbar. Ein Lö- sungsansatz hierfür wurde in der Software durch ein Bausteinprinzip realisiert. Dieses ermöglicht dem Anwendenden das Hinzufügen von initial parametrisierten Kompen- ten. Die Akquise der hierfür notwendigen Daten wird im folgenden Abschnitt erläutert.

## **3 Datenakquise**

Damit FINEconcepts möglichst genaue Ergebnisse liefert und dem Anwendenden ver- deutlicht, dass sich das modellierte System identisch zum realen verhält, bedarf es einer Vielzahl von individuellen Daten, welche in die Berechnung mit einfließen müssen.

Am wichtigsten sind dabei die spezifischen Verbrauchsdaten des betrachteten Energie- systems, da diese ausschlaggebend für die zu installierenden Kapazitäten alternativer Energiequellen sind. Um das in Abschnitt 2 erwähnte Bausteinprinzip auch im Fall der Verbrauchsdaten vereinfacht anwenden zu können, wurde ein Standardlastprofil der

Kategorie H0 (Haushalt) genutzt, welches auf dem Bedarf elektrischer Energie in Berlin beruht (Netznutzer - Stromnetz Berlin, o. D.). Eine Variationsbreite für Jahresverbräuche wird durch Skalierung des Lastprofils erreicht. Abbildung 1 zeigt einen Lastgang, wobei das für Wohnquartiere charakteristische Badewannenprofil erkennbar ist. Dieses ergibt sich aus der Tatsache, dass in den Sommermonaten aufgrund erhöhter Aktivität im Freien und einem späteren Sonnenuntergang weniger Energie benötigt wird. Die Profile sind für unterschiedliche Standorte bei den ansässigen Netzbetreibern abrufbar. Da einzelne Wohnquartiere nicht ohne Weiteres einen spezifischen Lastgang beziehen können, bietet die Verwendung dieser Standardlastprofile einen adäquaten Ersatz mit ausreichender Genauigkeit. Zur Steigerung der Zuverlässigkeit berechneter Ergebnisse können diese Standardlastprofile stets durch individuell aufgezeichnete Lastgänge ersetzt werden.

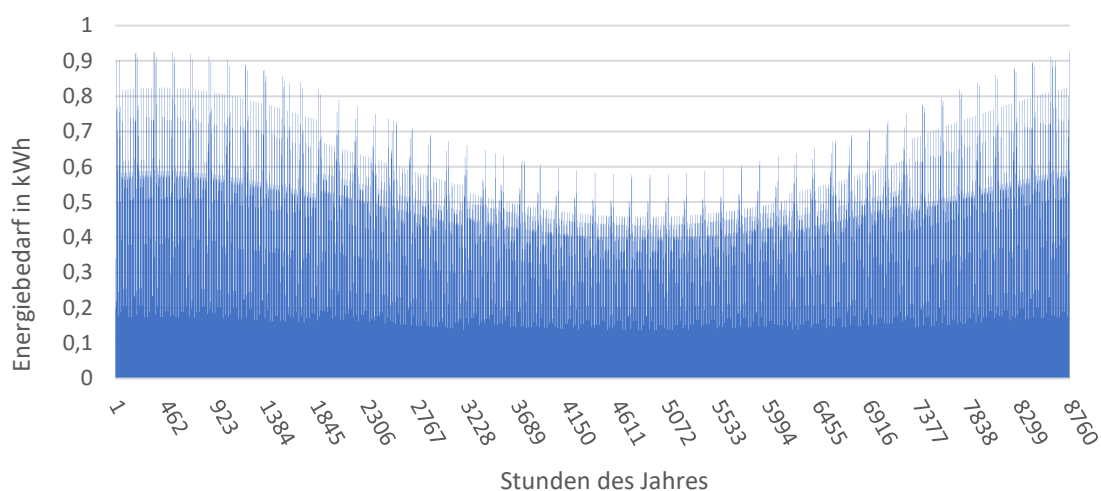


Abbildung 1: Stündlicher Lastgang eines Wohnquartiers mit einem jährlichen Bedarf von 3500 kWh (2022)

Bei der Energiesystemoptimierung von Unternehmen sollten ausschließlich spezifische Lastprofile verwendet werden, da aufgrund des unternehmensartabhängigen Energiebedarfs ein standardisiertes Profil zu sehr vom realistischen Bedarfsprofil abweicht. Spezifische Lastprofile können häufig durch die Datenerfassung des Netzbetreibers beschafft werden.

Neben dem Energiebedarf sind vor allem standortspezifische Wetterdaten für eine Energiesystemoptimierung wichtig. Diese geben Aufschluss, ob und wieviel Energie aus erneuerbaren Quellen für die Deckung einer Last zu einem spezifischen Zeitpunkt zur Verfügung stehen würde. Um möglichst präzise Vorhersagen für den Ertrag aus Sonnen- und Windenergie treffen zu können, greift FINEconcepts auf das Informationssystem PVGIS (Photovoltaik Geographical Information System) zu, welches vom Joint Research Center der Europäischen Kommission entwickelt wurde. Der in PVGIS integrierte Zugriff auf die Solareinstrahlungsdatenbank SARA-2 ermöglicht auf Grundlage historischer Daten eine Prognose der zur Verfügung stehenden Solarenergie in Abhängigkeit vom Standort, Azimut und Neigungswinkel (SARA-2 Solar Radiation Data, o. D.). Die daraus resultierenden Ertragsgänge werden innerhalb von FINEconcepts für jede Komponente separat erstellt und hinterlegt. Auch für windbasierte Technologien können Ertragsgänge mithilfe von PVGIS erstellt werden, wobei jedoch die CDC-Datenbank des Deutschen Wetterdienstes genauere Werte bereitstellt (Climate Data Center, o. D.).



Zusätzlich zu Last- und Ertragsgängen existieren für jede Komponente eines Energiesystems eine Vielzahl technoökologischer und technoökonomischer Parameter, die zur Optimierung eines Energiesystems berücksichtigt werden müssen. Dazu zählen neben kostenbasierten Parametern wie Investitionskosten, Betriebs-, Annuitäten- und Wartungsfaktoren auch jene, die Einfluss auf die Effizienz des Systems nehmen, wie unter anderem Ladungs- und Entladungsraten eines Speichers. Diese Informationen müssen in aktiver Zusammenarbeit mit den Akteuren möglichst individuell aus der Literatur oder vom Hersteller bezogen werden.

Ein weiteres Ziel von FINEconcepts ist die Prognose von CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionspotenzialen. Aktuelle Werte aus der Literatur ermöglichen die Berechnung der Emissionen des jeweiligen Energieversorgungskonzepts. Die Emissionen des deutschen Strommix werden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle mit 366 g CO<sub>2</sub>e/kWh angegeben (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2022). Auch Energie aus erneuerbaren Technologien wird aufgrund des ganzheitlich betrachteten Lebenszyklus mit CO<sub>2</sub>-Äquivalenten belastet. Energie aus Photovoltaik wird mit 56 g CO<sub>2</sub>e/kWh und Energie aus Windkraftanlagen mit 10 g CO<sub>2</sub>e/kWh beaufschlagt (Lauf et al., 2021).

Die anschließende Anpassung und Variation aller Parameter ermöglicht die Erstellung verschiedener Versorgungsszenarien und Sensitivitätsanalysen. Bei der Erstellung eines jeden Bausteins gilt es, dessen Parameter zunächst mit Mittelwerten aus der Literatur zu füllen.

Die Exaktheit der in diesem Abschnitt beschriebenen Daten ist entscheidend für die Qualität der Ergebnisse und entsprechender Beratungsleistungen. Während kleine Energiesysteme wie einzelne Wohnquartiere bereits mittels pauschaler Daten mit ausreichender Genauigkeit beschrieben werden können, sollte bei komplexeren Energiesystemen wie Unternehmen ein zusätzlicher Aufwand bei der Beschaffung individueller Daten betrieben werden.

#### **4 FINEconcepts in Verbindung mit Siemens HEEDS®**

Eine Möglichkeit zur weiteren Optimierung des Energiesystems liegt in der Verwendung zusätzlicher numerischer Methoden. Unter anderem wurde dazu die Software HEEDS® des Konzerns Siemens eingebunden, welche eine multidisziplinäre Designoptimierung ermöglicht (Siemens, o.D.). Dazu laufen verschiedene, direkt mit HEEDS® verknüpfte Programme je nach Bedarf seriell oder parallel ab. Die Parameter, welche in jedem einzelnen Programm Verwendung finden, werden dabei von HEEDS® selbst verwaltet und für die Optimierung einer oder mehrerer Zielgrößen variiert.

Die Einbindung von FINEconcepts in HEEDS® fokussiert zunächst die Verwendung von PV-Anlagen. Ziel ist es, ein Energiesystem zu optimieren und dabei die für dieses System besten Ausrichtungsparameter der PV-Module zu identifizieren. Dies erweist sich vor allem dann als hilfreich, wenn im betrachteten Projekt Freiflächen zur Verfügung stehen, die eine restriktionsfreie Aufstellung der Module ermöglichen. Da innerhalb von HEEDS® Optimierungsziele unkompliziert verändert werden können, bietet die Kombination beider Programme zudem eine gute Grundlage, einzelne Parameter und ihre Einflüsse zu untersuchen und Sensitivitätsanalysen durchzuführen.

Die Optimierung komplexer Systeme ist oftmals mit dem Bedarf einer hohen Rechenleistung und -zeit verbunden. Die in HEEDS® verfügbare Entwurfsraumexploration ermöglicht es, das Optimierungsproblem auf Korrelationen zu prüfen und eine Antwortfläche zu trainieren. Dies kann genutzt werden, um die Entwurfsvariablen schon im Vorfeld einzugrenzen, was den Rechenprozess beschleunigt und dem Anwendenden zudem ein besseres Verständnis über das betrachtete System ermöglicht. Ferner können trainierte Antwortflächen als Prognose dienen. Es gilt stets zu beachten, dass eine Antwortfläche, abhängig von der Anzahl der durchgeführten Berechnungen, mittels verschiedener Verfahren geglättet wird. Somit stellen die der geglätteten Funktion entnommenen Werte keinesfalls exakte Werte dar.

## **5 Anwendungsbeispiele**

Im Zuge des Forschungsprojekts GREEN konnte die Software FINEconcepts in mehreren Projekten mit Kooperationsunternehmen angewandt, validiert und ihre Funktionsfähigkeit zur Zielerreichung bestätigt werden. Folgend werden zwei Hauptprojekte aufgeführt. Dabei werden die Ziele, die Umsetzung mithilfe von FINEconcepts und die Ergebnisse für jedes Projekt zusammenfassend beschrieben.

### **5.1 Dekarbonisierung der Sekundärstahlproduktion (Goschin et al., 2022)**

Zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Sekundärstahlerzeugung wurde eine numerische Studie durchgeführt, bei welcher das mit der Produktion verbundene Energiesystem ganzheitlich betrachtet wurde. Ziel dieses Projekts war es, den gesamten Prozess als virtuelles Modell darzustellen, um Möglichkeiten zur Dekarbonisierung zu identifizieren. Dabei wurden neben Energie- auch Materialströme simuliert, um den Produktionsprozess und die dabei entstehende Prozesswärme, zeitdiskret in die Optimierung einfließen zu lassen. Als Optimierungsmaßnahme wurde unter anderem die Installation einer PV-Anlage und einer ORC-Anlage (engl.: Organic-Rankine-Cycle) simuliert. Ein weiteres Szenario umfasste die Abwärmenutzung zum Betreiben eines Fernwärmenetzes innerhalb der Kommune. Die in Abbildung 2 dargestellten Projektergebnisse zeigen, dass jede Maßnahme zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten beiträgt, wobei jedoch die Installation einer PV-Anlage einen größeren positiven Einfluss hat, als die Installation der ORC-Anlage. Insgesamt konnte mithilfe von FINEconcepts aufgezeigt werden, dass eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 14.000 t pro Jahr mit den simulierten Szenarien möglich ist.

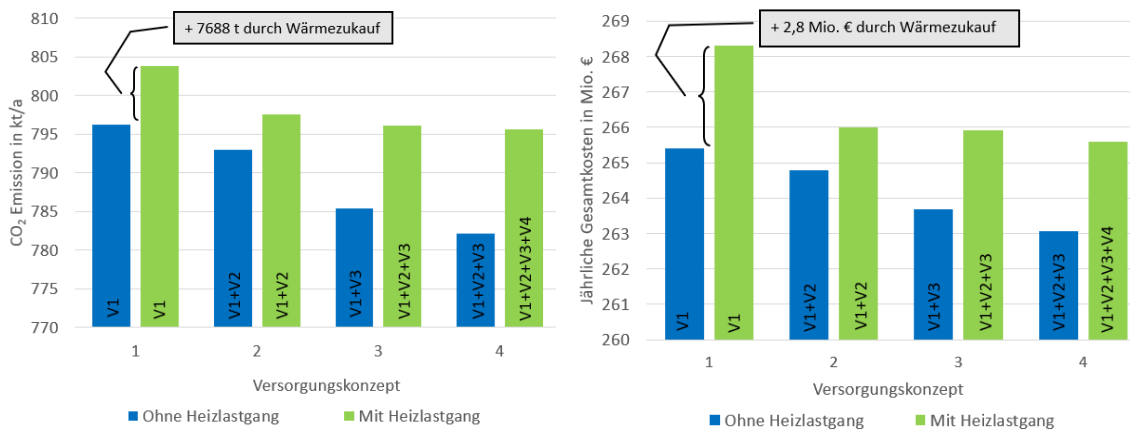


Abbildung 2: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse für CO<sub>2</sub>-Emissionen (links) und jährliche Gesamtkosten (rechts) in den Szenarien: V1 - Ausgangsszenario, V2 - ORC-Anlage, V3 - PV-Anlage, V4 - Wärmespeicher (nach Goschin et al., 2022)

## 5.2 Kosten- und CO<sub>2</sub>-Emissionssenkung eines mittelständischen Unternehmens durch interaktive Zusammenarbeit (Müller et al., 2023)

Bei diesem Projekt handelte es sich um eine vom Unternehmen gewünschte Senkung von Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zusätzlich wurde im Rahmen dieses Vorhabens ein Konzept für eine interaktive Zusammenarbeit unter Verwendung von FINEconcepts entwickelt. So sollte der Aufbau eines Leitfadens für partizipative Beratungsprojekte zur Steigerung des Wissenstransfers in allen Folgeprojekten beitragen. Dazu erfolgte ein wiederkehrender, interaktiver Austausch mit den Akteuren des Unternehmens. Der Wissenstransfer wurde gefördert, indem zunächst ein Brainstorming zur Ideenfindung von alternativen Technologien durchgeführt wurde. Dies hatte zur Folge, dass sich die Entscheidungsträger neben bekannten und etablierten Technologien, auch mit neuen Ideen auseinandersetzten. Neben der Simulation einer PV-Anlage in unterschiedlichen Ausrichtungen und einem Speicher, wurde auch eine Kleinwindkraftanlage (KWKA) in Betracht gezogen und simuliert. Auch bei der Parameterrecherche wurde das Unternehmen aktiv eingebunden. Die für die Simulation benötigten Parameter vermittelten ein tieferes Verständnis für die Bedeutung einzelner Kennwerte in Bezug auf die kompletten Komponenten. Im letzten Schritt wurden die durch das Team erstellten Szenarien mit den Entscheidungsträgern besprochen und interaktiv, live simuliert. Somit wurden die Akteure nicht nur in die Lage versetzt, wiederholt durch kleine Änderungen zu erkennen, wie sich das Gesamtsystem einschließlich Kosten und Emissionen verhält, sondern auch fiktive Situationen wie beispielsweise Preisentwicklungen zu betrachten. Neben dem Verständnis zur Notwendigkeit eines digitalen Zwillings, konnten Handlungsempfehlungen für ein optimiertes Energiesystem entwickelt werden.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse. Dabei unterscheidet sich Szenario B von Szenario A in der Nutzung einer un bebauten Freifläche. Um das Kostenminimum in Szenario B zu erreichen, sieht der Optimierer eine auf der Freifläche vollständig nach Süden ausgerichtete PV-Anlage vor, wodurch sich die installierte Gesamtleistung um 78 kW<sub>p</sub> verringert. Aufgrund höherer Spitzenerträge bleibt der jährliche Netzbezug im Vergleich zu Szenario A trotz verringerter Anlagenleistung nahezu identisch. Die verminderte Installation der PV-Anlagen geht jedoch mit einer geringeren Eigendeckungsrate und höheren jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen einher. Da die Zielstellung nicht nur eine Kosten-, sondern

ebenso auch eine Emissionsreduktion vorsah, wurde Szenario A zur Umsetzung von den Akteuren ausgewählt. Die Verwendung eines Speichers und auch die Installation einer KWKA konnte durch die Simulation als nicht wirtschaftlich und ökologisch für das betrachtete Energiesystem eingestuft werden.

*Tabelle 1: Ergebnisse der Systemmodellierung (Szenario A - Modell ohne Freifläche, Szenario B - Modell mit Freifläche) (nach Müller et al., 2023)*

		Ausgangszustand	Szenario A	Szenario B
Installierte Leistung (PV)	kW <sub>p</sub>	-	312	234
Jährliche Gesamtkosten	€/a	123.000	105.000 (-14,6 %)	103.000 (-16,3 %)
Stromgestehungskosten (PV)	ct/kWh	-	9,54	7,87
CO <sub>2</sub> -Emissionen	t CO <sub>2</sub> e/a	251	178 (-29,1 %)	185 (-26,3 %)
Eigendeckungsrate	%	0	35 (+35 %)	32 (+32 %)
Netzbezug	kWh/a	692.000	449.000 (-35 %)	471.000 (-32 %)

Mit der erfolgreichen Beendigung des Projekts konnte nicht nur die Effizienz des Unternehmens gesteigert, sondern auch ein besseres Bewusstsein, Verständnis und Interesse für energiebezogene Prozesse geschaffen werden. Der entwickelte Leitfaden kann in Folgeprojekten verwendet werden und sichert zukünftig den Wissenstransfer.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die entwickelte Software FINEconcepts ermöglicht dem Anwendenden, ein bestehendes oder geplantes Energiesystem zu simulieren und gezielt zu optimieren. Die Möglichkeit, die Modellierung des Systems durch Bausteinkomponenten zu realisieren, gibt den Akteuren dabei die Freiheit verschiedene Technologien zu implementieren und deren Auswirkung auf das System zu testen. So können auch weniger etablierte Technologien Anwendung finden. Dies erweitert die Perspektive und schafft eine Verbindung zwischen Forschung und Praxis.

Die Modellierung von Energiesystemen mit FINEconcepts kann die Motivation fördern, eigene Energiesysteme zu verstehen und durch eine verbesserte Parametrisierung das vorhandene Optimierungspotenzial auszuschöpfen. Dies wird durch die Zugänglichkeit der Parameteränderung und unmittelbare Darstellung der Auswirkungen auf die Ergebnisse erreicht. Zudem wird hierbei das Vertrauen in die digitale Abbildung der Prozesse erhöht.

Da die meisten mit FINEconcepts geplanten und durchgeführten Projekte zu einer Implementierung erneuerbarer Energiequellen führten, besteht bei der Verwendung dieser oder ähnlicher Softwaretools das Potenzial, den Ausbau eines dezentralen Energienetzes auf Basis erneuerbaren Energien weiter voranzutreiben. Sowohl die Optimierung von Energiesystemen als auch der damit einhergehende Wissenstransfer kann durch die Interaktion der Akteure von Wissenschaft und Praxis gewährleistet werden. Auch dies wurde mittels der durchgeführten Projekte belegt.

Ausblickend kann auf Tools wie FINEconcepts bezüglich der Wissensvermittlung und der Anwendung aufgebaut werden. Um sowohl die generelle Zugänglichkeit zu ermöglichen, als auch Nutzer:innen an das Programm heranzuführen, soll zunächst eine Demoversion mit eingeschränkten Funktionen und Tutorials online zur Verfügung gestellt werden.

Zur Erhöhung der Datengenauigkeit kann FINEconcepts mit Schnittstellen und Algorithmen ergänzt werden, welche den Datenbezug aus Smart-Home Hardwarekomponenten ermöglichen. Aus diesen Datensätzen können Last- und Ertragsgänge modelliert werden, welche die bisher verwendeten Standardprofile ersetzen.

Insgesamt können Nutzende durch mehr Möglichkeiten und genauere Berechnungen mehr über das eigene System lernen und ein tieferes Verständnis für energetische Abläufe im Allgemeinen gewinnen. Dabei sind es dann jedoch nicht äußere Einflüsse, die eine Handlung antreiben, sondern die Erkenntnis des Mehrwerts, den ein Verständnis und die Offenheit für neue Technologien mit sich bringt.

Insgesamt können Nutzende durch gesteigerte Möglichkeiten und genauere Berechnungen mehr über das eigene System lernen. Dabei ist es dann jedoch das Wissen über das mögliche Potenzial, was dazu führt, aus eigenem Antrieb das Verständnis für energetische Abläufe zu vertiefen und ein Vertrauen in neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft zu setzen.

## Quellen

- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2022). *Informationsblatt CO<sub>2</sub>-Faktoren*. BAFA. [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew\\_infoblatt\\_co2\\_faktoren\\_2022.pdf](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf)
- Climate Data Center. (o. D.). *CDC - Climate Data Center*. Deutscher Wetterdienst. <https://cdc.dwd.de/portal/>
- FINE. (o. D.). *Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)*. Forschungszentrum Jülich. <https://www.fz-juelich.de/de/iek/iek-3/forschung/open-source/fine>
- Goschin, T., Vogel, M., & Flassig, R. (2022). *Energy Technologies For Decarbonizing The Steel Processing Industry – A Numerical Study*. IFAC-PapersOnLine, 55(9), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.001>
- Technische Hochschule Brandenburg. (o. D.). *GREEN: Ganzheitliche Lösungen zur regionalen Energiewende für Industrie und Kommune*. <https://technik.th-brandenburg.de/forschung-und-kooperation/projekte/green/>
- Siemens. (o.D.). *Simcenter HEEDS*. Siemens. <https://plm.sw.siemens.com/de-DE/simcenter/integration-solutions/heeds/>
- Lauf, Dr. T., Memmler, M., & Schneider, S. (2021). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger*. Umweltbundesamt.
- Müller, K., Markgraf, K., Kunze, P., & Flassig, R. (2023). *Optimierte Energieversorgung mithilfe eines digitalen Zwillings*. IKZ-Fachplaner 05/2023 (in print)
- Netznutzer-Stromnetz Berlin. (o. D.). Stromnetz Berlin. <https://www.stromnetz.berlin/netz-nutzen/netznutzer/>
- Radtke, J., & Canzler, W. (2019). *Energiewende: Eine sozialwissenschaftliche Einführung*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-26327-0>
- SARAH-2 Solar Radiation Data. (o. D.). *SARAH-2 Solar Radiation Data*. EU Science Hub. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-data-download/sarah-2-solar-radiation-data\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-data-download/sarah-2-solar-radiation-data_en)

# Aspekte einer Schadenskostendatenbank für die sozio-ökonomischen Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen

Lukas Folkens

Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

## Abstract

Niedrigwasserperioden in Flusssystemen haben substanzielle sozio-ökonomische Auswirkungen und bringen Zielkonflikte zwischen konkurrierenden Interessengruppen mit sich. Wie es sich zuletzt in den Dürre- und Hitzesommern 2018, 2019 und 2022 gezeigt hat, führen Niedrigwasserereignisse zu erheblichen wirtschaftlichen Einschränkungen, z.B. in den Bereichen Binnenschifffahrt, Energie und Industrie, Tourismus, Erholung und Freizeit, Land- und Forstwirtschaft und Fischerei. Eine Schadenskostendatenbank, welche diese sozio-ökonomischen Niedrigwasserauswirkungen systematisch erfasst und operationalisiert, existiert bislang jedoch noch nicht. Diese soll im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF-WaX-Initiative) geförderten Verbundprojekts DRYRIVERS als Teil eines ganzheitlichen Niedrigwasserrisikomanagementansatzes bis 2025 entwickelt werden. Darüber hinaus dient sie als Forschungsgegenstand für ein Promotionsvorhaben an der Hochschule Magdeburg-Stendal. Erste Aspekte der Datenbank werden im vorliegenden Beitrag skizziert.

## 1. Hintergrund, Problemstellung und Relevanz

Bereits 2019 warnten Ripple et al. (2019) gemeinsam mit mehr als 11.000 Wissenschaftlern, dass ein Großteil der auf dem Pariser Abkommen basierenden Klimaschutzpläne nicht ehrgeizig genug sei, um „unsägliches menschliches Leid“ durch einen akuten Klimanotstand zu verhindern. Im selben Jahr gelangten Vogel et al. (2019) zu der Erkenntnis, dass der nordhemisphärische Dürresommer 2018 mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ohne die anthropogen bedingten Klimaveränderungen nicht stattgefunden hätte und dass derartige Extrema vor 2010 nicht aufgetreten seien. Gemäß dem Global Risks Report 2022 des Weltwirtschaftsforums gehören Extremwetterereignisse und das Versagen von Klimaschutzmaßnahmen zu den größten globalen Risiken für die Menschheit überhaupt, einhergehend mit vielschichtigen sozialen, ökologischen und ökonomischen Interdependenzen (World Economic Forum, 2022). Die wirtschaftlichen Folgen von klimabedingten Extremereignissen in Deutschland konnten unlängst vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) und Prognos quantifiziert werden. Das Forschungsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert und analysiert die gesamtwirtschaftlichen Schadens- und Anpassungskosten für den Zeitraum von 2000 bis 2021. Diese belaufen sich gemäß der Studie auf mindestens 145 Mrd. €, wesentlich verursacht durch Extremereignisse wie die Flutkatastrophe 2021, aber auch die Hitze- und Dürresommer der Jahre 2018 und 2019 (BMWK, 2023).

Einer der unmittelbaren Effekte der zunehmenden Hitzeperioden ist ein seit Jahren zunehmendes Niedrigwasserrisiko in vielen europäischen Fließgewässern. Modellprojektionen unter verschiedenen RCP-Szenarien (*Representative Concentration Pathways*) deuten konsistent auf stärkere Niederschlagsdefizite in den Sommermonaten sowie assoziierte meteorologische und hydrologische Dürren in Europa hin, wahrscheinlich zu einer Verschärfung der Niedrigwasserproblematik in der Zukunft führen wird (Spinoni et al., 2017). Angesichts dieser Evidenz genügt es nunmehr nicht nur Klimaschutz-, sondern zusätzlich auch Klimaanpassungsmechanismen für konkrete Anwendungsfelder, wie z.B. das Niedrigwasserrisikomanagement (NWRM) zu forcieren. Neben den hydrologischen und ökologischen Aspekten von Niedrigwasser, rücken dabei zunehmend auch sozio-ökonomische Konsequenzen in den Fokus. Einschränkungen in den Bereichen Binnenschifffahrt (Hanseatic Transport Consultancy, 2015), Brauch- und Kühlwassernutzung, Tourismus, Erholung und Freizeit (Volksstimme, 2017), Stromerzeugung aus Wasserkraft (Siebert et al., 2021), Fischerei, Land- und Forstwirtschaft gehen z.T. mit beträchtlichen wirtschaftlichen Verlusten aber auch ökologischen Schäden einher (Tonkin et al., 2019). Ein geeignetes Instrument zur Identifikation, Lokalisierung, Priorisierung, Bilanzierung, Internalisierung und Erarbeitung praxistauglicher Handlungsempfehlungen, wie es im Hochwasserrisikomanagement bereits etabliert ist, fehlt jedoch bislang.

Das im vorliegenden Beitrag skizzierte Promotionsvorhaben, welches im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhabens DRYRIVERS bearbeitet wird (Satzinger et al., 2023), adressiert diese Forschungslücke. Die konkurrierenden Nutzungsansprüche der verschiedenen Anspruchsgruppen werden dabei auch im Hinblick auf die Erzeugung pareto-optimaler Zustände untersucht, um letztlich eine Aussage über die Internalisierungswirkung von NWRM-Mechanismen treffen zu können. Als Gemeingüter unterliegen Flusssysteme dem von Ostrom (2008) beschriebenen Theorem der „Tragödie der Gemeingüter“, was bei fehlender Regulierung zu einer Übernutzung eben dieser und damit zu Fehlallokationen führt. Das folgende Beispiel soll die damit verbundenen Herausforderungen verdeutlichen: Der Wasserspiegel eines beliebigen Fließgewässers ist in Folge einer anhaltenden Trockenperiode sukzessive abgesunken. Ein Wirtschaftsunternehmen A ist Flussanlieger und nutzt den Fluss seit jeher zur Kühlwasserentnahme. Da von regulatorischer Seite kein Mechanismus für ein Niedrigwasserrisikomanagement etabliert ist, setzt das Unternehmen diese Praxis auch während der Niedrigwasserperiode fort, da es sonst zu höheren Kosten anderweitig Kühlwasser beziehen müsste. Diese Wirtschaftlichkeitsentscheidung führt dazu, dass sich die Gesamtlage verschlechtert und der Wasserspiegel weiter absinkt. Zum einen resultiert daraus, dass die Wandermöglichkeiten für Fische weiter eingeschränkt werden und zum anderen induziert die Kombination aus verminderten Fließgeschwindigkeiten und (aufgrund des geringeren Wasserkörpers) hohen Wassertemperaturen eine extreme Verschlechterung der Sauerstoffversorgung wechselwarmer aquatischer Tiere (Fische und Wirbellosenfauna). In der Folge kommt es zu einem Fischsterben. Wirtschaftsunternehmen B, welches ebenfalls am Fluss angesiedelt ist, sei ein Fischereibetrieb, welcher nun massive wirtschaftliche Schäden in Kauf nehmen muss. Auch Unternehmen C, ein kleiner Betrieb im Wassersport-Freizeitbereich muss die Wirtschaftstätigkeit einstellen, da ihm die Nutzung des Wasserkörpers bei derart niedrigen Wasserpegeln untersagt wird.

## 2. Ziele, Aufbau und methodische Vorgehensweise

Ein Ziel des Promotionsvorhabens liegt in der Identifikation und Analyse sozio-ökonomischer Konsequenzen von Niedrigwasser. Hierbei wird der von der Europäischen Umweltagentur entwickelte *Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses (DPSIR)* Ansatz (EEA, 1999) verwendet und mit der literaturanalytischen Methode der propositionalen Inventarisierung (Bonfadelli & Meier, 1984) verknüpft. Der DPSIR-Ansatz wird genutzt, um die kausalen Wirkmechanismen von Umweltbelastungen und Umweltschutzmaßnahmen darzustellen und bietet sich daher im Kontext des Forschungsvorhabens an. Neben den wesentlichen Treibern (*Drivers*) von Niedrigwasserereignissen und den aus diesen resultierenden Belastungen (*Pressures*) werden besonders die sozio-ökonomischen Auswirkungen (Impacts) auf die unterschiedlichen Wassernutzer (z.B. Industrie, Landwirtschaft, Schifffahrt, Wasserkraft, Freizeit) untersucht. Dieser Ansatz ist schematisch in Abbildung 1 gezeigt.

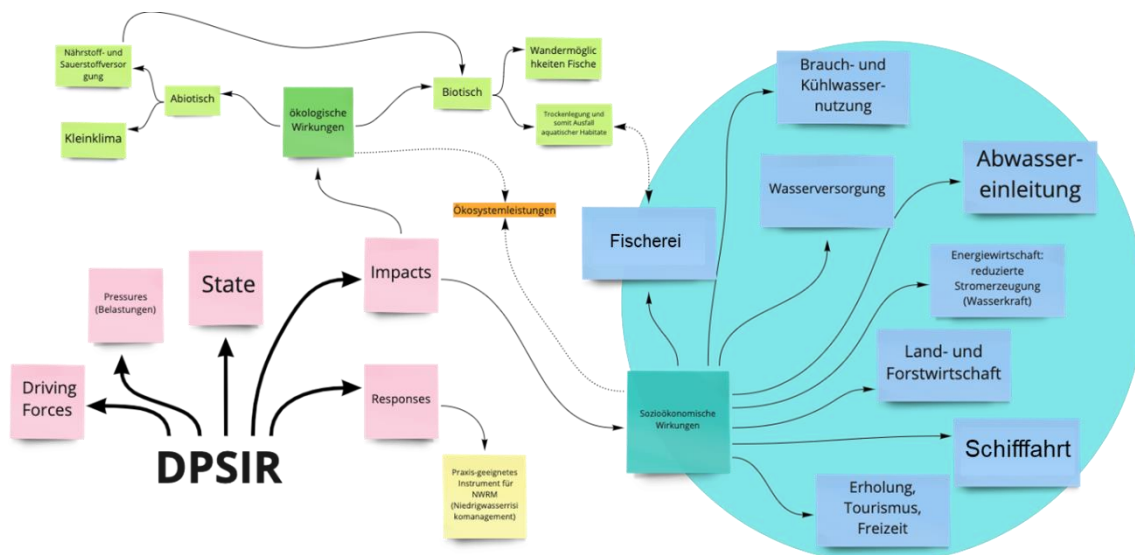


Abbildung 1: DPSIR-Analyse der sozio-ökonomischen Auswirkungen von Niedrigwasser

Um die Niedrigwasserfolgen holistisch erfassen zu können, wird eine systematische Literaturrecherche mithilfe von definierten Schlüsselbegriffen durchgeführt, wobei bibliografische Datenbanken wie Scopus, Web of Science oder Google Scholar verwendet werden. Die Literaturergebnisse werden dann in einem propositionalen Inventar strukturiert und inhaltlich bezogen auf den Forschungsgegenstand analysiert. Daraus resultiert eine systematische Aufstellung von potenziell möglichen sozio-ökonomischen Niedrigwasserfolgen, untergliedert nach Handlungsfeldern (z.B. Binnenschifffahrt, Energie, Tourismus, etc.). Zur Validierung der Ergebnisse werden leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt, transkribiert und ausgewertet (Gläser & Laudel, 2010).

Die validierte Übersicht stellt dann den Ausgangspunkt für die Konzeption und den Aufbau einer Datenbank für Niedrigwasserschadenskosten dar, wie sie bislang so noch nicht existiert. Sie soll es künftig ermöglichen, generalisierte und validierte Schadensfunktionen für typische Niedrigwasserauswirkungen ableiten zu können. Hierzu müssen die aus der Literatur entnommenen Schäden jedoch zunächst operationalisiert werden,



um in der Folge das Schadenspotential und die Vulnerabilität bei Niedrigwasser analysieren, bewerten und für eine Risikoanalyse aufbereiten zu können. Obschon sich die Operationalisierung vorwiegend an Geldwerteinheiten wie €/Tag orientieren wird, wird grundsätzlich ein multikriterieller Ansatz verfolgt. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass auch Ökosystemdienstleistungen (ÖSL), wie z.B. der Naherholungswert oder die Biodiversitäts- und Regulationsfunktionen von Flusssystemen in die Betrachtung einbezogen werden sollen und diese nicht immer monetär quantifizierbar sind. Daher werden neben Geldwerteinheiten auch Scoring-Modelle berücksichtigt, um die Veränderung niedrigwasserbezogener Eigenschaften im Verlauf der Zeit darstellen zu können.

In der Folge soll die Schadenskostendatenbank nach Eingabe der Ausgangsparameter die Berechnung von Schadensmodellen für zeitlich und räumlich definierte Flussgebiete ermöglichen. Derartige Schadensmodelle werden innerhalb der Projektlaufzeit anteilig für definierte Interessengruppen in drei Pilotgebieten innerhalb Deutschlands erprobt und validiert. Betrachtet werden die Selke, die Rur und die Elbe (Abschnitt Prettin bis Geesthacht). Diese Zusammenstellung von Untersuchungsgebieten gewährleistet, dass die Niedrigwasserfolgen, sowohl für jeweils einen kleinen, mittelgroßen und großen Fluss untersucht werden können. Somit kann eine große Varianz an möglichen Nutzungsformen abgedeckt werden, was die spätere Anwendbarkeit der Schadenskostendatenbank auf unterschiedlichste Flusssysteme erhöht.

### **3. Zusammenfassung**

Zusammengefasst lassen sich die erwarteten Ergebnisse des Promotionsvorhabens auf folgende Punkte reduzieren:

- DPSIR-Rahmenwerk-Analyse für ausgewählte Handlungsfelder
- Datenbank der Schadenskosten für ausgewählte Handlungsfelder
- Konzepte der Schadensmodelle für ausgewählte Handlungsfelder
- Entwicklung und Evaluation von Schadensmodellen für die Pilotgebiete Selke, Rur und Elbe (Abschnitt Prettin bis Geesthacht)

Dabei sollen folgende Forschungsfragen im Rahmen des Promotionsvorhabens einbezogen werden:

- Welche sozio-ökonomischen Konsequenzen resultieren aus Niedrigwasser? Welche externen Effekte sind zu erwarten und wie lassen sie sich katalogisieren und quantifizieren?
- Inwieweit beeinflusst Niedrigwasser die Ökosystemdienstleistungen eines Fließgewässers?
- Wie können die ökologisch-ökonomischen Auswirkungen von Niedrigwasser auf Ökosystemdienstleistungen angemessen bewertet werden?
- Unter welchen Rahmenbedingungen kann ein System für NWRM durch die Internalisierung externer Effekte näherungsweise pareto-optimale Zustände erzeugen?

Welche Ableitungen können aus der Internalisierung externer Effekte im Bereich des NWRM auf das übergeordnete Themengebiet der Klimafolgenanpassung übertragen werden?

## Quellen

- BMWK. (Februar 2023). *Was uns die Folgen des Klimawandels kosten - Merkblatt #03. Von Schäden von Wetterextremen*:  
[https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/Merkblaetter/merkblatt-klimawandelfolgen-in-deutschland-03.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/Merkblaetter/merkblatt-klimawandelfolgen-in-deutschland-03.pdf?__blob=publicationFile&v=4)  
abgerufen.
- Bonfadelli, H., & Meier, W. (1984). Meta-Forschung in der Publizistikwissenschaft. Zur Problematik der Synthese von empirischer Forschung. *Rundfunk und Fernsehen*(32:4), 537–550.
- EEA. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview, Technical report No 25*. Dänemark, Kopenhagen. Abgerufen am 13. Januar 2023 von <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>.
- Gläser, J., & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden.
- Hanseatic Transport Consultancy. (2015). *Wirtschaftliche Bedeutung der gewerblichen Elbschifffahrt (Elbschifffahrtsstudie)*. Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt.
- Ostrom, E. (2008). Tragedy of the Commons. In P. Macmillan (Hrsg.), *The New Palgrave Dictionary of Economics*. New York.
- Ripple, W., Wolf, C., Newsome, T., Bernard, P., & Moomaw, W. (2019). World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*(70:1), 8-12.  
doi:<https://doi.org/10.1093/bi-osci/biz088>.
- Satzinger, U., Folkens, L., Simancas Suarez, A., Zarate, K., Sollinger, L., Heermann, L., . . . Bachmann, D. (2023). Entwicklung eines Niedrigwasserrisikomanagements im Projekt DRYRIVERS (angenommen). *Wasser und Abfall*.
- Siebert, C., Blauhut, V., & Stahl, K. (2021). Das Dürreerisiko des Wasserkraftsektors in Baden-Württemberg. *Wasserwirtschaft*(6/2021).  
doi:<https://doi.org/10.1007/s35147-021-0846-z>.
- Spinoni, J., Vogt, J., Naumann, G., Barbosa, P., & Dosio, A. (2017). Will drought events become more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology*(38:4), 1718-1736. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.5291>.
- Tonkin, J., Poff, N., Bond, N., Horne, A., Merritt, D., Reynolds, L., . . . Lytle, D. (2019). Prepare river ecosystems for an uncertain future. *Nature*(570), 301-303.  
Abgerufen am 23.. März 2022 von <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01877-1>.
- Vogel, M., Zscheischler, J., Wartenburger, R., Dee, D., & Seneviratne, S. (2019). Concurrent 2018 Hot Extremes Across Northern Hemisphere Due to Human-

Induced Climate Change. *Earth's Future*(7:7), 692-703.  
doi:<https://doi.org/10.1029/2019EF001189>.

Volksstimme. (04. Mai 2017). Streit um Elbe als Wirtschaftsfaktor. *Volksstimme*.  
Abgerufen am 23.. März 2022 von <https://www.volksstimme.de/deutschland-und-welt/wirtschaft/streit-um-elbe-als-wirtschaftsfaktor-1908781>.

World Economic Forum. (2022). *The Global Risks Report 2022*. Abgerufen am 23..  
März 2022 von [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf).

# Reproduktive Einstellungen, Intentionen und Sorgen in Zeiten des Klimawandels

Lara Denise Henschel<sup>1</sup>, Gabriele Helga Franke<sup>1</sup> & Melanie Jagla-Franke<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Magdeburg-Stendal – Standort Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

<sup>2</sup> Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Str. 2, 17033 Neubrandenburg

## Abstract

**Hintergrund:** Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, ändern Menschen in verschiedensten Lebensbereichen ihre Verhaltensweisen. In den Medien wird zunehmend von Personen berichtet, die sich gegen eigene Kinder entscheiden oder die Zahl ihrer Nachkommen begrenzen, um damit einen positiven Beitrag zur Umwelt zu leisten und/oder ihren potentiellen Nachwuchs nicht den Auswirkungen des Klimawandels auszusetzen. Die vorliegende Arbeit möchte als Beitrag zum derzeitigen Forschungsstand untersuchen, inwieweit Sorgen über Auswirkungen der Fortpflanzung auf die Umwelt und über Klimawandel-Folgen auf Nachkommen bestehen und welchen Einfluss Umwelteinstellungen, -werte und -sorgen auf die reproduktive Einstellung und Intention ausüben.

**Methode:** Die gezogene Stichprobe umfasste  $N = 223$  Personen zwischen 18 und 45 Jahren. Mit Hilfe von nicht-parametrischen Tests auf Gruppenunterschiede, Regressionsmodellen und inhaltlichen Analysen der offenen Antworten wurden die Forschungsfragen (1) *Inwieweit bestehen Sorgen über den ökologischen Fußabdruck der Fortpflanzung und Sorgen über Auswirkungen des Klimawandels, denen (hypothetische) eigene Nachkommen ausgesetzt sein könnten? Lassen sich signifikante Unterschiede in Bezug auf Geschlecht, Alter und Elternstatus finden?* und (2) *Welchen Einfluss haben Umweltbewusstsein, persönliche Umweltwerte und Umwelt-Fortpflanzung-Sorgen auf die reproduktive Einstellung und Intention?* beantwortet.

**Ergebnisse:** Eine Besorgnis bezüglich der Klimawandelfolgen auf (potentielle) Nachkommen wurde im Vergleich zur Besorgnis bezüglich der ökologischen Fortpflanzungsfolgen verstärkt berichtet. Hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks der Fortpflanzung waren Frauen signifikant stärker besorgt als Männer, während es zwischen den Alters- und Elternstatusgruppen keine signifikanten Unterschiede gab. Bezüglich der Klimawandel-Folgen auf (hypothetische) eigene Nachkommen waren Frauen signifikant stärker besorgt als Männer, Unentschlossene signifikant stärker besorgt als Eltern und Planende und 18-24-Jährige signifikant stärker besorgt als 35-45-Jährige. Die Bestätigung eines Einflusses der Sorgen auf reproduktive Entscheidungen fiel prozentual geringer aus als dessen Verneinung. Es konnte ein Einfluss des Umweltbewusstseins und Alters auf die reproduktive Einstellung sowie der reproduktiven Einstellung und des Alters auf die Fortpflanzungsintention gefunden werden.

**Diskussion:** Trotz bestehender Klimawandel-Sorgen konnte kein Einfluss dieser sowie anderer umweltrelevanter Einstellungen auf reproduktive Entscheidungen gefunden

werden. Ähnlich zu früheren Untersuchungen dieses Themas implizieren auch die widersprüchlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie die Notwendigkeit weiterer Forschung.

**Keywords:** Klimawandel, Fortpflanzung, Besorgnis, Umweltbewusstsein

## 1. Einleitung

Mit der wachsenden Weltbevölkerung und dem damit einhergehenden konsumorientierten Lebensstil der meisten Menschen in den Industrienationen wurden und werden bestimmte Aspekte des Klimawandels mit seinen negativen Auswirkungen auf die Biosphäre sowohl verursacht als auch verstärkt (Harper, 2013). Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, ändern Menschen in verschiedensten Lebensbereichen ihre Verhaltensweisen (Clayton et al., 2015). So gibt es auch Menschen, die sich gegen eigene Kinder entscheiden, um damit einen positiven Beitrag zur Umwelt zu leisten und/oder ihren potentiellen Nachwuchs nicht den Auswirkungen des Klimawandels auszusetzen (Arnocky, Dupuis & Stroink, 2012; Bodin & Björklund, 2022; Schneider-Mayerson & Leong, 2020). Da reproduktive Entscheidungen hoch komplex und von verschiedenen Faktoren geprägt sind, stellt die Entflechtung umweltspezifischer Einflüsse eine Herausforderung dar. In den wenigen existierenden Untersuchungen wurde jedoch deutlich, dass insbesondere diejenigen Menschen zur Änderung ihres reproduktiven Verhaltens bereit sind, die bereits ein allgemeines Umweltinteresse haben (Andrijevic & Striessnig, 2017; Arnocky et al., 2012; Bodin & Björklund, 2022; Davis, Arnocky & Stroink, 2019; Musialczyk, 2020).

Anlehnend an die derzeitige Forschungslage besteht das Ziel dieser Arbeit darin, die Thematik der reproduktiven Entscheidungen in Zeiten des Klimawandels näher zu beleuchten und dabei im Rahmen einer eigenen Studie einerseits herauszufinden, inwiefern umwelt- und fortpflanzungsbezogene Sorgen bestehen und andererseits zu eruieren, inwieweit diese sowie weitere Umwelteinstellungen einen Einfluss auf reproduktive Einstellungen und Absichten ausüben. Es wird angenommen, dass ein höheres Umweltbewusstsein und stärkere Sorgen um eine vom Klimawandel geprägte Welt und die Zukunft (potentieller) eigener Nachkommen Fortpflanzungseinstellungen und -absichten beeinflusst. Konkret werden daraus die folgenden Forschungsfragen abgeleitet:

1. Inwieweit bestehen Sorgen über den ökologischen Fußabdruck der Fortpflanzung und Sorgen über Auswirkungen des Klimawandels, denen (hypothetische) eigene Nachkommen ausgesetzt sein könnten? Lassen sich signifikante Unterschiede in Bezug auf Geschlecht, Alter und Elternstatus finden?
2. Welchen Einfluss haben Umweltbewusstsein, persönliche Umweltwerte und Umwelt-Fortpflanzung-Sorgen auf die reproduktive Einstellung und Intention?

## 2. Methodik

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen einer Online-Umfrage über [www.soscisurvey.de](http://www.soscisurvey.de) im Zeitraum vom 18.07.2022 bis 02.10.2022. Das mittlere Alter der Stichprobe von  $N = 223$  Personen betrug 26.72 ( $SD = 6.07$ ) Jahre; 67.3% der Befragten waren weiblich; der höchste Bildungsabschluss war der Hochschulabschluss (44.8%).

Als Messinstrumente wurden die Skala zur Messung von zentralen Kenngrößen des Umweltbewusstseins (Geiger & Holzauer, 2019), der Environmental Portrait Value

Questionnaire (E-PVQ; Bouman, Steg & Kiers, 2018) und die Reproductive Attitudes Scale (RAS; Arnocky et al., 2012) eingesetzt. Da letztere beiden Verfahren bislang nur in englischer Version vorliegen, wurden die Items mittels Hin- und Rückübersetzung ins Deutsche übertragen, um sie im Rahmen der vorliegenden Studie nutzen zu können.

Die für die Umweltbewusstseinsstudie 2018 weiterentwickelte Skala zur Messung von zentralen Kenngrößen des Umweltbewusstseins von Geiger und Holzauer (2019) umfasst 23 Items, die drei Komponenten des Umweltbewusstseins abbilden. Der affektive Teilbereich besteht aus sieben Items, während die kognitive Komponente acht Items umfasst und weitere acht Items intentionales, zielgerichtetes Umweltverhalten erfassen. Zur Erleichterung der Durchführung, Auswertung und Interpretation empfehlen Geiger und Holzauer (2019) eine fünfstufige Likert- bzw. Häufigkeitsskala, die für die affektiven und kognitiven Items von 0 *stimme überhaupt nicht zu* bis 4 *stimme voll und ganz zu* und für die Verhaltensitems von 0 *nie* bis 4 *immer* reicht. Die Reliabilitätsanalyse in der vorliegenden Stichprobe ergab für die Gesamtskala ( $\alpha = .89$ ) und den affektiven Teilbereich ( $\alpha = .86$ ) hohe interne Konsistenzen, während die kognitive Subskala ( $\alpha = .76$ ) eine akzeptable Reliabilität aufwies und die des intentionsorientierten Verhaltens ( $\alpha = .67$ ) am niedrigsten ausfiel.

Zur Erfassung der Werteorientierungen für die Vorhersage von Umweltüberzeugungen und -verhaltensweisen, wurde in der vorliegenden Untersuchung das Environmental Portrait Value Questionnaire (E-PVQ) von Bouman, Steg und Kiers (2018) verwendet, welches 17 Items umfasst, die sich auf die vier Wertecluster biosphärisch, altruistisch, egoistisch und hedonistisch verteilen. Zur Bearbeitung des Verfahrens werden die Befragten gebeten, anzugeben, inwieweit die in den Items porträtierte Person ihnen selbst gleicht, wobei die Skala von 1 *überhaupt nicht wie ich* bis 6 *sehr ähnlich wie ich* reicht. Die aktuelle Reliabilitätsanalyse ergab für die biosphärische ( $\alpha = .75$ ) und egoistische Skala ( $\alpha = .77$ ) akzeptable Reliabilitätskoeffizienten, während die der altruistischen ( $\alpha = .80$ ) und hedonistischen Skala ( $\alpha = .83$ ) als gut einzuschätzen sind.

Um die Einstellung einer Person gegenüber der Fortpflanzung erfassen zu können, entwickelten Arnocky et al. (2012) die zehn Items umfassende Reproductive Attitudes Scale (RAS), welche sich in zwei Subskalen gliedert, die eine pro- und eine anti-reproduktive Einstellung abbilden. Die Items können entlang einer siebenstufigen Likert-Skala von 1 *trifft überhaupt nicht zu* bis 7 *trifft voll und ganz zu* beantwortet werden. Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Reliabilitätsanalyse ergab für die Gesamtskala eine akzeptable Reliabilität ( $\alpha = .75$ ), während die der Pro-Reproduktion-Subskala ( $\alpha = .81$ ) im guten Bereich lag und die Anti-Reproduktion-Subskala ( $\alpha = .44$ ) dagegen eine unzureichende Reliabilität aufwies.

Die Daten wurden mit Hilfe von schrittweisen Regressionsmodellen analysiert und die Antworten auf die offene Frage *Inwieweit haben diese Bedenken Ihre reproduktiven Entscheidungen beeinflusst?* und die Aufforderung *Wenn es andere Bedenken im Zusammenhang mit dem Klimawandel gab, die Ihre reproduktiven Entscheidungen beeinflusst haben, beschreiben Sie diese bitte hier.* anhand ihres Inhaltes kategorisiert. Weiterhin wurden die durch Likert-Items auf Ordinalskalenniveau abgebildeten Klimawandel-Sorgen mit Hilfe nicht-parametrischer Verfahren auf signifikante Unterschiede hinsichtlich der Merkmale Geschlecht (Mann-Whitney-U-Test), Alter und Elternstatus (Kruskal-Wallis-H-Test) geprüft.

### 3. Ergebnisse

Insgesamt äußerten sich 21.0% der Teilnehmenden als sehr und extrem besorgt bezüglich des ökologischen Fußabdrucks der Fortpflanzung, während sich 61.5% als sehr und extrem besorgt hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels, denen eigene (hypothetische) Kinder ausgesetzt sein könnten, zeigten. Zwischen den beiden Besorgnissen konnte eine mittlere positive Korrelation gefunden werden ( $r_s = .49, p < .001$ ). Es zeigte sich, dass Frauen sowohl bezüglich der ökologischen Fortpflanzungsfolgen ( $U = 4418, z = -2.450, p = .014, r = .16$ ) als auch hinsichtlich der Klimawandelfolgen auf eigene (hypothetische) Kinder ( $U = 4484.5, z = -2.292, p = .022, r = .15$ ) signifikant besorgter waren als Männer. Eltern, Personen mit Fortpflanzungsabsicht (Planende) und hinsichtlich des Kinderkriegens noch Unentschlossene unterschieden sich nicht signifikant in der Besorgnis über den ökologischen Fußabdruck der Fortpflanzung ( $H(2) = 5.309, p = .070$ ). Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Besorgnis bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels, denen eigene (hypothetische) Kinder ausgesetzt sein könnten ( $H(2) = 20.643, p < .001$ ), ergab sich zwischen Unentschlossenen und Planenden ( $z = -4.092, p < .001, r = .33$ ) sowie zwischen Unentschlossenen und Eltern ( $z = -3.983, p < .001, r = .41$ ), indem Unentschlossene jeweils signifikant stärker besorgt waren. Bezüglich der ökologischen Fortpflanzungsorgen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen der 18-24-Jährigen, 25-34-Jährigen und 35-45-Jährigen gefunden werden ( $H(2) = 1.191, p = .551$ ), wohingegen sich hinsichtlich der Besorgnis über die Klimawandelfolgen auf (potentielle) eigene Nachkommen ein signifikanter Unterschied ( $H(2) = 7.681, p = .021$ ) zwischen den 35-45-Jährigen und den 18-24-Jährigen ergab ( $z = 2.519, p = .035, r = .22$ ), wobei letztere eine stärkere Besorgnis berichteten.

Ausgehend von den Antworten auf die offene Frage, inwieweit die Sorgen einen Einfluss auf die eigenen reproduktiven Entscheidungen ausüben, wurden die Kategorien *kein oder kaum Einfluss, starker Einfluss, Adoption, Begrenzung auf bestimmte Kinderzahl, ambivalent, retrospektiv, Hoffnung in nächste Generation, andere Einflussfaktoren* und *weitere Antworten* gebildet. Von insgesamt 149 Personen drückten 18.1% ohne nähere Erläuterungen oder in Form des Verzichts auf eigene Kinder einen starken Einfluss aus. Aufgrund ihrer Sorgen nur eine bestimmte Anzahl an Kindern bekommen zu wollen, machten 3.4% der Personen deutlich, wohingegen 2.7% Adoptionen in Erwägung zogen. Damit bestätigten insgesamt 24.2% einen Einfluss der genannten Sorgen auf ihre reproduktiven Entscheidungen, wohingegen 50.3% keinen oder kaum einen Einfluss dieser äußerten. Zudem beschrieben jeweils 2.0% ihre Hoffnung in die nächste Generation, um dem Klimawandel entgegenzuwirken, oder berichteten von erst nach bereits realisierter Fertilität aufgetretenen Bedenken. Daneben äußerten sich 8.7% aufgrund der genannten Sorgen als unsicher bezüglich der Thematik des Kinderkriegens oder zeigten sich zwar besorgt, betonten aber gleichzeitig einen geringen Einfluss. Nicht umweltbezogene Gründe mit einem stärkeren Einfluss benannten 6.7% der Personen, 6.0% gaben nicht zuzuordnende Antworten.

Die schrittweisen Regressionen wiesen auf einen statistisch signifikanten Einfluss ( $F(2,220) = 26.931, p < .001, f^2 = .233$ ) des Umweltbewusstseins und des Alters auf die reproduktive Einstellung, sowie auf einen statistisch signifikanten Einfluss ( $F(2,216) = 22.896, p < .001, f^2 = .21, n = 219$ ) der reproduktiven Einstellung und des Alters auf die über den Lebenslauf beabsichtigte Kinderzahl hin (siehe Tabellen 1 und 2).

Es konnten rund 19% der Streuung in der reproduktiven Einstellung durch das Umweltbewusstsein und das Alter sowie 17% der Streuung in der über den Lebenslauf beabsichtigten Kinderzahl durch die reproduktive Einstellung und das Alter erklärt werden. Die erhobenen persönlichen Umweltwerte und die Besorgnisse stellten dagegen keine Einflussfaktoren der reproduktiven Einstellung und Intention dar.

Tabelle 1: schrittweise Regressionsanalyse (abhängige Variable: RAS)

	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	Korr. <i>R</i> <sup>2</sup>	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>β</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<b>Modell 1</b>	.39	.15	.15					
(Konstante)				5.21	.31		16.97	<.001
Umweltbewusstsein				-.74	.12	-.39	-6.31	<.001
<b>Modell 2</b>	.44	.20	.19					
(Konstante)				4.11	.44		9.44	<.001
Umweltbewusstsein				-.71	.12	-.37	-6.16	<.001
Alter				.04	.01	.21	3.47	<.001

Anmerkungen. RAS = Reproductive Attitudes Scale (Arnocky et al., 2012); Umweltbewusstsein erhoben mittels der Skala zur Messung von zentralen Kenngrößen des Umweltbewusstseins (Geiger & Holzhauer, 2019)

Tabelle 2: schrittweise Regressionsanalyse (abhängige Variable: über Lebenslauf beabsichtigte Kinderzahl)

	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	Korr. <i>R</i> <sup>2</sup>	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>β</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<b>Modell 1</b>	.39	.15	.15					
(Konstante)				.71	.18		3.96	<.001
RAS				.32	.05	.39	6.26	<.001
<b>Modell 2</b>	.42	.18	.17					
(Konstante)				1.21	.30		4.01	<.001
RAS				.35	.05	.43	6.67	<.001
Alter				-.02	.01	-.15	-2.23	.03

Anmerkungen. RAS = Reproductive Attitudes Scale (Arnocky et al., 2012)

Zusätzlich schätzten von den 223 Befragten 22.9% den Verzicht auf eigene Kinder aus klimawandelbedingten Gründen als umweltfreundliches Verhalten ein, während 61.0% dies verneinten und 16.1% die Antwortmöglichkeit *keine Angabe* wählten. Heute (mehr) Kinder zu haben oder zu planen, wenn der Klimawandel nicht stattfinden würde, bejahen 17.9%, während 61.9% dies verneinten und 20.2% angaben, es nicht zu wissen.

#### 4. Diskussion

Die durchgeführte Studie konnte einen Einblick in die komplexe Thematik der reproduktiven Sorgen und Entscheidungen vor dem Hintergrund des Klimawandels als eine der größten Herausforderungen unserer Gesellschaft geben. Es zeigte sich, dass Sorgen über Auswirkungen des Klimawandels, denen (potentielle) Nachkommen ausgesetzt sein könnten, stärker vorhanden waren als Sorgen über den ökologischen Fußabdruck der Fortpflanzung, was mit den Ergebnissen von Schneider-Mayerson und Leong (2020) einhergeht. Dabei konnten – insbesondere hinsichtlich der Sorgen um die den Klima-



wandel-Folgen ausgesetzten Nachkommen – signifikante Geschlechts-, Alters- und Elternstatus-Unterschiede verzeichnet werden, die jedoch vor dem Hintergrund einer geringen bis mäßigen praktischen Relevanz zu betrachten sind. Die signifikant stärkeren Sorgen der Frauen stehen im Einklang mit Hinweisen darauf, dass Frauen im Schnitt eine stärker positiv ausgeprägte Umwelteinstellung haben (Milfont & Duckitt, 2010) und umweltfreundlicher handeln (Gifford & Nilsson, 2014) als Männer. Dass sich insbesondere jüngere Menschen den klimawandelbedingten Folgen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit werden stellen müssen und sich daher mehr um das Wohlergehen nachfolgender Generationen sorgen, die diese Folgen noch stärker spüren werden, könnte eine Erklärung dafür sein, dass die Teilnehmenden der jüngsten Altersgruppe hinsichtlich der Klimawandelfolgen auf Nachkommen im Mittel stärker besorgt waren. Dass Unentschlossene hinsichtlich der Klimawandelfolgen auf Nachkommen signifikant stärker besorgt waren als Eltern und Planende, könnte darin begründet sein, dass genau dies einen Grund ihrer Unsicherheit darstellte. Die Annahme, dass ein höheres Umweltbewusstsein vor dem Hintergrund des Klimawandels und seiner Auswirkungen Fortpflanzungseinstellungen und -absichten beeinflusst, konnte teilweise bestätigt werden. Die statistische Analyse zeigte, dass das Umweltbewusstsein zwar einen potentiellen Einfluss auf die reproduktive Einstellung, jedoch nicht auf die Gesamtabsicht, (weitere) Kinder zu bekommen oder nicht, ausübte, während die persönlichen Umweltwerte und Sorgen keine Einflussfaktoren darstellten. Die Ergebnisse der inhaltlichen Analyse lassen sich mit den Resultaten von Bodin und Björklund (2022) vergleichen, die zeigten, dass die Klimakrise trotz überwiegend bestehender Sorgen der Teilnehmenden keinen großen Einfluss auf deren Entscheidung hatte, Kinder zu bekommen oder nicht. Dies kann mit dem Ergebnis verbunden werden, dass die Mehrheit der Befragten den Verzicht auf eigene Kinder aus klimawandelbedingten Gründen nicht als umweltfreundliches Verhalten erachtete, was wiederum mit der geringeren Besorgnis hinsichtlich der ökologischen Folgen der Fortpflanzung einhergeht. Außerdem verneinte die Mehrheit der Teilnehmenden, heute (mehr) Kinder zu haben oder zu planen, wenn der Klimawandel nicht stattfinden würde, was wiederum dafürspricht, dass reproduktiven Intentionen verschiedene Faktoren zugrunde liegen, die einen stärkeren Einfluss ausüben könnten, von denen auch welche in den offenen Antworten einiger Teilnehmenden benannt wurden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die vorliegenden Ergebnisse in den bereits bestehenden heterogenen Forschungsstand einbetten lassen und dies die Herausforderung des Gewinnes eindeutiger Erkenntnisse sowie gleichzeitig die Notwendigkeit weiterer Forschung verdeutlicht.

### Literaturverzeichnis

- Andrijevic, M. & Striessnig, E. (2017, November). *Less feet, less footprint: The relationship between environmental concern and fertility intentions* [Paper]. International Population Conference, Cape Town, South Africa.
- Arnocky, S., Dupuis, D. & Stroink, M. L. (2012). Environmental concern and fertility intentions among Canadian university students. *Population and Environment*, 34, 279-292.
- Bodin, M. & Björklund, J. (2022). "Can I take responsibility for bringing a person to this world who will be part of the apocalypse?". Ideological dilemmas and concerns for future well-being when bringing the climate crisis into reproductive decision-making. *Social Science & Medicine*, 302, 114985.

- Bouman, T., Steg, L. & Kiers, H. A. (2018). Measuring values in environmental research: a test of an environmental portrait value questionnaire. *Frontiers in Psychology, 9*, 564.
- Clayton, S., Devine-Wright, P., Stern, P. C., Whitmarsh, L., Carrico, A., Steg, L., ... & Bonnes, M. (2015). Psychological research and global climate change. *Nature Climate Change, 5*, 640-646.
- Davis, A. C., Arnocky, S. & Stroink, M. (2019). The problem of overpopulation: Pro-environmental concerns and behavior predict reproductive attitudes. *Ecopsychology, 11*(2), 92-100.
- Geiger, S. M. & Holzhauer, B. (2019, März). *Weiterentwicklung einer Skala zur Messung von zentralen Kenngrößen des Umweltbewusstseins*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Gifford, R. & Nilsson, A. (2014). Personal and social factors that influence pro-environmental concern and behaviour: A review. *International Journal of Psychology, 49*(3), 141-157.
- Harper, S. (2013). Population–environment interactions: European migration, population composition and climate change. *Environmental and Resource Economics, 55*(4), 525-541.
- Milfont, T. L. & Duckitt, J. (2010). The environmental attitudes inventory: A valid and reliable measure to assess the structure of environmental attitudes. *Journal of Environmental Psychology, 30*(1), 80-94.
- Musialczyk, E. (2020). *Attitudes towards having children in view of climate change* [undergraduate thesis, National College of Ireland].
- Schneider-Mayerson, M. & Leong, K. L. (2020). Eco-reproductive concerns in the age of climate change. *Climatic Change, 163*, 1007-1023.

# Hitzeschutz in (deutschen) Krankenhäusern und Pflegeheimen

Ulrike Krol<sup>1,2</sup>, Andrea Nakoinz<sup>2</sup>, Melanie Jagla-Franke<sup>1,3</sup>

1 Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg

2 BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Warener Straße 7, 12683 Berlin

3 Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

## Abstract

### Hintergrund und Ziel der Studie

Hitzeperioden haben in den vergangenen Jahren immer mehr zugenommen und sind weltweit Ursache für mehrere Hunderttausende Todesfälle jährlich. Durch die Entwicklung und Implementierung von Hitzeschutzplänen in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen sollen besonders durch Hitze gefährdete Personen geschützt werden. Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick darüber geben, welchen Stellenwert das Thema Hitzeschutz im Gesundheitswesen in Deutschland und anderen europäischen Ländern einnimmt und wie bereits bestehende Maßnahmen in der Praxis umgesetzt werden.

### Methodik

In einer Literaturrecherche in verschiedenen Online-Datenbanken wurde der aktuelle Forschungsstand bezüglich Hitzeschutz in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen auf nationaler und internationaler Ebene abgebildet.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass Hitzeschutzpläne und deren Umsetzung in anderen europäischen Staaten bereits fest verankert sind und dort zu sichtbaren Erfolgen geführt haben. In Deutschland existieren Musterhitzeschutzpläne für verschiedene Einrichtungen im Gesundheitswesen, finden allerdings kaum Anwendung in der Praxis; Evaluationen liegen nicht vor.

### Diskussion

In Deutschland existieren Hitzeschutzpläne für das Gesundheitswesen zum jetzigen Zeitpunkt nur in der Theorie. Es konnten keine Gründe identifiziert werden, warum die existierenden Musterhitzeschutzpläne nicht bereits flächendeckend in Deutschland eingesetzt werden. Hier sollte im Rahmen weiterer Forschung angesetzt werden, Bedarf und Bedürfnis sollten konkret erhoben werden. So können die Gründe für die Nicht-Umsetzung identifiziert und explizite Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

## 1. Hintergrund

Menschen sind unterschiedlichsten Umwelteinflüssen ausgesetzt, die auch negative Auswirkungen auf den Organismus haben und langfristig zu manifesten Gesundheitsschädigungen führen können. Zu diesen Umwelteinflüssen zählen unter anderem Lärm, Staub, Strahlung sowie verschiedene Schadstoffe, die oral oder transdermal aufgenommen werden (Umweltbundesamt, 2018). Zudem sind wir durch die globale Erwärmung

immer häufiger Hitzeperioden ausgesetzt, die nachweislich die Gesundheit der Menschen stark belasten und für das Gesundheitswesen mehr und mehr zur Herausforderung werden (Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe ‚Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)‘, 2017). Wie das Umweltbundesamt (2022) aufgezeigt hat, gab es in Deutschland in den vergangenen 70 Jahren eine deutliche Zunahme von Tagen, an denen eine Höchsttemperatur von mehr als 30° Celsius erreicht wurde. Wenn an mehr als drei aufeinanderfolgenden Tagen im Sommer (Mai bis September) „die Tageshöchsttemperatur in den Bereich der 1 % wärmsten Werte“ fällt, wird nach Deutschländer und Mächel (2016, S. 52) von einer Hitzewelle gesprochen. Hohe Temperaturen bzw. Hitzeepisoden haben Auswirkungen auf den menschlichen Organismus; sie gehen mit einer erhöhten Krankheitslast für den Menschen einher, was unter anderem zu vermehrten Krankenhauseinweisungen führt, die besonders von Herzkreislauf- und Lungenerkrankungen dominiert werden und zudem zu einer gesteigerten Mortalitätsrate führen (Augustin et al., 2017; Schillo et al., 2019). Im Jahr 2019 erreichte die weltweite Sterblichkeit in der Altersklasse der über 65-Jährigen die Rekordzahl von über 345.000 hitzebedingten Todesfällen (Romanello et al., 2021). Auch für Deutschland können diese Entwicklungen bestätigt werden. Die Zahl der hitzebedingten Todesfälle lag im Jahr 2021 um 47% höher als in den Jahren 2000 bis 2005 (Lancet, 2021). Besonders Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen sind an dieser Stelle gefordert, Maßnahmen und Hitzeschutzpläne zu entwickeln, damit durch Hitze gefährdete Personengruppen, aber auch Mitarbeitende, Bewohner\*innen und Patient\*innen vor Hitze geschützt werden (Blättner, Grewe & Janson, 2021). In Berlin wurde 2022 das *Aktionsbündnis Hitzeschutz Berlin* unter der Zusammenarbeit von der *Senatsverwaltung für Wissenschaft, Gesundheit, Pflege und Gleichstellung*, der *Ärztekammer Berlin* und der *KLUG – Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit e.V.* ins Leben gerufen. Im Mittelpunkt dieses Aktionsbündnisses steht dabei der Schutz der Bevölkerung durch die Erarbeitung von Hitzeschutzplänen, die die Gesundheit der Bürger\*innen im Sommer schützen und erhalten sollen. Die erarbeiteten Hitzeschutzpläne dienen den jeweiligen Einrichtungen als Rahmenplan und müssen noch individuell angepasst beziehungsweise ergänzt werden (Ärzteblatt, 2022).

## 2. Methode

Um den aktuellen Forschungsstand zum Thema Hitzeschutz in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen abzubilden, erfolgte im Januar 2023 eine Literaturrecherche, die sich in zwei Schritte gliederte.

Im ersten Schritt wurde in den Online-Datenbanken von „Medline“ und „Google Scholar“ unter den Schlagwörtern „heat protection hospital“, „heat protection nursing care“ und „heat protection plan“ sowie „Hitzeschutz Krankenhaus“, „Hitzeschutz Pflegeheim“ und „Hitzeschutzplan“ gezielt nach wissenschaftlichen Artikeln und Studien zur Thematik recherchiert. Es wurden Veröffentlichungen eingeschlossen, die zwischen 2013 und 2023 publiziert, als kostenloser Freitext zur Verfügung standen und in deutscher oder englischer Sprache verfasst waren. Die Einschlusskriterien und Schlagwörter wurden bewusst allgemein und weit gefasst, um ein möglichst umfassendes Bild über den aktuellen Forschungsstand zu bekommen. Parallel dazu wurden im zweiten Schritt, über die Suchmaschine von „Google“, staatliche Institutionen und Verbände in Deutschland recherchiert, die sich professionell mit der Entwicklung von Hitzeschutz-

plänen im Gesundheitswesen befassen. Diese Zweiteilung der Recherche wurde gewählt, um neben wissenschaftlichen Artikeln und Studien auch bereits bestehende Konzepte und Maßnahmen im Gesundheitswesen zum Hitzeschutz zu identifizieren, die nicht in wissenschaftlichen Datenbanken abgebildet werden.

### 3. Ergebnisse

Die Suche in den Online-Datenbanken von „Medline“ und „Google Scholar“ ergab mehrere hunderte Treffer zu dieser Thematik, wobei der Fokus auf der Entwicklung von Maßnahmen und Strategien zur Hitzebewältigung in Städten/ Regionen sowie im Gesundheitswesen lag. Nach Sichtung der Überschriften und bei passender Überschrift auch Sichtung der Abstracts konnten nur sechs Veröffentlichungen in die Analyse einbezogen werden. Es zeigte sich, dass:

- der österreichische Hitzeschutzplan eine enge Kooperation zwischen nationalen und regionalen Behörden sowie Gesundheitsfachkräften, Krankenhäusern und Notfallorganisationen beinhaltet (WHO, 2021) und dass die Evaluation des in der Steiermark umgesetzten Hitzeschutzplans ergab, dass die Maßnahmen als effektiv eingeschätzt wurden (Pollhammer, 2020).
- Frankreich während der Hitzewelle von 2003 unverzüglich einen Hitzeschutzplan implementierte, der mehr Pflegekräfte in medizinischen Einrichtungen und eine Kapazitätserhöhung dieser sowie eine Verkürzung von Krankenhausaufenthalten und einen Aufnahmestopp für geplante Eingriffe vorsah (Dhainaut, Claessens, Ginsburg & Riou, 2003). Die weitere Umsetzung der Präventionsmaßnahmen des Hitzeschutzplans führten dazu, dass die hitzebedingte Sterblichkeit während der Hitzewelle 2006 deutlich geringer ausfiel als erwartet wurde (Fouillet et al., 2008).
- Deutschland 2017 die WHO-Empfehlungen als „Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit“ publizierte. Eine nationale Umsetzung war jedoch nicht vorgesehen, da dieses Vorgehen als eine kommunale Aufgabe angesehen wird (Ärzteblatt, 2022; Blättner, Grewe & Janson, 2021).
- zum jetzigen Zeitpunkt in Deutschland kein Krankenhaus oder Pflegeheim im Rahmen der Literaturrecherche identifiziert werden konnte, dass einen Hitzeschutzplan ausgearbeitet hat und diesen in einer Hitzeperiode anwenden kann.

Des Weiteren konnten mehrere staatliche Institutionen und Verbände in Deutschland identifiziert werden, die sich professionell mit der Erstellung von Hitzeschutzplänen im Gesundheitswesen befassen und Musterhitzeschutzpläne zur Verfügung stellen. Vorlagen für Musterhitzeschutzpläne für verschiedene Einrichtungen finden sich zum Beispiel auf der Homepage des Aktionsbündnisses Hitzeschutz Berlin (<https://hitzeschutz-berlin.de>). Im hier vorgestellten „Musterhitzeschutzplan für Krankenhäuser“ werden einerseits vorbereitende Maßnahmen auf den Sommer beschrieben, konkrete Umsetzungshinweise formuliert sowie mittel- und langfristige Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Ausstattung und Bau aufgezeigt. Andererseits enthält der Musterhitzeschutzplan Maßnahmen zur langfristigen Anpassung an die Hitze, gestaffelt nach zwei Warnstufen. Warnstufe eins beinhaltet:

- die Reduktion der Temperatur im Haus sowie in den Räumen,
- die Aufklärung von Patient\*innen sowie deren Angehörige über die vorbeugenden Maßnahmen,
- eine angepasste Versorgung mit Getränken für Patient\*innen und Mitarbeitende,
- eine angepasste Patient\*innenpraxis, darunter ist eine fokussierte Betreuung von vulnerablen Gruppen zu verstehen.

In Warnstufe zwei werden die Maßnahmen aus Warnstufe eins noch zusätzlich durch folgende Punkte ergänzt:

- eine angepasste und ausreichende Getränke- und Speiseversorgung (erstellen von Trinkplänen für pflegebedürftige Patient\*innen, Bereitstellung von wasserreichen und kühlen Speisen durch die Küche),
- eine engmaschige Beobachtung der Patient\*innen auf hitzebedingte Symptome,
- angepasste Personalplanung (z.B. Pausenoptimierung und Anpassung der Arbeitszeit) (<https://hitzeschutz-berlin.de>).

Musterhitzeschutzpläne für Pflegeheimbewohner\*innen finden sich auf der Homepage des pqsg-Altenpflegemagazins unter <https://pqsg.de>. Die Ziele, die durch die hier formulierten Maßnahmen erreicht werden sollen, sind die Verhinderung eines weiteren Anstieges der Temperatur in den Wohnbereichen, die Motivation zu aktiver Mitarbeit (angemessene Kleidung, ausreichende Flüssigkeitszufuhr) sowie die sorgfältige medizinische Überwachung und Behandlung. Konkret heißt das in der Umsetzung, dass zum Beispiel:

- in jedem Wohnbereich ein Thermometer vorhanden ist, die Werte mehrfach täglich abgelesen und dokumentiert werden sowie für angemessene Belüftung und Luftzirkulation gesorgt wird,
- körperlich anstrengende Freizeitaktivitäten in die Morgen-/ Abendstunden verlegt oder ganz abgesagt werden, dass konkrete Maßnahmen verabredet und durchgeführt werden (Kleidung, Nutzung Ventilator, Aufenthalt in kühleren Räumen),
- sichergestellt wird, dass den Bewohner\*innen ausreichend Flüssigkeit zur Verfügung gestellt und zum Trinken animiert wird, dass die Ernährung angepasst wird (leichte und flüssigkeitsreiche Speisen) und dass gegebenenfalls die Körpertemperatur mehrfach täglich kontrolliert und dokumentiert wird ([www.pqsg.de](http://www.pqsg.de)).

#### **4. Diskussion**

Andere europäische Staaten wie Frankreich oder Österreich haben bereits gezeigt, dass die Erstellung und Anwendung von Hitzeschutzplänen sowie gute Kommunikationsstrategien bei Hitzeepisoden von zentraler Bedeutung sein können, wenn Kommunikationskanäle, Warnsysteme und Zielgruppen darin eindeutig abgebildet sind (Fouillet et al., 2008; Pollhammer, 2020).

Etwa neun Millionen Menschen sind derzeit in Deutschland besonders durch Hitze und deren Folgen gefährdet (Ärztblatt, 2022). Die Recherche hat gezeigt, dass es in Deutschland einige staatliche Institutionen und Verbände gibt, die sich aktiv mit der

Erstellung, Weiterentwicklung und Anpassung von Hitzeschutzplänen im Gesundheitswesen befassen. Dennoch konnte auch gezeigt werden, dass Hitzeschutzpläne eher ein theoretisches Konzept bilden, da sie in der Praxis bisher kaum Anwendung finden. Auffällig im Vergleich zu anderen europäischen Staaten ist auch, dass in Deutschland die Implementierung von Hitzeschutzplänen in den Bereich der kommunalen Aufgaben fällt und nicht durch bundesweit einheitliche Vorgaben geregelt werden. Aufgrund von zunehmenden Hitzeperioden in den Sommermonaten und der daraus resultierenden zusätzlichen Belastung für das Gesundheitssystem scheint eine einheitlich verpflichtende Implementierung von Hitzeschutzplänen unumgänglich und der nächste logische Schritt zu sein. Durch die Recherche konnte nicht identifiziert werden, warum zum jetzigen Zeitpunkt Musterhitzeschutzpläne in der Praxis in Deutschland kaum Anwendung finden. Hierfür bedarf es weiterer Methoden, um diese Forschungslücke genauer zu untersuchen und geeignete Maßnahmen zu entwickeln, die zur Anpassung der Musterhitzeschutzpläne und darauf folgend zu Umsetzung und Evaluation führen, damit zukünftig Hitzeschutz im Gesundheitswesen kein theoretisches Konzept bleibt.

## 5. Literaturverzeichnis

- Ärzteblatt (20. Juni, 2022). Hitzeschutzpläne für die Hauptstadt vorgestellt. Zugriff am 27. Januar 2023 von <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/135258/Hitzeschutzplaene-fuer-die-Hauptstadt-vorgestellt>
- Ärzteblatt (15. Juli, 2022). Krankenhäuser wollen mehr Geld für Hitze- und Klimaschutz. Zugriff am 31. März 2023 von <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/135980/Krankenhaeuser-wollen-mehr-Geld-fuer-Hitze-und-Klimaschutz>
- Ärzteblatt (18. Juli, 2022). Bundesregierung bereitet keinen nationalen Hitzeschutzplan vor. Zugriff am 28. Januar 2023 von <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/136004/Bundesregierung-bereitet-keinen-nationalen-Hitzeschutzplan-vor>
- Augustin, J., Sauerborn, R., Burkart, K., Endlicher, W., Jochner, S., Koppe, C., Menzel, A. et al. (2017). Gesundheit. In G. Brasseur, D. Jacob & S. Schuck-Zöller (Hrsg.). Klimawandel in Deutschland (S. 137-149). Berlin: Springer Spektrum.
- Aktionsbündnis Hitzeschutz Berlin (ohne Datum). Zugriff am 08. Februar 2023, von <https://hitzeschutz-berlin.de/hitzeschutzplaene/>
- Blättner, B., Grewe, H.A. & Janson, D. (2021). Hitzeaktionspläne für Kliniken und Pflegeheime. *Pflege*, 74, 14-17.
- Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK) (10. Mai, 2017). Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 60, 662-672.
- Deutschländer, T. & Mächel, H. (2016). Temperatur inklusive Hitzewellen. In G. Brasseur, D. Jacob & S. Schuck-Zöller (Hrsg.). Klimawandel in Deutschland (S. 47-56). Berlin: Springer Spektrum.
- Dhainaut, J.F., Claessens, Y.E., Ginsburg, C., Riou, B. (2004). Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. *Critical Care*, 8(1), 1-2.
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jouglu, E., & Hémon, D. (2008). Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International journal of epidemiology*, 37(2), 309–317.

- Lancet. (1. September, 2021). Prozentuale Veränderung der hitzebedingten Todesfälle in Deutschland im Zeitraum 2006 bis 2019 (im Vergleich zur Referenzperiode 2000 bis 2005) [Graph]. In Statista. Zugriff am 27. Januar 2023, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1240429/umfrage/-hitzebedingte-uebersterblichkeit-in-deutschland/>
- Pollhammer, C. (2020). Hitzeschutzplan Steiermark/Österreich—Klimawandelanpassung in der Praxis. *Public Health Forum*. 28(1), 43-45.
- Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., Drummond, P., Hughes, N., Jamart, L., Kennard et al. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Code red for a healthy future. *Lancet*, 398, 1619-1662
- Schillo, S., Richter, A.-K. & Wasem, J. (2019). Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität, IBES-Diskussionsbeitrag, No. 229, Universität Duisburg-Essen, Institut für Betriebswirtschaft und Volkswirtschaft (IBES), Essen.
- pqsg.de - das Altenpflegemagazin im Internet, Standard "Versorgung von Bewohnern bei Sommerhitze" (stationäre Pflege) (ohne Datum), Zugriff am 08. Februar 2023, von <https://pqsg.de/seiten/openpqsg/mobil/hintergrund-standard-hitze.html>
- Umweltbundesamt (19. März, 2018). Expositionsschätzung Zugriff am 22. Januar 2023, von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/expositionsschaetzung#:~:text=Der%20Mensch%20ist%20vielen%20Umwelt-einfl%C3%BCssen,bezeichnen%20Fachleute%20als%20%E2%80%9EExposition%E2%80%9D.>
- Umweltbundesamt (14. Dezember, 2022). Anzahl der Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 Grad Celsius in Deutschland in ausgewählten Jahren von 1960 bis 2022 [Graph]. In Statista. Zugriff am 22. Januar 2023, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/917728/umfrage/anzahl-der-heissen-tage-in-deutschland/>
- WHO. Regional office Europe. (2021). Effective risk communication for environment and health: A strategic report on recent trends, theories and concepts. Geneva: World Health Organization, 45-47.



# A value-based framework from Building Stock Model to Retrofit Model

Ivett Flores

Technische Universität Braunschweig, Institute for Building Climatology and Energy of Architecture, Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig.

## Abstract

Buildings play a crucial role in global decarbonization efforts to reduce energy consumption. Building Energy Retrofitting (BER) is a highly effective strategy for meeting Green House Gas (GHG) reductions. Building Stock Models (BSM) are typically oriented toward reducing operational emissions. However, achieving energy reductions through retrofit and refurbishment has specific embodied environmental impacts to consider.

This document represents the synthesis of Ph.D. research chapter one, which establishes the “Problem Statement” concerns, such as approach, delimitation, theoretical framework, methodology, and hypothesis. The study has as its original database the decarbonization process initiated in Mexico by the National Commission for the Efficient Use of Energy (CONUEE) as part of its “Savings Program of Electric Power in Buildings of the Federal Public Administration” (PAEIAPF) of 1999. The primary purpose of PAEIAPF was to reduce the levels of electric power consumption in Federal Government buildings. The program has operated for 20 years; however, its scope only reaches operational carbon.

Since 90% of existing buildings will be in use by 2050<sup>1</sup>, the Retrofit Models will be the base to determine solutions for a more resilient living environment that fortifies and extends the grid’s capacity and meets climate change mitigation targets.

Secondly, significant socioeconomic and profound environmental impacts are not calculated explicitly in existing tools and are often referred to as “secondary” or Non-Energy Benefits (NEB). “The goal is to give them a measurement value to be considered in the decision-making calculus. It is assumed that soon, such factors will enter the general climate change economy, not unlike carbon in the past decade.”<sup>2</sup>

In this context, the proposed research is to develop a value-based framework that will support a Building Stock Model and subsequent Retrofit Models, documented in a web-tool platform, which has three main steps:

- a) BUILDING STOCK MODEL: Mapping of selected buildings of the program PAEIAPF in a GIS system. Documentation of the baseline energy consumption, embodied CO<sub>2</sub>-eq of the existing building, and energy required in the supply process;
- b) RETROFIT MODELS: Involving a Whole Life Cycle Assessment (WLCA) and Non-Energy Benefits (resilience coefficient, health, productivity);

---

<sup>1</sup> Ksenia Petrichenko, policy analyst in the International Energy Agency (IEA), 2020.

<sup>2</sup> Michael Jemtrud. Associate Professor School of Architecture, McGill University (Interview).

c) WEB TOOL PLATFORM: Application and Toolset that allows for the consistent documentation, environmental impact evaluation of existing building stock, and solution design in identifying energy reduction concepts.

## **Background**

IEA<sup>3</sup> data shows that the global floor area is expected to increase by 75% mid-century. This is equivalent to adding an area the size of Paris every week for the next 30 years. If this happens with today's energy consumption patterns, more is needed to achieve climate targets. To reduce direct emissions from buildings by more than 95% by 2050, we need to face three things in this order: efficiency, renewable energy electrification, and decarbonization.

Energy efficiency must come first. And in buildings, it should be improved in two ways. First, improving the building envelope's energy efficiency with better materials, design solutions, insulation of walls, roofs, basements, and energy-efficient windows; second, improving the energy efficiency of all appliances and equipment used in the building for space heating and cooling, water heating, lighting, cooking, working, and entertainment.

Improving energy efficiency will result in significant energy savings, reduced CO<sub>2</sub> emissions, lower energy bills, and enhanced comfort, productivity, and health of people living in them.

The second step is a shift towards decarbonized electricity produced from solar, wind, and other low-carbon sources; however, in some countries like Mexico, the transition to renewable energy resources needs to be seen Mexico cautiously. Even though Mexico has one of the highest levels of solar radiation on Earth, it gets more than 80% of its total energy supply from fossil fuels, and it started to import natural gas as a source of electricity generation. So there is a climate imperative and a solid geopolitical and energy security imperative to electrify and decarbonize our buildings and make them as efficient as possible.

The evolution of existing building stock to curtail energy consumption by upgrading building structures is a proven, highly effective climate change mitigation and adaptation strategy (1-10).

Operational emissions (using buildings for Energy Efficiency and on-site production of renewable energy) are critical in the clean energy transition. BER strategies aim to achieve reductions, which implies meaningful, environmental, energy, and societal aspects.

More critical than operational emissions are the Embodied Emissions that arise from producing, procuring, installing, maintaining, and eventually disposal of the materials and components that make up a building.

The amount of embodied carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-eq) in a typical building outweighs operational CO<sub>2</sub> emissions throughout its lifecycle (69% in residential, 76% in warehouses, 67% in commercial) (11, 12).

---

<sup>3</sup> <https://www.iea.org/>

To achieve a net-zero carbon building stock by 2050, the IEA estimates that direct building CO<sub>2</sub> emissions would need to decrease by 50% and indirect building sector emissions decline through a reduction of 60% in power generation emissions by 2030. These efforts must see building sector emissions fall by around 6% annually from 2020 to 2030. For comparison, the global energy sector's CO<sub>2</sub> emissions decreased by 7% during the pandemic.

Most efforts are designated to new constructions; however, to reach energy demand-decreasing targets by 2050, savings may be primarily achieved by renovating the existing building stock rather than new buildings.

Generally, the typical energy renovation rate is 12% of the building stock per year, with average energy intensity reductions usually less than 15%. To achieve the Sustainable Development Scenario (SDS), however, energy renovations need to reduce energy intensity by 30-50%.

Refurbishment actions based on moderate efforts in existing buildings could contribute the most to decarbonizing the building environment.<sup>4</sup>

Although refurbishment is necessary to reach the ambitious energy and decarbonization targets for 2020 and 2050, which require an eventual reduction of up to 90% in CO<sub>2</sub> emissions, the renovation rate still needs to be higher. There is an increasing demand to upgrade both the physical condition and the performance of the building, with the minimum disturbance to the interior, so that the occupants do not have to be relocated during construction. Thus, the role of the user and the owner becomes essential not only in terms of performance during the post-refurbishment phase but also in the design and planning of the refurbishment.

### **Research Problem**

Several countries are now introducing stringent regulations to retrofit existing buildings. For instance, the Building Technology Program of the United States Department of Energy and the European Union Directive of Energy Performance of Buildings are two significant initiatives introduced in the past to promote the construction of new net-zero buildings and retrofit the existing ones. In the case of Mexico, there are some isolated efforts to have more energy efficiency in buildings, for example, the PAEIAPF of 1999.

However, to be a scalable and replicable instrument in other contexts, there needs to be a digital database of this information where the baseline data and improvement in the energy efficiency performance of buildings can be transparent.

One way to have control of energy efficiency strategies and renewable energy measures for existing buildings is designing a Framework and evaluation method where it will be possible to map the main characteristics of sample buildings, such as baseline energy consumption and embodied carbon, identifying the emissions that can be avoided and calculated in an Environmental Balance Sheet.

---

<sup>4</sup> Loga et al.2015.

That information must be the base for designing Retrofit prototype solutions. The result must be classified and documented strategically to reply to and scale the sample and the scope for future analysis.

As a reference, some similar projects have shaped the research framework. The most influential authors in this exploration have been Hollberg et al. 2020; Hester et al.; Claudio Nägeli, Martin Jakob, Giacomo Catenazzi, York Ostermeyer; Soust-Verdaguer, Bernadette. However, some conclusions regarding state of the art so far are that most tools and methodologies are implemented for the design and pre-design phases but for new buildings, some of the most used Instruments, tools, and Methods for retrofit proposals are BSM, WLCA, and the use of Algorithms. Regarding the BSM for retrofit, research is increasing, especially in the residential sector, European countries, and North America, but it still needs to be in LATAM.

Most existing studies focus on devising retrofit solutions on a case-by-case basis rather than approaching the problem in a standardized way.

Therefore, the scope of this research is to develop a framework that can help to retrofit a specific building or a set of buildings on an urban scale. The selected sample is a group of Office Buildings property of the Mexican Government located in Mexico City, which are part of the PAEIAPF, specifically, the ones located in Cuauhtémoc District (68 Office Buildings).

It is essential to quantitatively manifest the advances made so far in the PAEIAPF program, set a digital platform, and, most importantly, curate the baseline information through the framework that contemplates the whole life carbon vision to integrate the WLCA, Operational Carbon, and Embodied Carbon in the retrofit design strategies.

Additionally, the framework will contemplate the stakeholders, such as the owners and especially the users, and make clear the benefits, not only from an environmental perspective but also economically.

### **Research Objective**

Design a digital system to document and verify buildings' baseline regarding energy consumption, embodied carbon, and energy required in the supply process. Said Digital Platform will be the repository of retrofit models based on the information collected. The performance of the sample buildings will be documented with future projections, incorporating possible scenarios of renewable energy supply (out of initial scope). The reference framework for the retrofit proposals will be based on the Whole Life Carbon Assessment vision; it will include the Non-Energy Benefits (resilience coefficient) measurement.

## Methodology

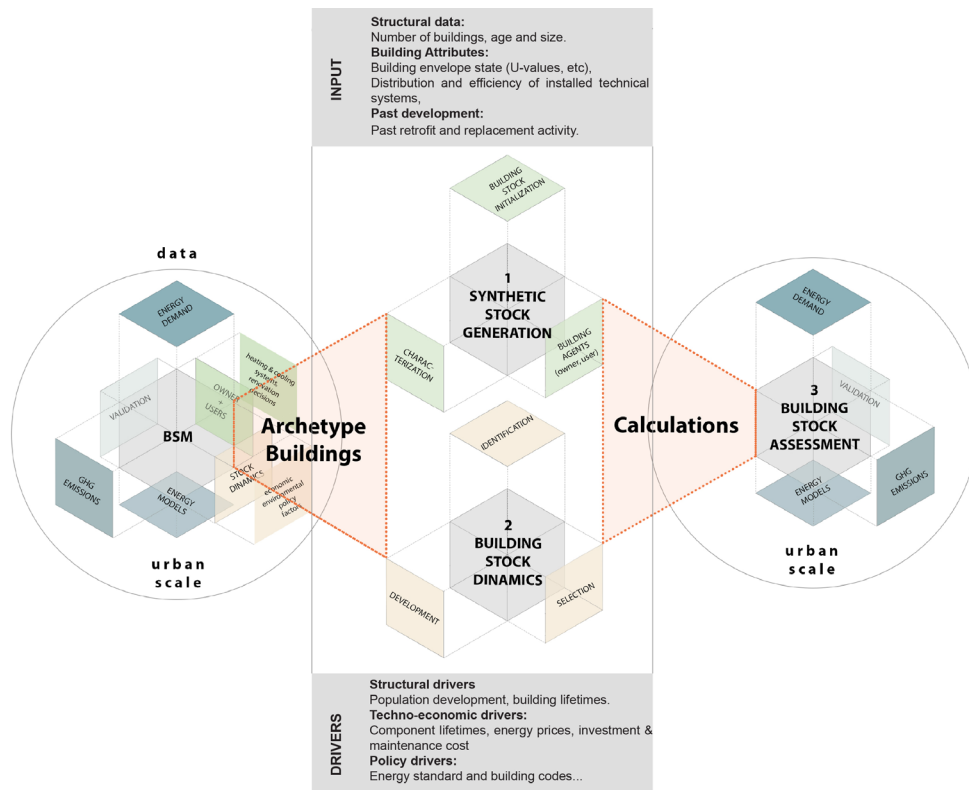


Figure 1: Schematic Methodology

A Building Stock Model (BSM) will be used as the starting point of the methodology for assessing the energy demand and environmental impact of the representative sample of buildings that conform to the building stock and that, through retrofit strategies, can determine pathways for reducing GHG emissions and energy demand. However, typical BSM usually does not consider variables such as the probability that users and owners want/should retrofit their properties, as well as dynamic concepts like economic and environmental policy factors, which can be determining factors in the strategies to be proposed.

On an urban scale, more information regarding the baseline is needed. In this case, CONUEE (National Commission for the Efficient Use of Energy), a Mexican Institution, has shared the energy consumption record of Buildings properties of the Federal Government that are part of their program “Savings Program of Electric Power in Buildings of the Federal Public Administration,” where a selection of 68 buildings located in Cuauhtémoc district, in Mexico City, is part of the scope of the analysis.

Even though the energy consumption record is a critical baseline aspect, the characterization of the buildings requires more information with which to fill the proposed template for their documentation. The research will follow the methodology for generating synthetic building stocks tailored for Mexico City buildings (22).

The method for generating the initial building stock per se comprises four steps: (1) building stock initialization, (2) characterization, (3) retrofit proposals, and (4) synthetic building stock assessment in terms of its energy demand and GHG emissions.

“An extension of the approach will be to combine the synthetic building stock with a synthetic population. This would make it possible to model occupant behavior in greater detail or estimate the impact of changes in the building stock on the population, including social sustainability indicators.” (22).

VARIABLES	INDICATORS
V1. Specific buildings that are property of the Federal Government. Those buildings were part of the “Savings Program of Electric Power in Buildings of the Federal Public Administration,” carried out by CONUEE.	I1. Reduction of final energy consumption in public office buildings (kWh/year).
V2. Poor availability and quality of data. The baseline of Buildings’ Energy consumption and their characterization.	I2. Reduction of Operational Carbon Emissions (CO <sub>2</sub> eq).
V3. Building Performance	I3. Reduction of Embodied Carbon Emissions (CO <sub>2</sub> eq).
V4. The user, the owner, and the stock dynamics (economic, environmental policy factors).	I4. Reduction of primary energy consumption in public office buildings (kWh / year). (Non-renewable supply primary energy consumption values (kWh / m <sup>2</sup> • year). (Out of initial scope).
V5. Buildings Resiliency as a national security matter.	I5. Estimated annual reduction of greenhouse gases (GHG) (equivalent tons of CO <sub>2</sub> / year).
V6. Renewable Energy Sources and the Independence of Buildings from the Grid. (Out of initial scope).	I6. Estimated annual quantification of NEB and Resilience factor (units and measurement criteria TBD).
V7. Business model to buildings retrofit. (Out of initial scope).	I7. Standardized retrofit strategies by similar cases.
	I8. Independent Buildings of the energy network. (Out of initial scope).

Table 1: Variables and Indicators

## Hypothesis

1. Developing a value-based framework will give continuity to the retrofit strategy projects in the building stock model selected as a sample, which considers some specific buildings property of the Federal Government. To achieve energy efficiency, those buildings were part of the “Savings Program of Electric Power in Buildings of the Federal Public Administration,” carried out by CONUEE, but this time will consider the WLCA and NEB.
2. The **lack of buildings data documentation** at an urban scale can be saved with the synthetic building stock method to identify the **energy consumption baseline and their characterization**.
3. The digital resource of a Web Tool will serve as a repository for the information collected, both for the baseline and to record the different scenarios of the retrofit strategies, and thus be able to monitor **Building Performance**.

4. To ensure the framework's success, even synthetically, the user, the owner, and the stock dynamics (economic and environmental policy factors) must be included.
5. As long as a measurement of the Non-Energy Benefits (NEB), especially the Resilience factor (regarding how buildings can facilitate the regeneration of natural resources), can be determined quantitatively, they will not be a priority or a matter of national security.
6. As part of the retrofit proposals, incorporating renewable energy sources will make the sample **building stock independent of the grid** (out of initial scope).
7. This value-based framework can develop a **business model for buildings to retrofit** the sample building stock (as a further study).

### **Bibliographic References**

- (1) Hoicka, C.E., Das, R. (2020) Ambitious deep energy retrofits of buildings to accelerate Canada's 1.5°C energy transition. *The Canadian Geographer* 2020, 1-12.
- (2) Egerter, A., Campbell, M. (2020) Prefabricated Zero Energy Retrofit Technologies: A Market Assessment. Oakland, CA. DOE/GO-102020-5262. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/76142.pdf> (Accessed: 30 January 2023)
- (3) Cluett, R., Amann, J. (2014) Residential Deep Energy Retrofits. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), American Council for an Energy-Efficient Economy, <https://www.aceee.org/research-report/a1401> (Accessed 30 January 2023)
- (4) Less, B., Walker, I. (2015) Deep Energy Retrofit Guidance for the Building America Solutions Center. Contract No. DEAC02-05CH11231. California: United States Government
- (5) Swan, W., Brown, P., eds. (2013) *Retrofitting the Built Environment*, John Wiley & Sons, Incorporated. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/northeasternebooks/detail.action?docID=1343437>
- (6) The Rockefeller Foundation (2012) United States Building Energy Efficiency Retrofits. The Rockefeller Foundation, DB Climate Change Advisors. Available at: [www.rockefellerfoundation.org/report/united-states-building-energy-efficiency-retrofits/](http://www.rockefellerfoundation.org/report/united-states-building-energy-efficiency-retrofits/)
- (7) Smith, K., Bell, M. (2011). *Going DEEPer: A New Approach for Encouraging Retrofits*. Washington, DC: Institute for Building Efficiency and Rocky Mountain Institute. Retrieved from <https://rmi.org/insight/going-deeper-a-new-approach-for-encouraging-retrofits/>
- (8) IPCC (2018) "Summary for Policymakers" Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. V. Masson-Delmotte, et al. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- (9) United Nations Environment Programme (2019) Emissions Gap Report. UNEP, Nairobi. Available at: <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- (10) UN Environment and International Energy Agency (2017) *Towards a zero-emission, efficient, resilient building and construction sector. Global Status Report 2017.*

- (11) Finch, G., Hanam, B. (2013) Net Zero Building Enclosure Retrofits for Houses: An Analysis of Retrofit Strategies. ASHRAE Buildings XII Conference. Available at: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2013%20B12%20papers/056\\_Finch.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2013%20B12%20papers/056_Finch.pdf)
- (12) World Green Building Council (2019) Bringing Embodied Carbon Upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC\\_Bringing\\_Embodied\\_Carbon\\_Upfront.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf)
- (13) United Nations University, Institute for Integrated Management of Material Fluxes and Resources. Available at: <https://flores.unu.edu/en/research/nexus>
- (14) IEA (2019), Material efficiency in clean energy transitions, Paris <https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>
- (15) Göswein, V., Silvestre, J.D., Monteiro, C.S., Habert, G., Freire, F., Pittau, F. (2021) Influence of material choice, renovation rate, and electricity grid to Achieve a Paris Agreement-compatible building stock: A Portuguese case study. *Building and Environments* 195.
- (16) Geels, F., Sovacool, B.K., Schwanen, T., Sorrell, S. (2017) Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science* 357 (6357) 1242-1244.
- (17) Ballarini, I., Corgnati, S.P., Corrado, V. (2014) Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project, *Energy Policy*, Volume 68, 273-284, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027>
- (18) Larsen, K.E., Lattke, F., Ott, S., Winter S. (2011) Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements. *Automation I Construction* 20, 999-1011.
- (19) Hollberg Alexander et al 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 588 052018. A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase.
- (20) Hester, J., Miller, T.R., Gregory, J. et al. Actionable insights with fewer data: guiding early building design decisions with streamlined probabilistic life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 23, 1903–1915 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1431-7>
- (21) Claudio Nägeli, Martin Jakob, Giacomo Catenazzi, York Ostermeyer, Towards agent-based building stock modeling: Bottom-up modeling of long-term stock dynamics affecting the energy and climate impact of building stocks, *Energy and Buildings*. Volume 211, 2020, 109763, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109763>.
- (22) Claudio Nägeli, Clara Camarasa, Martin Jakob, Giacomo Catenazzi, York Ostermeyer. Synthetic building stocks as a way to assess the energy demand and greenhouse gas emissions of national building stocks. *Energy and Buildings*, Volume 173, 2018, Pages 443-460, ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.055>.
- (23) Bernardette Soust-Verdaguer, Carmen Llatas, Antonio García-Martínez. A critical review of bim-based LCA method to buildings, *Energy and Buildings*, Volume 136, 2017, Pages 110-120, ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>.



# Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder von gemeinschaftlicher Bedeutung (FFH-Lebensraumtypen)

Henrike Wild

Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

## Abstract

Die Witterung der Jahre 2018, 2019 und 2020 waren durch extreme Trockenheit charakterisiert. In Folge dessen kam es in den Wäldern in Deutschland vor allem in den nicht standortgerechten Fichtenbeständen zu starken Verlichtungs- und Absterbeereignissen. Aber auch die Laubwälder sind durch die Trockenheit beeinträchtigt. Dies betrifft auch Wälder in Natura2000-Gebieten.

Die Untersuchungen erfolgten im Harz und Harzvorland in repräsentativen, stichprobenartig ausgewählten FFH-Lebensraumtypen und zeigen sowohl eine Zunahme des Totholz-vorkommens als auch eine Abnahme der Deckung der Baumschicht 1.

## 1. Hintergrund

Aufgrund der außerordentlichen Sommertrockenheit und -hitze in den Jahren 2018, 2019 und 2020 (Mohr & Marx, 2018; Umweltbundesamt, 2022) sind teilweise großflächige Bereiche mit absterbenden Nadel- und mittlerweile auch geschädigten Laubbaumarten in unseren heimischen Wäldern entstanden (u.a. Buras et al., 2020; Obladen et al., 2021; Schuldt et al., 2020). Dies betrifft auch Waldbestände innerhalb von Natura2000-Gebieten, welche als Schutzgebiete für Arten und Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse ausgewiesen sind und deren langfristiges Überleben sichern sollen (RL92/43/EWG, 1992).

Derzeit fehlt es jedoch an Untersuchungen und systematischen Auswertungen der vergangenen Trockenjahre auf genau diese Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung bzw. einer Abschätzung der Folgen in Hinblick auf den Erhalt bestimmter Waldlebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie (RL92/43/EWG, 1992) (siehe jedoch Wirth et al., 2021).

Dabei ist die Betrachtung der Auswirkungen der Trockenheit innerhalb der FFH-Waldlebensraumtypen in Hinblick auf das Erhaltungsgebot bzw. das Verschlechterungsverbot der FFH-Richtlinie (RL92/43/EWG, 1992) wichtig. Darüber hinaus können die Ergebnisse solcher Untersuchungen eine wichtige Diskussionsgrundlage sowohl für den weiteren Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels als auch die Anpassung der Wälder an den Klimawandel auch außerhalb von Natura2000-Gebieten darstellen.

Das Ziel der Untersuchungen ist es den derzeitigen Zustand der FFH-Waldlebensraumtypen zu erfassen und aus dem Vergleich mit früheren Daten Rückschlüsse zu bereits eingetretenen Veränderungen in FFH-Waldlebensraumtypen zu ziehen.

## 2. Methodik

Die Untersuchungen erfolgten in vier walddreichen FFH-Gebieten im Osthartz und Harzvorland in Sachsen-Anhalt und beschränkten sich auf die dort repräsentativen FFH-Waldlebensraumtypen (Tabelle 1)

LRT	Name	Kurzbeschreibung (LAU, 2014)
9110	Hainsimsen-Buchenwald	Rotbuchenwald auf mesotrophen-sauren, nicht grundwasserbeeinflussten Standorten
9130	Waldmeister-Buchenwald	Rotbuchenwald auf eutrophen, nicht grund- oder stauwasserbeeinflussten Standorten
9170	Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald	Winterlindenreiche Eichen-Hainbuchenwälder, charakteristisch für das mitteldeutsche Trocken-gebiet
9180*	Schlucht- und Hangmischwald	azonale Wälder aus vorrangig Edellaubbäumen in block- und gesteinschuttreichen Hanglagen

*Tabelle 1: Übersicht über die untersuchte FFH-Waldlebensraumtypen*

Die Untersuchung der FFH-Lebensraumtypen erfolgte stichprobenartig. Anhand der letzten FFH-Kartierung (= Vorkartierung (2008 bis 2014)) wurden FFH-Gebiete ausgewählt, in denen die betrachteten Lebensraumtypen flächenmäßig weit verbreitet bzw. repräsentativ vertreten sind. Es ergab sich entsprechend die folgende Gebietskulisse:

- Huy nördlich Halberstadt (FFH0047)
- Havel südlich Kroppenstedt (FFH0052)
- Selketal und Bergwiesen bei Stiege (FFH0096)
- Bodetal und Laubwälder des Harzrandes bei Thale (FFH0161)

In diesen Gebieten erfolgte eine stratifiziert-randomisierte Auswahl von Bezugsflächen, d.h. die Auswahl von Untersuchungsflächen erfolgte über festgelegte Straten in diesem Fall: die Bewertungskriterien „Gesamterhaltungszustand“ und „Bestandsstruktur“ aus der FFH-Kartierung.

In der Kombination der beiden Kriterien (Ausprägung von Erhaltungszustand sowie Bestandsstruktur) ergeben sich sechs Straten (selten auftretende Kombinationen der beiden Kriterien wurden ausgeschlossen). Ziel war es 10 % der Lebensraumtypfläche je Stratum in den beiden FFH-Gebieten zu erfassen. Dafür wurden für jedes Stratum, wenn möglich, mind. sieben Stichproben gezogen. Für die flächenmäßig weitverbreiteten Lebensraumtypen 9130 und 9170 wurden jeweils ca. 15 Stichproben gezogen. Insgesamt wurden 174 Flächen für die Untersuchungen ausgewählt und anschließend im Gelände kartiert.

Die Kartierung umfasste dabei ausgewählte für das Untersuchungsziel relevante Parameter der FFH-Kartierung (= Nachkartierung). Ein Vergleich der erhobenen Daten mit den Ergebnissen der vorangegangenen Kartierung (= Vorkartierung) ermöglicht es Veränderungen innerhalb der FFH-Waldlebensraumtypen festzustellen und zu quantifizieren. Den hier vorgestellten Auswertungen liegen folgende im Gelände erfasste und entsprechend der FFH-Kartierung bewertete Parameter zu Grunde: (1) das Vorkommen

von starkem Totholz und (2) die Deckung der jeweiligen Baumschichten. Die Kartierungen erfolgten in den Jahren 2021 und 2022 zwischen Juli und September.

In die Erfassung des Totholzes werden nach den Vorgaben für die FFH-Kartierung (LAU, 2014) ausschließlich stehendes und liegendes Totholz mit einem Brusthöhendurchmesser > 50 cm und 3 m Höhe/Länge aufgenommen. Die Einteilung der Baumschichten (B) erfolgt anhand der Baumhöhe (B1: > 18 m, B2: 7-18 m, B3: < 7 m) (LAU, 2014). Die Einschätzung der Deckung der einzelnen Baumschichten erfolgt in Bezug auf das gesamte Polygon. Die Ergebnisse der Erfassungen wurden mit Hilfe einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung auf signifikante Unterschiede untersucht.

### 3. Ergebnisse

Der Vergleich zwischen den Vorkartierungen und den Nachkartierungen zeigt hinsichtlich des Totholzvorkommens eine signifikante Zunahme in allen betrachteten FFH-Lebensraumtypen (Abbildung 1, Tabelle 2). So hat sich die Stückzahl Totholz pro Hektar im Mittel mehr als verdoppelt. In den Vorkartierungen wurden im Mittel noch zwei Stück pro Hektar erfasst, während in der Nachkartierung ca. fünf Stück pro Hektar erfasst wurden.

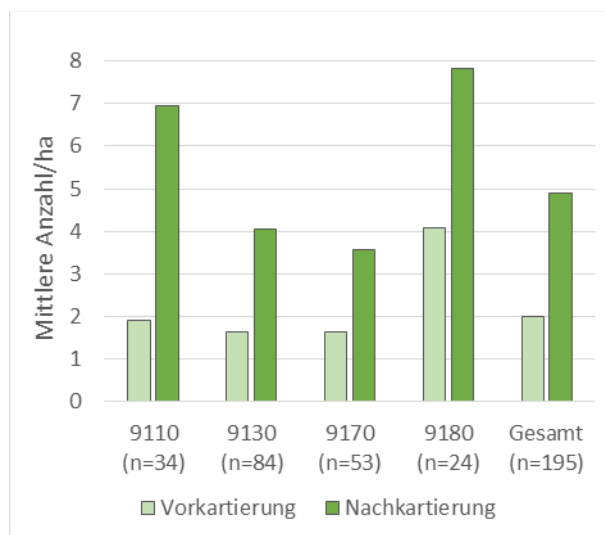


Abbildung 1: Vergleich des Totholzvorkommens pro Hektar zwischen Vor- und Nachkartierung

	df	F	Sig.
TH <sup>1</sup>	1	97,0	***
TH <sup>1</sup> x LRT <sup>2</sup>	3	5,5	***
LRT <sup>2</sup>	3	6,9	**

<sup>1</sup>Innersubjektfaktor; <sup>2</sup>Zwischensubjektfaktor  
\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 2: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung (TH = Totholz, LRT = Lebensraumtyp)

Weiterhin ist ein signifikanter Rückgang der Deckung der Baumschicht 1 in allen untersuchten FFH-Lebensraumtypen festzustellen (Abbildung 2, Tabelle 3). Im Mittel ging dabei die Deckung der Baumschicht 1 um ca. 10 % von rund 60 % in den Vorkartierungen auf rund 50 % in den Nachkartierungen zurück. Während gleichzeitig die Baumschicht 3 (Verjüngung) in ihrer Deckung signifikant von ca. 34 % auf 44 % Deckung zugenommen hat.

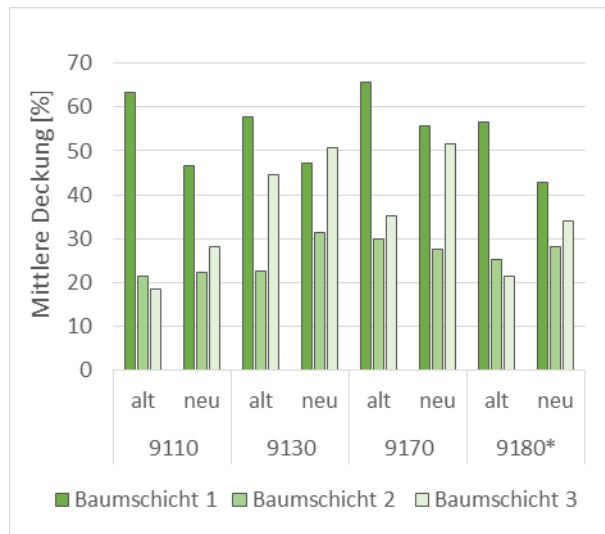


Abbildung 2: Vergleich der Baumschichtdeckungen zwischen Vorkartierung (alt) und Nachkartierung (neu)

	df	F	Sig.
B1 <sup>1</sup>	1	76,1	***
B1 <sup>1</sup> x LRT <sup>2</sup>	3	1,2	n.s.
LRT <sup>2</sup>	3	3,0	*
B2 <sup>1</sup>	1	3,5	n.s.
B2 <sup>1</sup> x LRT <sup>2</sup>	3	4,2	**
LRT <sup>2</sup>	3	1,1	n.s.
B3 <sup>1</sup>	1	49,7	***
B3 <sup>1</sup> x LRT <sup>2</sup>	3	2,8	*
LRT <sup>2</sup>	3	10,9	***

<sup>1</sup>Innersubjektfaktor; <sup>2</sup>Zwischensubjektfaktor  
\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 3: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung (B = Baumschicht, LRT = FFH-Lebensraumtyp)

Insgesamt wurden Veränderungen innerhalb der FFH-Waldlebensraumtypen im Ostharz und Harzvorland festgestellt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die extremen Bedingungen der Trockenjahre 2018 bis 2020 bereits zu Änderungen in der Struktur und Zusammensetzung der Bestände geführt haben könnten, wobei weitere Einflussfaktoren nicht ausgeschlossen werden können. Dies betrifft bspw. biotische Faktoren, wie Insektenkalamitäten (die häufig auch im Zuge des Vitalitätsverlustes der Gehölze auftreten), aber auch bewirtschaftungsinduzierte Veränderungen. Dies bezüglich besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

## Literaturverzeichnis

- Buras, A., Rammig, A. & Zang, C. S. (2020). Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003. *Biogeosciences*, 17(6), 1655–1672. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1655-2020>
- LAU (2014). Kartieranleitung Lebensraumtypen Sachsen-Anhalt, Teil: Wald: Zur Kartierung der Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie.
- Mohr, S. & Marx, A. (2018). *Deutschland im Hitzestress. Rekordwärme trifft Rekorddürre*. Earth System Knowledge Platform (ESKP). <https://doi.org/10.2312/eskp.025>
- Obladen, N., Dechering, P., Skiadaresis, G., Tegel, W., Keßler, J., Höllerl, S., Kaps, S., Hertel, M., Dulamsuren, C., Seifert, T., Hirsch, M. & Seim, A. (2021). Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018–2019 hot droughts in central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108482. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108482>
- Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (1992). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31992L0043>
- Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T. E., Hauck, M., Hajek, P., Hartmann, H., Hiltbrunner, E.,

- Hoch, G., Holloway-Phillips, M., Körner, C., Larysch, E., Lübbe, T., Nelson, D. B., Rammig, A., . . . Kahmen, A. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, *45*, 86–103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>
- Thonfeld, F., Gessner, U., Holzwarth, S., Kriese, J., Da Ponte, E., Huth, J. & Kuenzer, C. (2022). A First Assessment of Canopy Cover Loss in Germany's Forests after the 2018–2020 Drought Years. *Remote Sensing*, *14*(3), 562. <https://doi.org/10.3390/rs14030562>
- Umweltbundesamt. (2022, 15. Juli). *Trockenheit in Deutschland - Fragen und Antworten*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten>
- Wirth, C., Engelmann, R. A., Haack, N., Hartmann, H., Richter, R., Schnabel, F., Scholz, M. & Seele-Dilbat, C. (2021). Naturschutz und Klimawandel im Leipziger Auwald. *Biologie in unserer Zeit*, *Bd. 51 Nr. 1*, 55–65. <https://doi.org/10.11576/biuz-4107>

# **Untersuchung über den Einsatz von TCR-Pflanzenkohle in der Landwirtschaft – Auswirkung auf die Qualität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse sowie die Möglichkeit einer langfristigen Bindung von Kohlenstoffdioxid in Böden**

Jeannine Dallmann

Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

## **Abstract**

Die Relevanz des Klimaschutzes ist unumstritten. Um das 1,5 °C Ziel zu erreichen, besteht akuter Handlungsbedarf, was im weitesten Sinne bedeutet Kohlenstoff nachhaltig der Atmosphäre zu entziehen. Ein Lösungsansatz ist das Pyrolysieren von Biomasse mit einem kohlenstoffreichen Karbonisat im Endprodukt. Darüber hinaus entstehen vielfältige Nutzungspotenziale für die produzierte Kohle, die sich aus der Stoff-Charakteristik ergeben. Ein Anwendungsfeld in der Landwirtschaft ist der Einsatz der Pflanzenkohle zur allgemeinen Bodenverbesserung, was in einem Feldversuch der Hochschule Anhalt untersucht wird. Das Fraunhofer UMSICHT stellte die Versuchskohle für diesen Versuch bereit, die aus dem besonderen Pyrolyse-Verfahren des Thermokatalytischen Reforming (TCR) stammt und gegenüber Kohlen aus verbreiteten Standardverfahren eine erhöhte Stabilität aufweist und zur langfristigen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung beiträgt. Im Versuch wird die Kohle zunächst im definierten Verhältnis mit Gärresten aus der Biogasanlage angereichert, mit der Zielstellung die Nährstoffe aus dem organischen Dünger zu binden. Die beladene TCR-Pflanzenkohle wird dann in den Boden eingearbeitet und im Produktionsverfahren integriert. Die Beurteilung der Bodenverbesserung auf dem Schwarzerde-Standort umfasst analytische Bodenuntersuchungen in einem unabhängigen Labor. Im Ergebnis konnte bereits nach drei Monaten eine deutliche Steigerung im Humusgehalt, im Wasserspeichervermögen und im Nährstoffspeichervermögen herausgestellt werden, was sich bei der Etablierung der angebauten Kultur als vorteilhaft erwies und sich u. a. im verbesserten Feldaufgang manifestiert hat. Im Ausblick kann der landwirtschaftliche Akteur eine Schlüsselrolle einnehmen, um aktiv Klima- und Umweltschutz zu betreiben, sowie Nährstoffkreisläufe zu schließen bzw. die Güte der Nährstoffe zu erhalten.

Pflanzenkohle, Pyrolyse, Carbon Farming, CO<sub>2</sub>-Sequestrierung

## **1. Einleitung**

Eine einseitige Landnutzung ist aus ökonomischen Gesichtspunkten eine gängige Praxis der letzten Jahrzehnte. Humuszehrende Fruchtfolgen sorgen allerdings für stagnierende Erntekurven. Eine Verschärfung der Situation ergibt sich aus dem veränderten Wetter. Vermehrt langanhaltende Trockenperioden in Kombination mit einer erhöhten Strahlungsintensität bringen die Pflanzen in eine Stresssituation; der Nährstofftransport

wird eingestellt und die Pflanze verhungert, so dass der bereitgestellte Stickstoffdünger zur Ertragsbildung nicht genutzt werden kann. Hinzu kommen Starkniederschlagsereignissen, die in ihrer Häufigkeit zunehmen und in der Folge zu einer potenziellen Erosion führen können. Mit dieser Ausgangssituation offenbart sich der Handlungsbedarf die Bodenfruchtbarkeit wiederherzustellen bzw. zu fördern. Die Terra preta oder Indianer-Schwarzerde ist schon lange für ihre hohe Fruchtbarkeit bekannt und basiert auf das Zusammenführen von Holzkohleresten in Verbindung mit organischem Material zur Nährstoffanreicherung und der Aktivität von Mikroorganismen. Charakteristisch ist der hohe Kohlenstoff-Anteil mit einer langfristigen Stabilität. Dies zum Vorbild lassen sich auch die hiesigen Böden aufwerten. Mit der Pyrolyse lässt sich kohlenstoffreiche Bio-kohle herstellen. Je nach Trockensubstanzgehalt der zu pyrolysierenden Biomasse ist das Verfahren zu wählen. Die hydrothermale Karbonisierung (HTC-Verfahren) ermöglicht die Pyrolyse von Ausgangsstoffen mit geringer Trockensubstanz, wie zum Beispiel dem flüssigen Gärrest. Allerdings erhält man hieraus weniger beständige Kohle. Unter dem Aspekt der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung für die persistente Kohlenstoffbindung sind andere Verfahren Mittel der Wahl. Das Thermokatalytische Reforming (TCR) ist ein vom Fraunhofer UMSICHT entwickeltes zweistufiges Verfahren mit Temperaturen bis 700°C, was stabile Kohle hervorbringt und vorzugsweise zur Überdauerung im Boden befähigt ist. Bedingt durch die poröse Struktur der Pflanzenkohle, lassen sich in der Kohle Nährstoffe speichern, sowie Wasser binden, worin die positiven Effekte bei Eintragung in den Boden begründet liegen.

## 2. Material und Methoden

Auf dem Versuchsfeld der Hochschule Anhalt, einem Schwarzerde-Standort, wurde im Herbst 2021 der Feldversuch angelegt. Es handelt sich um eine Streifenanlage mit vierfacher Wiederholung, wobei die einzelne Parzelle eine Fläche von 24m<sup>2</sup> (8mx3m) umfasst. Als Fruchtfolgeglied ist für das erste Erntejahr 2022 die Sommerung Silomais im Anbau, gefolgt vom Winterweizen in Herbstsaat im Erntejahr 2023 inklusive der Abfuhr der Nebenprodukte (Stroh wird gepresst und abgefahren), um eine klassische humuszehrende Fruchtfolge abzubilden. Eine unbehandelte Nullvariante dient als Referenz gegenüber einer beladenen Pflanzenkohle-Variante, die darüber hinaus im Herbst vor der Hauptfrucht Silomais eine Zwischenfrucht (abfrierende Gelbsenfsaat) trägt. Zusätzlich ist eine Variante mit Gärrest in Kombination mit der Zwischenfrucht angelegt. Das Schema der Versuchsanlage ist nachfolgend abgebildet.

Fruchtfolge: Erntejahr 2022- Silomais; Erntejahr 2023 - Winterweizen  
 Prüfglieder: a0 - Kontrolle  
 a1 - beladene Biokohle und Zwischenfrucht-Aussaat 25m<sup>3</sup> Gärrest + 30 t/ha TCR-Kohle  
 a2 - Gärrest und Zwischenfrucht-Aussaat 25 m<sup>3</sup> Gärrest

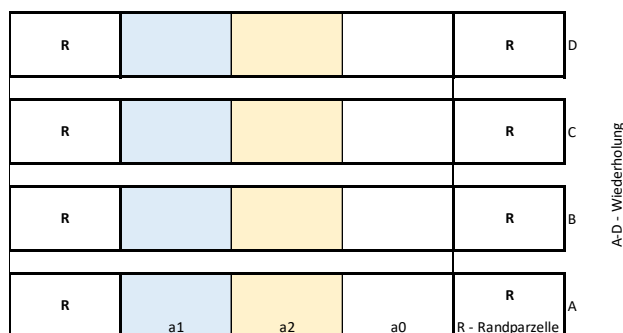


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Versuchsanlage in Streifenfeld

Bevor die TCR-Kohle in den Boden eingearbeitet wird, muss die sog. Beladung stattfinden. Das bedeutet die Kohle wird mit einem nährstoffreichen Medium, in der Versuchsanlage flüssiger Gärrest aus einer NAWARO-Biogasanlage, gemischt und über einen Zeitraum von 4 Wochen gelagert bevor dieses Gemisch in den Boden wurzelnah in einer Tiefe von 15-20 cm eingearbeitet wird. Zum selben Zeitpunkt sind auch die Gärreste ausgebracht und eingearbeitet worden. Abschließend ist die Aussaat der Zwischenfrucht erfolgt. Die Aussaat der Hauptfrucht ist zu den entsprechenden Saatterminen erfolgt.

Die Auswirkung der Bodenbehandlung wird mit Analysen des Bodens in einem unabhängigen und zertifizierten Agrarlabor geprüft. Um Änderungen zu erfassen, ist die

Ausgangssituation in allen Varianten erhoben worden. Die Analyse konzentriert sich auf folgende ausgewählte Parameter:

- Gehalt des organischen Kohlenstoffs als Referenz für die Entwicklung des Humusgehaltes
- Entwicklung der Nährstoffdynamik insbesondere bei Stickstoff
- Einfluss auf die nutzbare Feldkapazität beim Bodenwasser

Im Feld vor Ort werden fachgerechte und qualitative Beobachtungen (Bonituren) durchgeführt:

- Beurteilung des Feldaufgangs anhand der Pflanzen je Quadratmeter
- Entwicklung und Auffälligkeiten der Pflanzen in der Vegetationsperiode
- Bestandesdichte der Kultur zum Zeitpunkt der Ernte

Mit der Ernte der angebauten Kultur wird für jede Parzelle der Ertrag ermittelt und es erfolgt abschließend die Bestimmung der typischen Qualitätsparameter je nach Kultur.

Der Versuch wird über weitere Rotationen betrachtet und durch eine zusätzliche Anlage des gleichen Schemas ab Herbst 2022 erweitert, um eine belastbare Datengrundlage zu erhalten.

### **3. Resultate**

Die Pflanzenkohle besitzt eine Depotwirkung und kann mit Nährstoffen angereichert werden. Dieser Effekt der Vorbehandlung/Beladung konnte mit den eigenen Untersuchungen nachgewiesen werden. Bei einem ausgewogenen Mischungsverhältnis der Komponenten Pflanzenkohle und Gärrest (flüssig) lässt sich in Korrelation mit der Beladungszeit eine deutliche Adsorption der Ammonium-Fraktion messen und so das Stickstoffverlustpotenzial verringern, so dass mit dieser Veredlung ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet wird. Denn die Umwandlungsprozesse der Nitrifikation von Ammonium zu Nitrat sind folglich auch reduziert und die Gefahr der Nitratauswaschung in das Grundwasser gehemmt.

In der ersten Versuchsanlage im Feld waren bereits nach drei Monaten die ersten Veränderungen messbar. Gegenüber der brachliegenden Kontrolle als Referenz (100%) zeichnete sich für die Pflanzenkohle eine Verbesserung im Humusgehalt um 7,4 % ab. Die reine Gärreste-Variante unterschied sich in diesem Merkmal nicht von der Referenz.



Hinsichtlich des Wasserspeichervermögens (nutzbare Feldkapazität, nFK) waren beide Behandlungen gegenüber der Kontrolle im Vorteil, wobei die Kohlevariante zum Zeitpunkt mit 1,6% überlegen war. Im Merkmal Nährstoffspeichervermögen ist eine ausgeprägte Veränderung deutlich, die in der Gärrestvariante mit knapp 5% und für die beladene Pflanzenkohle mit ca. 11% Vorteil skaliert. Als Bestätigung für die Änderung der Bodeneigenschaften spricht auch der Pflanzenbestand in der Kohlevariante. Das Aufgangsverhalten der Zwischenfrucht Gelbsenf war wesentlich homogener und allgemein mit 6 zusätzlichen Pflanzen je 0,25m<sup>2</sup> bevorteilt gegenüber der Gärrestvariante. Für die Hauptkultur Silomais ergab sich nach einer schwierigen Aussaat und einem heterogenen Bestand über alle Varianten am Ende ein Ertragsvorsprung der Kohlevariante um 7,8% verglichen mit der Gärrest-Behandlung von 4,9%.

In der zweiten Versuchsanlage konnte entsprechend der Bodenanalyse vier Monate nach Einarbeitung der beladenen TCR-Pflanzenkohle ein Effekt gemessen werden. Der Humusgehalt im Oberboden konnte um 1,1% erhöht werden. Auch die Änderung des Kohlenstoff-Stickstoff -(C/N-) Verhältnisses spiegelt dies wider, der sich in diesem Zeitraum um 3,1 steigerte und letztendlich bei 13 skalierte (siehe nachfolgende Abbildung).

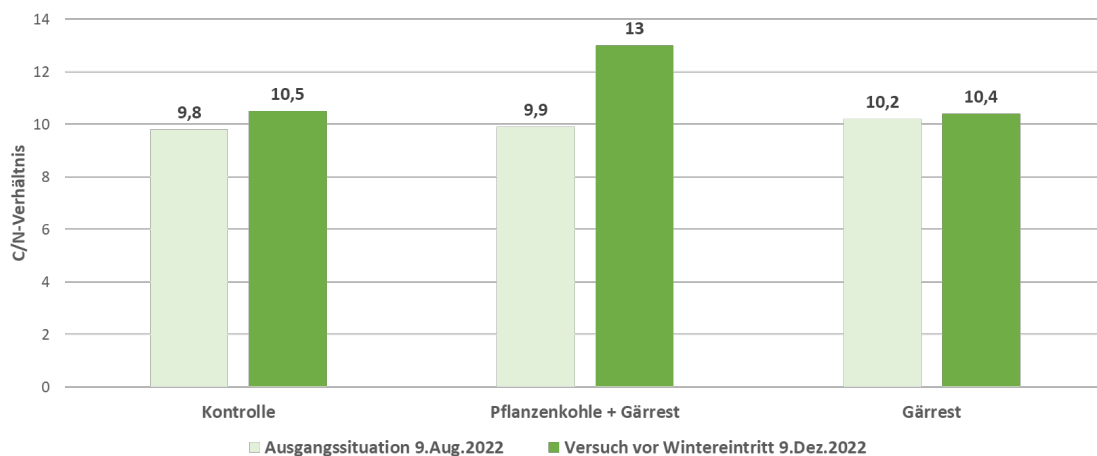


Abbildung 2: Einfluss der Applikation von Pflanzenkohle auf das C/N-Verhältnis im Oberboden einer Schwarzerde (Bernburg, 2022)

#### 4. Diskussion

Die positiven Effekte zum Einsatz einer beladenen Pflanzenkohle im Boden sind in zahlreichen Studien belegt und können mit der vorgestellten Versuchsanlage bestätigt werden. Dennoch ist eine Änderung der Bodeneigenschaften ein komplexer Prozess und muss über einen langfristigen Zeitraum beobachtet werden. Der Versuch soll demnach über weitere Fruchtfolge-Rotationen fortgeführt werden.

#### 5. Fazit

Die landwirtschaftlichen Akteure besitzen eine große Hebelwirkung hinsichtlich einer positiven Entwicklung des Klimaziels und natürlich ist die Betroffenheit der Landwirtschaft durch Extremwetterlagen mit Dürreperioden oder auch Starkniederschlagsereignissen immens. Mit einer Strategie die Landwirtschaft aktiv in den Klimaschutz einzu-

binden und den Doppelnutzen durch den Einsatz von Pflanzenkohle im landwirtschaftlichen Sektor zu erkennen, was neben der CO<sub>2</sub>-Sequestration weitere Vorteile im Boden- und Umweltschutz bringt. Der Schlüssel ist die TCR-Pflanzenkohle, die im landwirtschaftlichen Nährstoffkreislauf an verschiedenen Stellen implementiert werden kann und maßgeblich zur Veredelung organischer Düngemittel beiträgt. Auch die Potenziale der Landwirtschaft als Biomasselieferant für die TCR-Pyrolyse sind offensichtlich. Das sonst auf dem Feld verbleibende Stroh oder die anfallenden Gärreste aus den regionalen Biogasanlagen können als Ausgangsstoffe für die TCR-Pyrolyse dienen.

# Die Herausforderungen der Wärmewende im öffentlichen Gebäudesektor

Marcus Mälzer, Jörg Sauerhering

Hochschule Anhalt, Fachbereich für Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik

## Abstract

Mit Hilfe eines transienten mathematischen Modells, umgesetzt in der numerischen Berechnungssoftware MATLAB, sollen die Möglichkeiten einer solarthermischen Wärmeversorgung mit saisonaler Wärmespeicherung diskutiert werden. Wetter- und Verbrauchsdaten des Hochschulcampus Köthen dienen hierbei als Auslegungsgrundlage. Das dynamische Modell kann schließlich für eine ökonomisch optimierte Auslegung des Gesamtsystems genutzt werden.

## 1. Einleitung (Motivation)

Bedingt durch die Umbrüche im Wärmesektor und den damit verbundenen Kostensteigerungen stehen öffentliche Einrichtungen vor großen finanziellen Herausforderungen. Dies resultiert aus dem hohen Heizwärmebedarf der Bestandsgebäude, welche vielfach durch bauliche Gegebenheiten limitiert sind und mittels einer energetischen Sanierung nicht auf einen Passivstandard gebracht werden können.

Die Nutzung regenerativer Energiequellen ist somit nahezu alternativlos, auch hinsichtlich der im Klimaschutzplan 2050 festgelegten Treibhausgas-emissionsminderungen (BMUB 2016). Untermuert wird dies noch in einer Bestandsaufnahme des Umweltbundesamtes (Engelmann 2020), in der eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95% bis 2050 gegenüber 1990 zugrunde gelegt wird.

In diesem Beitrag sollen anhand des Hochschulcampus Köthen exemplarisch Lösungsansätze diskutiert werden, mit welchen ein nachhaltiger wirtschaftlicher Betrieb und die Zielsetzungen des Klimaschutzplanes erreichbar sind.

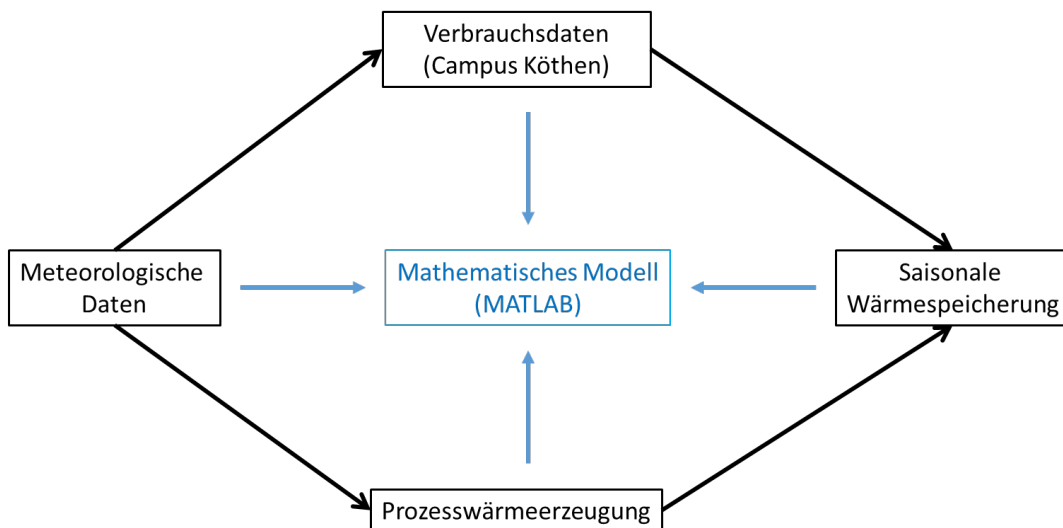
## 2. Konzept

Der Gebäudebestand des Hochschulcampus zeichnet sich durch einen beispielhaften Mix verschiedener Gebäudetypen aus und reicht von denkmalgeschützten Gebäuden bis hin zu Hallen und Neubauten. Die einzelnen Teile und Gebäude des Campus sind durch ein Wärmenetz miteinander verbunden.

Zur Deckung des Wärmebedarfes wird die Nutzung der Dach- und Freiflächen für Solarthermische Anlagen angestrebt. Die Nutzung von Tiefengeothermie als Wärmequelle scheidet laut (Fuchs et al. 2022) in Mitteldeutschland aus. Ausgehend von Literaturdaten zur Prozesswärmeerzeugung (Krüger 2021), statistischen meteorologischen Daten und dem Energieverbrauch des Campus, soll die solarthermische Wärmeerzeugung in Verbindung mit einer saisonalen Energiespeicherung, durch ein transientes mathematisches Modell diskutiert werden.

### 3. Modell

Das Modell basiert auf einem in MATLAB generierten Code. In diesem können meteorologische Daten aus dem DWD, Solargis oder weiteren Quellen implementiert werden. Die Prozesswärmeerzeugung wird anschließend in Abhängigkeit des gewählten solarthermischen Moduls bestimmt. Etablierte Qualitätssiegel und deren Testergebnisse, wie der „Solarkeymark“, dienen hierbei der standardisierten Beschreibung und dem Vergleich einzelner Module. In Abhängigkeit der Standortgegebenheiten wird somit eine Diskussion über die Wahl von konzentrierender- oder nichtkonzentrierender Solarthermie möglich.



Unter Berücksichtigung standortbezogener Verbrauchsdaten lässt sich die Kapazität und Leistungsdichte eines Saisonalen Wärmespeichers dimensionieren. Hierbei werden sowohl historische als auch prognostizierte Daten berücksichtigt, um zukünftigen Entwicklungen gerecht zu werden.

### 4. Ausblick

Anhand des mathematischen Modells können notwendige Investitions- und Betriebskosten abgeschätzt werden, welche wiederum einen Rückschluss auf die Wärmegestehungskosten erlauben. Skalierungseffekte finden hierbei Berücksichtigung.

Das Modell bildet zudem die Basis für eine Weiterentwicklung hinsichtlich zusätzlicher Wärmequellen, wie Wärmepumpen und Elektrodenkessel, durch den hybriden Einsatz der Solarenergie. Durch das MATLAB eigene Programm „APP-Designer“ ist es zudem möglich einen niederschweligen Zugang zur Funktionsweise des Modells bereitzustellen. Auf diese Weise können auch Nutzer ohne Fachkenntnisse die Betrachtungen an Hand des Modells durchführen und deren Ergebnisse nutzen.

## Literaturverzeichnis

BMUB 2016: Klimaschutzplan 2050. Referat KI I 1.

Engelmann, Köhler (2020): Systemische Herausforderung der Wärmewende. Hg. v. Umweltbundesamt.

Fuchs, Sven; Förster, Andrea; Norden, Ben (2022): Evaluation of the terrestrial heat flow in Germany: A case study for the reassessment of global continental heat-flow data. In: *Earth-Science Reviews* 235, S. 104231. DOI: 10.1016/j.earscirev.2022.104231.

Krüger, Fischer (2021): Konzentrierende Kollektoren STS 2021. Chancen für den Einsatz konzentrierender Kollektoren in Mitteleuropa. IGTE Stuttgart.

**Teil 8**

**Wirtschafts- und  
Verwaltungswissenschaften**

# Alle Wege führen nach Peking: Deutsch-chinesische Kommunalpartnerschaften im Lichte der Neuen Seidenstraßen Initiative

Michael Krisch

Doktorrand an der **Universität Vechta** (Fakultät II, Natur- und Sozialwissenschaften (Politikwissenschaft) Driver Str. 22, 49377 Vechta) in Kooperation mit der **Hochschule Bremen** (Fakultät I, Wirtschaftswissenschaft, Werderstraße 73, 28199 Bremen)

## Abstract

Die von Xi Jinping im Jahr 2013 als sein außenpolitisches *signature-project* ins Leben gerufene, inhaltlich aber bereits an die von Jiang Zemin maßgeblich geprägte „go-out-Strategie“ anknüpfende, Neue Seidenstraßen Initiative ist aus europäischer und damit nicht zuletzt auch aus deutscher Perspektive ein untrüglicher Beweis für den Wandel in der chinesischen außenpolitischen Interessenstruktur. Dies betrifft in zunehmenden Maße auch die deutsch-chinesischen Kommunalpartnerschaften: Längst ist die Neue Seidenstraßen Initiative auf der untersten Ebene im deutschen föderalen Staatsaufbau, der kommunalen Ebene, und damit in den deutschen Städten und Gemeinden angekommen. Bislang findet dieser Aspekt in der deutschen politikwissenschaftlichen Forschung jedoch kaum Beachtung.

## 1. Die Neue Seidenstraßen Initiative Chinas

*„Der Seidenstraße zu folgen heißt, einem Geist zu folgen. Sie fließt durch das Herz Asiens, doch aus der offiziellen Welt ist sie verschwunden, nur Spuren ihrer Rastlosigkeit hat sie hinterlassen: unechte Grenzen, nicht kartierte Völker: Wo immer man steht, gabelt sich die Straße und schweift umher: Sie ist kein einzelner Weg, sondern viele: ein Netz von Möglichkeiten.“*

Colin Thubron, britischer Schriftsteller<sup>1</sup>

Bei der Neuen Seidenstraßen Initiative (engl. *Belt and Road Initiative*, kurz *BR*) handelt es sich um ein gigantisches, aus einer Vielzahl von verschiedenen Projekten und Maßnahmen bestehenden, Infrastrukturprojekt, welches der chinesischen Führung als politische Klammer zur Erreichung innen- und außenpolitischer Zielsetzungen dient (vgl. Senz in: Bundeszentrale für politische Bildung (2022), S. 4-10).

Die Neue Seidenstraße als „zivilisatorisches Großprojekt“ (vgl. Ossenkopp in Hou (2022), S. 18) ist eine Sammelbezeichnung für ein Konglomerat nicht definierter und geografisch nicht abgrenzbarer bereits bestehender, geplanter oder auch nur erdachter (infrastruktureller) Projekte in Asien, Europa und Afrika (vgl. Hoering 2018: 19).<sup>2</sup> Die Initiative umfasst dabei einerseits den sogenannten Seidenstraßen Wirtschaftsgürtel (engl.

---

<sup>1</sup> Übersetzung aus dem englischen Original *Shadow of the Silk Road* (2007), hier in *GeoEpoche* (2022), Nr. 118, S. 79.

<sup>2</sup> Eine ausführliche Darstellung und Analyse zu der häufig kritisierten finanziellen Abhängigkeit im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative (engl. *debt trap diplomacy*) findet sich bei Malik et. al. (2021: 1–166). Dass China dabei immer häufiger seine Schuldner retten muss, weisen Horn et. al. in ihrer aktuellen Studie

*Silk Road Economic Belt*), der China mit Europa über die Eurasische Landbrücke und damit den historischen Seidenstraßenrouten über die Staaten Zentral- und Westasiens, Russlands und der Schwarzmeerregion folgend, verbindet. Um die gewaltigen Entfernungen zu überbrücken, sollen vor allem Zugverbindungen zwischen Zentralchina und Europa ausgebaut werden, die die Transportzeit deutlich verkürzen und zudem deutlich günstiger sind als der Transport per Luftfracht (vgl. Behrens 2022: 37).

Neben dieser Verbindung auf der Eurasischen Landbrücke sind weitere von China ausgehende Verkehrsverbindungen und Wirtschaftskorridore im Rahmen der Initiative geplant: im Norden durch die Mongolei bis nach Sibirien, im Westen durch Pakistan bis an den Persischen Golf, im Südwesten durch Indien und das benachbarte Bangladesch bis zum Indischen Ozean sowie im Süden durch Südostasien bis nach Singapur. Die chinesischen Provinzen im Nordwesten, Südwesten und im Nordosten an der Grenze zu Russland und der koreanischen Halbinsel fungieren dabei mit eigenen Investitionsobjekten als Brückenköpfe einer neuen offensiven Nachbarschaftspolitik mit den Ländern in der Region (vgl. Hoering 2018: 17 f.).

Ergänzt wird die Initiative um die sog. Maritime Seidenstraße (engl. *21 Century Maritime Silk Road*<sup>3</sup>), die von den Küsten Asiens, Süd- und Südostasiens und Afrikas bis in das Mittelmeer verläuft.<sup>4</sup> Die Schifffahrtsrouten folgen dabei dem historischen Vorbild des chinesischen Admirals Zheng He, der im Zeitraum von 1405 bis 1433 insgesamt sieben Expeditionen in das heutige Südostasien sowie in den Indischen Ozean unternahm (vgl. Ptak 2007: 234 f.).

Darüber hinaus firmieren unter dem Begriff Neue Seidenstraße weitere (Teil-)Projekte wie die digitale, grüne, arktische oder die medizinische Seidenstraße (vgl. Mardell/ Min in: Bundeszentrale für politische Bildung (2022), S. 40-47 u. 48-53).

Insgesamt haben bislang rund 146 Länder sowie das Länderbündnis der Afrikanischen Union ein Abkommen im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative unterschrieben, darunter 18 der 27 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (Flatten & Zwick (2022), o.S.). Aber nicht nur auf der nationalen Ebene sondern zunehmend auch auf der subnationalen Ebene, und damit auf der Ebene der Bundesländer und insbesondere der Kommunen, ist die Initiative längst angekommen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Kommunalpartnerschaften<sup>5</sup> zwischen deutschen und chinesischen Städten und Gemeinden.

---

nach: Demnach sind rund 60% der chinesischen Auslandskredite von einem Zahlungsausfall bedroht, vgl. Horn et. al (2023: S. 1-41).

<sup>3</sup> Dass China sich zunehmend auch als maritime Macht versteht, zeigt sich indessen nicht nur an dem ehrgeizigen und medienwirksam inszenierten Ziel Xi Jinpings, eine Marine von Weltgeltung aufzubauen (vgl. Xinhua (13.04.2018), o.S.). In ihrer Studie zeigen Bugnot et. al. auf, dass rund 40% der maritimen Infrastruktur in der ausschließlichen Wirtschaftszone (bis zu 200 Seemeilen) Chinas liegt, vgl. Bugnot et al. (2021: 33-41). Zudem unternimmt China bereits seit Jahrzehnten große Anstrengungen zur Landgewinnung, was insbesondere durch die Schaffung und die Militarisierung von künstlichen Inseln im Südchinesischen Meer zu Streitigkeiten mit den anderen Anrainerstaaten führt, vgl. Poling (10.01.2020: o.S.); Suorsa (19.03.2020: o.S.).

<sup>4</sup> Darüber hinaus rückt auch zunehmend die sog. arktische Seidenstraße als alternativer und zunehmend kostengünstiger Transportweg in den Fokus, vgl. Dams, van Schaik und Stoetman (2020: 1-42); Pruynd und van Hassel (2022: 1-12).

<sup>5</sup> Für die Verschwisterung von Städten, Gemeinden und (Land-)Kreisen (Kommunen) finden sich im deutschsprachigen Raum aber auch international (z.B. im Englischen *sister cities*, oder im Französischen *jumelage*) verschiedene Begrifflichkeiten, die z.T. auch eine vom deutschen Begriff der Städtepartnerschaft



## 2. Auswirkungen der Neuen Seidenstraßen Initiative auf die deutsch-chinesischen Kommunalpartnerschaften

*„If we think of the Belt and Road as a golden ribbon, then the cities should be the shining pearls and jewels on this ribbon; without the pearls that are the cities, this ribbon would lose its brightness.“* (Zhao Kejin in: Shpakovskaya in Heberer & Shpakovskaya 2022: 43)

Für die deutschen Kommunen wird der Umgang mit der aufstrebenden Weltmacht China im Zuge der Neuen Seidenstraßen Initiative zunehmend zu einer Herausforderung (vgl. Shi-Kupfer & Weidenfeld (2020), S. 30).

Dieser Aspekt der deutsch-chinesischen Kommunalbeziehungen ist bislang nur wenig erforscht (vgl. beispielhaft Shpakovskaya in Heberer & Shpakovskaya 2022: 42–45). In der deutschen Öffentlichkeit scheint dieses Thema, trotz vermuteter geopolitischer und geoökonomischer Implikationen der Initiative, nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Ganz anders verhält es sich hingegen auf chinesischer Seite, wo z.B. der Präsident der *Chinesischen Volksvereinigung für Freundschaft mit dem Ausland* (CPAFFC) offen die Rolle der Städtepartnerschaften im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative betont:

*„Friendship city relations have become one of the important channels to implement the BRI.[...]. Sister city relations play an important role in boosting cooperation and exchanges among Chinese and foreign cities under the framework of the BRI.“* (Li 26.04.2019: o.S.)

Nach Ohlberg ist die CPAFFC auf chinesischer Seite die zentrale Institution für die Einflussnahme auf die lokale Ebene und damit vor allem auch der Ebene der deutschen Kommunen. Zu ihrem Auftrag gehört die Pflege vorhandener Beziehungen, der Aufbau von Freundschaftsvereinen und die Organisation von Städtepartnerschaften sowie das Werben für die Seidenstraßen Initiative.

Für (Lokal-)Politiker sei es oftmals nicht möglich, die Einflussnahme der Kommunistischen Partei Chinas (KPCh), die hinter den (Städte-)Partnerschaften stünden, zu erkennen, da sog. *Einheitsfrontorganisationen* z.T. mit doppelten Firmennamen agierten, um den Einfluss auf die Zivilgesellschaft z.B. durch chinesische Kulturorganisationen zu verschleiern (vgl. Ohlberg in: Bresser 2020: 57). Die deutsch-chinesischen Städtepartnerschaften nehmen aus chinesischer Perspektive eine zentrale Rolle im Kontext der Neuen Seidenstraßen Initiative ein, indem sie als alternative Kommunikationskanäle abseits der oft konflikträchtigen internationalen Politik auf subnationaler Ebene dienen und zugleich als Türöffner für lokale Investitionen fungieren (vgl. Timsit 01.03.2020: o.S.), was in der deutschen Öffentlichkeit durchaus kritisch gesehen wird:

*„Die Initiative für eine neue Seidenstraßen ist ja nicht das, was manche in Deutschland glauben: Es ist keine sentimentale Erinnerung an Marco Polo. Sondern sie steht für den Versuch, ein umfassendes System zur Prägung der Welt im chinesischen Interesse zu etablieren“* (Gabriel, 19.02.2018)

---

unterschiedliche Bedeutung haben. Vorzugswürdig erscheint daher die Definition von Pfundheller, nach der eine Städtepartnerschaft eine förmliche, zeitlich und sachlich nicht begrenzte Partnerschaft zwischen zwei gleichberechtigten Partnern bezeichnet, welche auf einem Partnerschaftsvertrag in Form einer Partnerschaftsurkunde beruht und allen gesellschaftlichen Gruppen offen steht (vgl. Pfundheller 2014: 41).

Diese strategische Sichtweise Chinas zeigt sich auch bei einem Blick auf die Anzahl der deutsch-chinesischen Kommunalbeziehungen im zeitlichen Verlauf: Seit der Reform- und Öffnungspolitik unter Deng Xiaoping (ab 1978) hat die Anzahl der Kommunalbeziehungen stetig, insbesondere aber nach dem Amtsantritt von Xi Jinping in den Jahren ab 2012/2013 stark zugenommen.

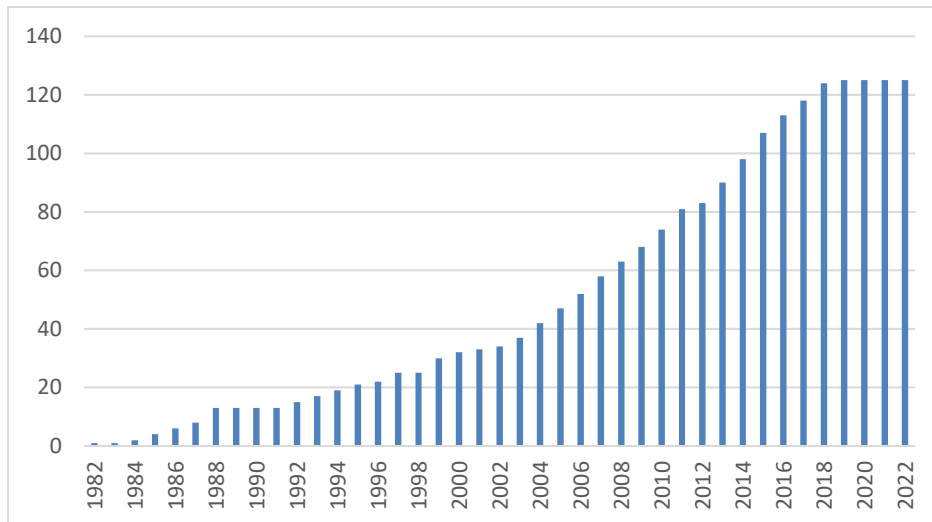


Abbildung 1: Deutsch-chinesische Kommunalpartnerschaften im zeitlichen Verlauf, eigene Erhebung nach Servicestelle Kommunen in der einen Welt (2022, o.S.)

Auffällig ist dabei, dass insbesondere die Anzahl von Kommunalpartnerschaften mit kleineren deutschen Kommunen unter 100.000 EW seit 2012/2013 zugenommen hat, wie die nachfolgende Abbildung 2 zeigt.

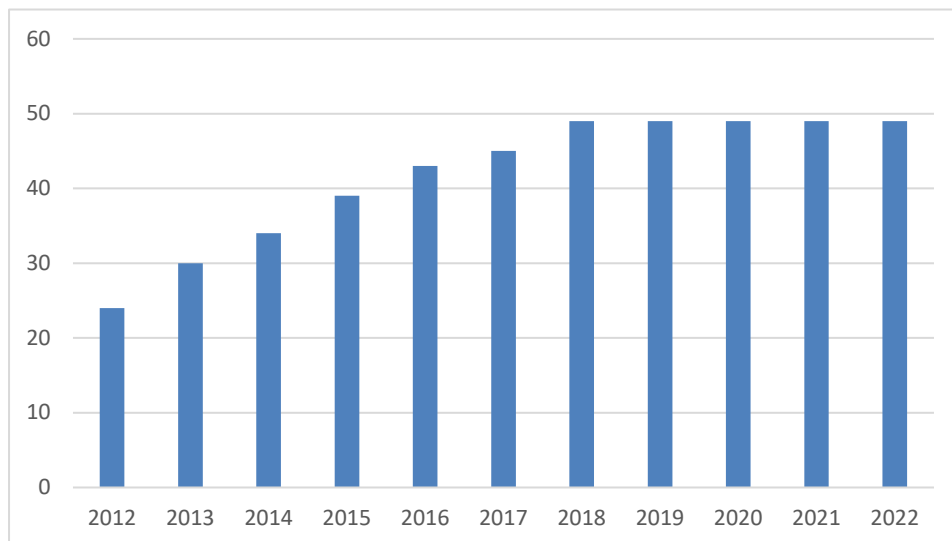


Abbildung 2: Anzahl deutsch-chinesischer Kommunalpartnerschaften unter 100.000 EW seit 2012, eigene Erhebung nach Servicestelle Kommunen in der einen Welt (2022, o.S.)

Nach Ohlberg versucht China mit der Taktik „*Das Land einsetzen um die Stadt zu umzingeln*“ bzw. „*Die Peripherie nutzen, um das Zentrum zu umringen*“ seine wirtschaftliche Stärke einzusetzen, um seine politischen Einflussmöglichkeiten auch auf der subnationalen Ebene auszubauen.<sup>6</sup>

Die bislang veröffentlichten Studien zu den deutsch-chinesischen Kommunalpartnerschaften (Kirch et. al. (2021), Kefferpütz (2021)) konnten diese vermutete Einflussnahme durch die chinesische Seite im Rahmen der Neue Seidenstraße Initiative allerdings nicht anhand von empirischen Nachweisen oder konkreten Fallbeispielen belegen (vgl. Heberer in: Heberer & Shpakovskaya (2022, S.30)). Vor diesem Hintergrund erscheint eine vertiefte wissenschaftliche Beschäftigung mit den deutsch-chinesischen Kommunalbeziehungen im Lichte der Neuen Seidenstraße Initiative sinnvoll, um bestehende Forschungslücken zu schließen.

### **3. Forschungsfragen und Methodik**

Das Promotionsvorhaben geht der Frage nach, inwiefern die von China ausgehende Neue Seidenstraßen Initiative Auswirkungen auf die deutschen Kommunen als unterste Ebene im föderalen Staatsaufbau der Bundesrepublik Deutschland hat. Diese Forschungslücke ist der Ausgangspunkt für Fallstudien in ausgewählten deutschen Kommunen unter 100.000 EW, mit Hilfe derer Antworten auf die nachfolgenden forschungsleitenden Fragestellungen gefunden werden sollen:

- (F1)** Wie wirkt sich die Neue Seidenstraße Initiative auf die deutschen Kommunen, insbesondere jene unter 100.000 EW, aus?
- (F2)** Lässt sich für die in Teilen der Literatur vermutete chinesische Einflussnahme im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative auf der (subnationalen) kommunalen Ebene eine empirische Evidenz finden?
- (F3)** Welches Wissen und welche Haltung zur Neuen Seidenstraßen Initiative herrscht in den deutschen Kommunen, den lokalen mittelständischen Unternehmen sowie den lokalen Medien vor?
- (F4)** Welche Rolle spielen die deutsch-chinesischen Kommunalpartnerschaften?

Wie keine andere Stadt in Deutschland ist das nordrhein-westfälische Duisburg in der medialen Berichterstattung mit der Neuen Seidenstraße verbunden. Dieses Image spiegelt sich auch in der Selbstdarstellung der Stadt, die sich selbst als deutsche „China-Stadt“ beschreibt, wieder. Duisburg erscheint daher als geeignete Blaupause, um den chinesischen Einfluss auf deutsche Kommunen im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative zu vermessen. Einen Ansatzpunkt hierfür bietet die von Pascha durchgeführte Fallstudie zum chinesischen Einfluss im Rahmen der Neuen Seidenstraßen Initiative auf die Stadt Duisburg (Pascha 2021).

---

<sup>6</sup> Im chinesischen Bürgerkrieg (1927-1949) war die zunächst unterlegene KPCh gezwungen, sich aus den Städten zurückziehen und auf dem Land neuzuformieren. Aus diesem Vorgehen wurde eine Gurreillataktik entwickelt, wonach die Partei in all jenen Gebieten aktiv wurde, in denen die Regierungstruppen schwach waren. Diese Taktik lässt sich auch auf die chinesischen Einflussversuche im Rahmen der Neuen Seidenstraße übertragen und ist der Grund für das chinesische Interesse an (Kommunal-)Partnerschaften (vgl. Ohlberg (2020), o.S.). Vermutet wird, dass insbesondere kleinere Kommunen anfälliger für eine chinesische Einflussnahme sind (vgl. Kefferpütz (2021), S.12-13).

Auch wenn die Neue Seidenstraßen Initiative in Bezug auf Deutschland vor allem mit Duisburg in Verbindung gebracht wird, gibt es zahlreiche weitere Städte u.a. im Ruhrgebiet, die eine Städtepartnerschaft mit China pflegen und die zunehmende chinesische Investitionen zu verzeichnen haben (vgl. Giustolisi & Terstriep 2020: 8–11).

Im Rahmen der Fallstudie sollen die von Pascha gemachten Befunde zur Städtepartnerschaft zwischen Duisburg und der chinesischen Partnerstadt Wuhan für kleinere deutsche Kommunen unter 100.000 EW falsifiziert werden. Hierzu wurden Kommunen für eine mögliche Untersuchung anhand von Auswahl- und Vergleichskriterien<sup>7</sup> identifiziert.

In den für das Untersuchungssample ausgewählten Kommunen sollen Experteninterviews durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Interviewleitfaden gemäß der SPSS-Methode nach Helfferich (2019) erstellt. Befragt werden sollen neben der/ dem Hauptverwaltungsbeamten/in auch Vertreter der lokalen Wirtschafts- sowie Medienlandschaft. Die Auswertung der Interviewtranskripte erfolgt mit der computergestützten qualitativen Daten- und Textanalyse MAXQDA.

## Quellen

Behrens, U. (2022): *Der Umbau der Welt. Wohin führt die Neue Seidenstraße?* Das Neue Berlin

Bresser, S. (2020): Ausblick - Chinas Einfluss auf Europa. Das Europabüro des DStGB im Gespräch mit Autorin Mareike Ohlberg. *Stadt und Gemeinde* (4). Deutscher Städte- und Gemeindebund, Online abrufbar unter: <https://www.dstgb.de/aktuelles/archiv/archiv-2020/stadt-und-gemeinde-digital-04-2020/>, S. 56–57 (Zugriff: 03.04.2023)

Bundeszentrale für politische Bildung (2022): Chinas neue Seidestraßen, Aus Politik und Zeitgeschichte, 72. Jahrgang, Nr. 43-45, 24.11.2022

Bugnot, A. B.; Mayer-Pinto, M.; Airoidi, L.; Heery, E. C.; Johnston, E. L.; Critchley, L. P.; Strain, E. M. A.; Morris, R. L.; Loke, L. H. L.; Bishop, M. J.; Sheehan, E. V.; Coleman, R. A.; Dafforn, K. A. (2021): Current and projected global extent of marine built structures. *Nature Sustainability* 4 (1), S. 33–41

Dams, T.; van Schaik, L.; Stoetman, A. (2020): Presence before power. China's Arctic strategy in Iceland and Greenland. *Clingendael Report*, S. 1–42, Online abrufbar unter: <https://www.clingendael.org/pub/2020/presence-before-power/2-presence-before-power-why-china-became-a-near-arctic-state/> (Zugriff: 03.04.2023)

Flatten, L.; Zwick, S. (2022): Welche Länder sind Teil der neuen Seidenstraße? Knapp 75 Prozent aller Staaten der Welt unterzeichneten bereits ein Abkommen im Rahmen von Chinas Seidenstraßeninitiative. Germany Trade & Invest (GTAI), Online abrufbar unter: <https://www.gtai.de/de/trade/china/specials/welche-laender-sind-teil-der-neuen-seidenstrasse--624812> (Zugriff: 03.04.2023)

---

<sup>7</sup> **Auswahlkriterien:** Vorhandensein von partnerschaftlichen Beziehungen zwischen der deutschen Kommune und einer chinesischen Partnerkommune, Größe der Kommune (Gemeindegrößenklassen) sowie bundesweite geografische Verteilung der Kommunen.

**Vergleichskriterien:** Kommunale Verschuldung, kommunale Steuerkraft und kommunale Arbeitslosenquote.

- Gabriel, S. (19.02.2018): Rede des Bundesministers des Auswärtigen, Sigmar Gabriel bei der Münchner Sicherheitskonferenz am 17. Februar 2018 in München. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, Online abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/975954/759656/aa4210b931cd10b3b44fc06e2c1ecb8c/19-3-bmaa-sicherheitskonferenz-data.pdf?download=1> (Zugriff: 03.04.2023)
- Heberer, Th.; Shpakovskaya, A. (2022): Städtediplomatie in den 2020er Jahren: Mehr als eine Geschichte zweier Städte. Kommunale Diplomatie und Städtepartnerschaften zwischen Deutschland, Europa und China. Implikationen für Nordrhein-Westfalen, Econstor, Online abrufbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/260548> (Zugriff: 03.04.2023)
- Helfferrich, Cornelia (2019): Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, Nina; Blasius, Jörg (Hg.) *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 669–686. doi: 10.1007/978-3-658-21308-4\_44
- Hoering, U. (2018): *Der lange Marsch 2.0. Chinas Neue Seidenstraßen als Entwicklungsmodell*. VSA Verlag
- Horn, Sebastian; Parks, Bradley C.; Reinhart, Carmen M.; Trbesch, Christopher (2023): *China as an International Lender of Last Resort*, Kiel Working Paper, Nr. 2244, März 2023, Online abrufbar unter: [https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel\\_Working\\_Paper/2023/KWP\\_2244\\_China\\_as\\_an\\_International\\_Lender\\_of\\_Last\\_Resort/KWP\\_2244.pdf](https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Working_Paper/2023/KWP_2244_China_as_an_International_Lender_of_Last_Resort/KWP_2244.pdf) (Zugriff: 03.04.2023)
- Höllmann, Th. O. (2022): China und die Seidenstrasse. Kultur und Geschichte von der frühen Kaiserzeit bis zur Gegenwart. C.H. Beck
- Kefferpütz, R. (2021): Stadt, Land, Fluss im Blick Beijings. Chinas subnationale Diplomatie in Deutschland. Mercator Institute for China Studies, Online abrufbar unter: <https://meric.org/de/studie/stadt-land-fluss-im-blick-beijings-chinas-subnationale-diplomatie-deutschland> (Zugriff: 03.04.2023)
- Kirch, A.-L.; Dinkel, S.; Kabisch, F. (2021): Kommunale Außenpolitik. Resiliente Städte fördern Deutschlands Handlungsfähigkeit. Deutsche Gesellschaft für auswärtige Politik. Online abrufbar unter: [https://dgap.org/sites/default/files/article\\_pdfs/dgap\\_memo\\_nr.\\_16\\_oktober\\_2021\\_4\\_s.pdf](https://dgap.org/sites/default/files/article_pdfs/dgap_memo_nr._16_oktober_2021_4_s.pdf) (Zugriff: 03.04.2023)
- Li, J. (26.04.2019): Sister city relations promote cooperation. China Daily, Online abrufbar unter: [https://www.chinadaily.com.cn/global/2019-04/26/content\\_37462677.htm](https://www.chinadaily.com.cn/global/2019-04/26/content_37462677.htm) (Zugriff: 03.04.2023)
- Malik, A., Parks, B., Russell, B., Lin, J., Walsh, K., Solomon, K., Zhang, S., Elston, T., S. Goodman (2021): Banking on the Belt and Road: Insights from a new global dataset of 13,427 Chinese development projects. AIDDATA. A Research Lab at William & Mary, Online abrufbar unter: [https://docs.aiddata.org/ad4/pdfs/Banking\\_on\\_the\\_Belt\\_and\\_Road\\_\\_Insights\\_from\\_a\\_new\\_global\\_dataset\\_of\\_13427\\_Chinese\\_development\\_projects.pdf](https://docs.aiddata.org/ad4/pdfs/Banking_on_the_Belt_and_Road__Insights_from_a_new_global_dataset_of_13427_Chinese_development_projects.pdf) (Zugriff: 03.04.2023)

- Ohlberg, M. (28.08.2020): Wie Einfluss gelingt. Chinas Führung bringt ihre Prinzipien gerne mit Redensarten auf den Punkt. Neue Züricher Zeitung, Online abrufbar unter: <https://www.nzz.ch/folio/wie-einfluss-gelinkt-ld.1623231> (Zugriff: 03.04.2023)
- Ossenkopp, S. (2022): Chinas Neue Seidenstraße – Fluch oder Segen? In: Hou, M. Z.; Esderts, A.; Gottfried, L. M. (Hrsg.) *China-Kompetenz in Deutschland*. Springer
- Pascha, Werner (2021): Duisburg and its port. Endpoint of China's silk road - Opportunities and risks, Online abrufbar unter: [http://ordnungspolitisches-portal.com/wp-content/uploads/2021/04/2021-1-Pascha-Port\\_of\\_duisburg-1.pdf](http://ordnungspolitisches-portal.com/wp-content/uploads/2021/04/2021-1-Pascha-Port_of_duisburg-1.pdf) (Zugriff: 03.04.2023)
- Poling, B. G. (10.01.2020): The Conventional Wisdom on China's Island Bases is Dangerously Wrong. War on the Rocks, Online abrufbar unter: <https://warontherocks.com/2020/01/the-conventional-wisdom-on-chinas-island-bases-is-dangerously-wrong/> (Zugriff: 03.04.2023)
- Ptak, R. (2007): *Die maritime Seidenstraße. Küstenräume, Seefahrt und Handel in vor-kolonialer Zeit*. C.H. Beck
- Pruyn, J.F.J.; van Hassel, E. (2022): The impact of adding the Northern sea route to the Belt and Road Initiative for Europe: A chain cost approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 15, S. 100659.
- Servicestelle Kommunen in der einen Welt (2022): Deutsch-chinesische kommunale Partnerschaften. Servicestelle Kommunen in der einen Welt, Online abrufbar unter: <https://skew.engagement-global.de/deutsch-chinesische-kommunale-partnerschaften.html> (Zugriff: 03.04.2023)
- Shi-Kupfer, K.; Weidenfeld, J. (2020): Chinas Einfluss auf die deutsche Lokalpolitik. Weltmacht trifft Kommune. *Alternative Kommunalpolitik*, 2/2020, S. 30-33
- Suorsa, O. P. (19.03.2020): China's Artificial Islands in South China Sea: Extended Forward Presence. Nanyang Technological University, Singapur, Online abrufbar unter: <https://www.rsis.edu.sg/wp-content/uploads/2020/03/CO20042.pdf> (Zugriff: 03.04.2023).
- Thubron, C. (2007): *Shadow of the Silk Road*. Random House UK
- Timsit, A. (01.03.2020): Sister, Sister. The surprisingly vital role sister cities play in Chinese diplomacy, Online abrufbar unter: Quartz. <https://qz.com/1846303/sister-cities-play-surprisingly-vital-role-in-eu-chinese-relations/> (Zugriff: 03.04.2023)
- Xinhua (13.04.2018): China Focus: Staatspräsident Xi überprüft Marine im Südchinesischen Meer, Online abrufbar unter: Xinhuanet. [https://german.xinhuanet.com/2018-04/13/c\\_137107893.htm](https://german.xinhuanet.com/2018-04/13/c_137107893.htm) (Zugriff: 03.04.2023)

# Öffentliche Ergebnissteuerung auf der kommunalen Ebene – Herausforderungen und Umsetzung

Christian Sander

privat, Glisser Heide 11, 31604 Raddestorf (Deutschland)

## 1. Ausgangspunkt

30 Jahre liegt mittlerweile das Aufkommen des Neuen Steuerungsmodells (NSM) zurück. Zweifelsfrei hat es seither einen festen Platz in den Lehrbüchern öffentlichen Managements und der wissenschaftlichen Befassung gefunden. In der Praxis ist seine Bedeutung gleichwohl spürbar zurückgegangen.

Am Vorliegen des Bedarfes von guter Steuerung liegt dies gleichwohl nicht. Immens und immer volatiler erscheinen die Herausforderungen des staatlichen und nicht zuletzt des kommunalen Sektors. Zudem haben sich die Ansprüche der Bürger\*innen an öffentliches Management und Partizipation spürbar erhöht. Dysfunktionalitäten treten auf und werden als solche in einer vernetzten Welt immer offener und breiter kommuniziert. Bürokratie ist mehr und mehr negativ konnotiert. Das Vertrauen in die Funktion des Staates leidet. (vgl. Institut für Demoskopie Allensbach, 2020; vgl. Einig & Meissner, 2022; zu den Vollzugsproblemen deutscher Bürokratie siehe auch Schuppan, 2022)

Bereits bei der Konzeption des NSM konstatierte die KGSt vier zentrale Missstände kommunaler Verwaltung: eine Strategielücke, eine Managementlücke, eine Attraktivitätslücke sowie eine Legitimitätslücke (vgl. Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement [KGSt], 2013, S. 11 - 13; siehe hierzu auch ausführlicher KGSt, 1993).

Zweifelsohne haben sich im Bereich der Serviceorientierung spürbare Verbesserungen eingestellt (vgl. KGSt, 2013, S. 14). Überdies hat sich der Duktus mehrheitlich in Richtung Bürger- oder gar Netzwerkkommune entwickelt (siehe hierzu KGSt, 1993, S. 12 und Bernhart, Decarli & Promberger, 2019, S. 25). Evident ist gleichwohl, dass die kommunalen Administrationen gerade im Zusammenspiel zwischen Politik und Verwaltung zu wenig strategisch agieren. Aufgrund des Fehlens eines Fokus auf die langfristige Ausrichtung folgt allzu oft, dass Aktivitäten von aktionistischen und divergierenden Handlungen dominiert sind. Der Mangel an strategischer Steuerung führt desgleichen zu Fehlfunktionen des operativen Managements, dessen bildliches Fundament es ist.

Die Schlüsselrolle bei der Bewältigung jener Steuerungsprobleme kommt einem Instrument zu, welches insofern bei Konzeption des NSM zum Kernbestandteil erklärt wurde (vgl. Budäus als Geleitwort bei Deckert, 2006, S. 3) und dessen Etablierung hierzulande zudem ein erklärtes Ansinnen der Doppik-Einführung war: der Ergebnissteuerung (vgl. IMK, 2003, S. 1f.; vgl. IMK, 2003, Anlage 1, S. 1; vgl. Proeller & Siegel, 2009, S. 463ff.; vgl. Hilgers, 2009, S. 434).

In der Festlegung von Zielen auf den unterschiedlichen Ebenen der Administration und deren Operationalisierung liegt (in der Theorie) der Schlüssel zur Lösung der beschriebenen Missstände. Strategien werden dadurch bewertbar, diskutierbar, messbar und

können so zur Steuerung Anwendung finden. Hierzu sind sie von Ebene zu Ebene herunter zu kaskadieren und stetig zu konkretisieren. Im Optimalfall können auf diese Weise selbst auf Ebene der Mitarbeitenden noch Ziele vereinbart werden, deren roter Faden sich bis zu den strategischen Leitbildern der politischen Vertretung nachverfolgen lässt. Dies gibt den ausführenden Akteuren Orientierung und Flexibilität – die Steuernden wiederum erhalten Freiraum für strategische und Führungsaufgaben. Strategiefähigkeit, Personalentwicklung sowie Agilität in der Aufgabenerledigung steigen (siehe hierzu Schröter, 2011, S. 83f.). Und trotzdem: Es bleibt bei der Theorie. In der Praxis teilt die Ergebnissteuerung dasselbe Schicksal, wie das NSM. Sie findet nur rudimentär statt.

## 2. Hintergründe der Ergebnissteuerung

Angesichts des potentiellen Nutzens der Ergebnissteuerung ist selbige stetig Gegenstand entsprechender Befassungen. Während sie unter den allermeisten Praktikern mittlerweile vermehrt den Ruf einer reinen Lehrbuchmethode fristet, wird im wissenschaftlichen Diskurs immer wieder über ihre Eignung gestritten.

Ihre theoretische Fundierung ist dabei als mindestens ambivalent zu bezeichnen. Wie auch das NSM scheint sie eher als Adaption privatwirtschaftlicher Methoden daherzukommen – mit entsprechend managerialistischem Schwerpunkt (zur Widersprüchlichkeit und den Grenzen der theoretischen Fundierung siehe Peukert, o. J. und Schaefer, 2015, S. 308). Und so verwundert es wenig, dass bis heute die betriebswirtschaftlich dominierte Verwaltungswissenschaft den Misserfolg der Ergebnissteuerung eher mit Umsetzungsmängeln begründet, während Vertreter\*innen der Politikwissenschaften vielmehr ein grundlegendes Konzeptversagen attestieren.

Unstreitig ist: Es gibt Beispiele funktionierender Ergebnissteuerung in der kommunalen Praxis. Als ebenso unstreitig kann indes gelten, dass die betreffenden Fälle ausgesprochen selten und in ihrer Ausprägung äußerst heterogen sind. Das lenkt den Blick auf die Empirie, die bislang aber ebenso (nur) diese Quintessenz herausbeförderte und demgemäß noch nicht zur Klärung des „Mysteriums Ergebnissteuerung“ beitragen konnte. Qualitativ geprägte Fallstudien untersuch(t)en bisher Einzelfälle, deren Erkenntnisse sich aufgrund ihrer hohen Individualität nicht zur induktiven Theoriegenerierung eigneten. Die bestehenden quantitativen Studien liefern bis dato noch nicht *die* fokussierte Befassung *konkret* mit der Ergebnissteuerung, als dass daraus ein Grundmuster zu deren Gelingens- und Hinderungs-faktoren abzuleiten wäre. Zumindest bezüglich des Status quo der Umsetzung sind sich die Autoren\*innen der besagten Studien indes einig: Sie findet in der Breite nicht statt. Im Gegenteil.

Aber was sind nun die Gründe dafür? Offenkundig scheinen drei Aspekte: (1) Überlastung der Administrationen, (2) komplizierte Operationalisierbarkeit kommunaler Aufgabendimensionen und vor allem (3) systemische Komponenten. Doch gerade letztere sind im Setting kommunaler Arrangements mit deren Vielzahl an Stakeholdern und Einflussfaktoren derart diffizil, dass sie weiter im Unklaren verbleiben. Und so lassen sich die Erkenntnisse der bestehenden Empirie zur Funktion und vor allem zum Funktionieren der Ergebnissteuerung sowohl in die eine, wie auch die andere Richtung deuten – in Richtung Umsetzungs- und ebenso in Richtung eines Konzeptversagens (siehe hierzu Proeller & Siegel, 2012, S. 137 sowie Jethon, 2017, S. 50f.). In der Zusammenfassung bedeutet dies, dass auch 30 Jahre nach Aufkommen des NSM und seines wichtigsten



Werkzeugs noch nicht geklärt ist, ob man selbiges nun doch eher verwerfen oder vielmehr endlich forcieren sollte (siehe hierzu Blasweiler, 2022, S. 137; Bogumil, 2022, S. 131 und Knirsch, 2022, S. 29). Hierin liegt die zentrale Forschungslücke des betreffenden Themas.

### **3. Ansatz des Forschungsprojekts und Ausblick**

Das vorliegende Projekt umfasst eine breite Erarbeitung der theoretischen Grundlagen auf Basis von Literaturrecherche nebst Auswertung und Reflexion der vorhandenen Empirie zum betreffenden Thema. Auch hierin liegt angesichts der Auswertung u. a. der neueren Studien bereits ein Erkenntnisgewinn. Primär wird letzterer aber durch eine nunmehr im April 2023 startende explanative Befragung erwartet: Im Format einer tiefgehenden, sich auf Ergebnissteuerung fokussierenden, überwiegend quantitativen Studie sollen die Kommunen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz<sup>1</sup> zu deren Einschätzungen, Erfahrungen und Umsetzungen der Ergebnissteuerung befragt werden. Als Adressatenkreis werden die örtlichen fachlich Verantwortlichen sowie, um konstruktivistischen Strömungen zu begegnen, die Personalräte vorgesehen.

*Explanativ* ist die Studie deshalb, weil die Megatrends zur Ergebnissteuerung evident erscheinen – sowohl zur tatsächlichen Umsetzung, als auch zu deren Einflussfaktoren *im Groben*. Aber welche Faktoren sind *im Detail* relevant? Welche Umstände kommen regelmäßig(er) bei einem entsprechenden Gelingen oder Misslingen zusammen?

Die Gegenüberstellung der kommunalen Ebenen dreier Staaten erscheint dabei aufgrund der unterschiedlichen institutionellen Faktoren lohnend und beinahe explorativ. Wo liegen eventuell Unterschiede in Hinblick auf Durchschnittsgrößen der Körperschaften, die Organstrukturen, demokratisch-partizipative Arrangements? Dies stellt sich gerade in Bezug auf die konkordanz- und direktdemokratisch geprägte Schweiz.

Der Ausgang der angedachten Untersuchung ist freilich offen. Liefert sie finale Erkenntnisse zur Abwägung zwischen Umsetzungs- und Konzeptversagen von Ergebnissteuerung oder lediglich weitergehende Hinweise, denen wiederum nachzugehen sein wird? Aufgrund des fokussierten Befragungsformates besteht zumindest die Chance auf ein Stück weit mehr Klarheit zu diesem so wichtigen und in der Theorie so schlüssigen Steuerungsinstrument.

### **Quellen**

Blasweiler, K. H. (2022). Beziehungsstatus: Es ist kompliziert – Persönliche Anmerkungen zum Umsetzungsstand des NKF in NRW. *Verwaltung & Management*, 28 (3), 132-137

Bernhart, J., Decarli, P. & Promberger, K. (2019). Wirkungsorientierte Steuerung und der Weg zum Strategischen Management. In Weiß, J. (Hrsg.), *Strategisches Management und wirkungsorientierte Steuerung in Kommunen* (S. 7 – 38). Wiesbaden: Springer VS

Bogumil, J. (2022). Outputorientierte Steuerung im kommunalen Haushalt – ein jahrzehntelanges Missverständnis! *Verwaltung & Management*, 28 (3), 128-131

---

<sup>1</sup> In Deutschland ab 20.000 Einwohner\*innen; in Österreich und der Schweiz aufgrund kleinteiliger Kommunalstrukturen ab 10.000 Einwohner\*innen.

- Deckert, R. (2006). *Steuerung von Verwaltungen über Ziele: Konzeptionelle Grundlagen unter besonderer Berücksichtigung des Neuen Steuerungsmodells*. Universität Hamburg
- Einig, M. & Meissner, M. (2022). Der dysfunktionale Staat. *Ausgabe der Welt am Sonntag vom 29.05.2022 (Nr. 22)*, 2-3
- Hilgers, D. (2009). Management by Performance: Konturen und Instrumente eines leistungsorientierten Verwaltungsmanagements. *dms – der moderne staat – Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management*, 2 (2), 433-454
- Innenministerkonferenz [IMK]. (2003). *Reform des Gemeindehaushaltsrecht*. Zugriff am 13.11.2022 unter [https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschlu-esse/2003-11-21/anlage-18.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschlu-esse/2003-11-21/anlage-18.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Institut für Demoskopie Allensbach. (2020). *Die Last mit der Bürokratie: Eine Dokumentation des Beitrags von Dr. Thomas Petersen in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung Nr. 42 vom 19. Februar 2020*. Zugriff am 13.11.2022 unter [https://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/kurzberichte\\_dokumentationen/FAZ\\_Februar2020\\_Buerokratie.pdf](https://www.ifd-allensbach.de/fileadmin/kurzberichte_dokumentationen/FAZ_Februar2020_Buerokratie.pdf)
- Jethon, A. (2017). *Das Neue Kommunale Finanzmanagement (NKF) zwischen Ergebnissteuerung und Mikropolitik*. Wiesbaden: Kommunal- und Schul-Verlag
- Knirsch, H. (2022). Neues Kommunales Finanzmanagement oder des Kaisers neue Kleider. *Verwaltung & Management*, 28 (1), 27-30
- Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement [KGSt]. (1993). *Das Neue Steuerungsmodell (KGSt-Bericht 5/1993)*. Köln: KGSt
- Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement [KGSt]. (2013). *Das Kommunale Steuerungsmodell (KSM; KGSt-Bericht 5/2013)*. Köln: KGSt
- Peukert, H. (o. J.). Neue Institutionsökonomik. *Gabler Wirtschaftslexikon*. Zugriff am 08.11.2022 unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/neue-institutionoekonomik-38077>
- Proeller, I. & Siegel, J. P. (2009). Performance Management in der deutschen Verwaltung: eine explorative Ergänzung, *dms – der moderne staat – Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management*, 2 (2), 455-474
- Schaefer, C. (2015). Ansatz und Grenzen des Managementgedankens. *Verwaltung & Management*, 21 (6), 304-309
- Schröter, E. (2011). New Public Management. In Blanke, B., Nullmeier, F., Reichard, C. & Wewer, G. (Hrsg.), *Handbuch zur Verwaltungsreform* (4. Aufl., S. 79 – 89)
- Schuppan, T. (2022). Houston: Wir haben ein (Vollzugs-)Problem. *Verwaltung & Management*, 28 (4), 146-149

# Apothekenumgebung und Kaufentscheidung – Erkenntnisse zur Umgebungswirkung

Maria-Luise Giesecke

Hochschule Harz, Friedrichstraße 57-59

## 1. Bestehen Zusammenhänge zwischen der Umgebung einer Apotheke und der Kaufentscheidung?

Das Ziel der Studie bestand darin, die Wirkung der Umgebung innerhalb von Apotheken auf die Kaufentscheidung nicht apothekenpflichtiger Apothekenprodukte zu untersuchen. Eine Kaufentscheidung wird nach Wolff und Moser (2007) als die Wahl zwischen Produkten mit unterschiedlichen Produkteigenschaften beschrieben. Zur Definition der Umgebung wird vorgeschlagen, dass die Umgebung eines Individuums in diesem Kontext als die Summe der möglichen wahrnehmbaren Sinnesreize betrachtet wird, welche die Person in einem individuell bestimmbar lokalen Kontext umgeben. Optische Elemente können durch ihre Materialien beispielsweise Wärme- bzw. Kälteassoziation auslösen (Herrmann, 2016) und Düfte besitzen die Fähigkeit, Orten Authentizität zu verleihen (Keller, 2019). In Hinblick auf die Konsumumgebung werden relevante Studien vorgestellt. Eine aktuelle Studie von Starker et al. (2023) gibt Hinweise von Zusammenhängen der Ortswirkung und das eng mit der Entscheidung verbundene Problemlösen. Nach Hussain und Ali (2015) besitzen Temperatur, Farbe und Musik auf die Kaufabsicht keine prägende Rolle, wohingegen Faktoren wie Beleuchtung, Layout, Duft und Sauberkeit die Kaufabsicht beeinflussten. Azhagan und Nithya (2020) bestätigen Einfluss von Beleuchtung und Layout auf die Wiederkaufsabsicht. Im Gegensatz zu Hussain und Ali (2015) wiesen sie die Relevanz der Temperatur in ihrer Studie nach. Studien für den Einzelhandel (Rusdiyanto et al., 2022) und ein Cafe (Aisah & Wahyono, 2018) bestätigen den Ortseinfluss auf die Kaufentscheidung. Weiterhin konnte Madjid (2014) die Verbindung zwischen der Ladenatmosphäre (Außen- und Innengestaltung, Dekoration, Layout) und Kaufentscheidung nachweisen. Sreedhara (2013) identifizierte eine auffällige Ladenatmosphäre als Besuchsgrund für Apotheken und Ghattas und Al-Abdallah (2019) zeigten neben anderen Faktoren, dass die physische Umgebung eine Rolle bei der Apothekenwahl besitzt.

Im Rahmen des Forschungsstandes fällt der geringe Anteil an apothekenbezogenen Studien auf, welche auch nicht explizit die Kaufentscheidung fokussieren. Der Forschungsstand deutet darauf hin, dass die Kombination der Faktoren Apothekenumgebung und Kaufentscheidung eine Lücke in der Forschung darstellt.

## 2. Empirische Studie

### 2.1 Darstellung der Hypothesen

Im Rahmen der Hypothesenherleitung wird eine Modellbetrachtung herangezogen (modifizierter Auszug aus dem Modell von Starker et al., 2023).

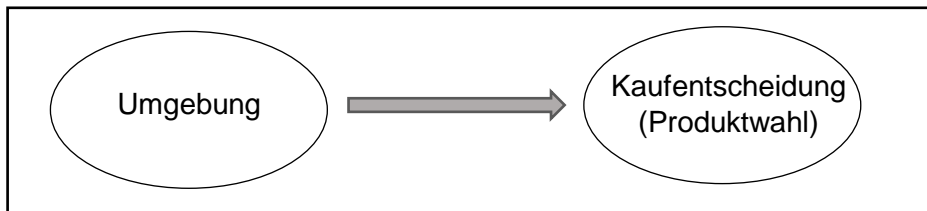


Abbildung 1: Hypothetisches Modell zu der Wirkung der Umgebung auf die Kaufentscheidung (eigene Darstellung)

Zahlreiche Studien geben Hinweise auf Zusammenhänge zwischen der Umgebung und Kaufentscheidung (Kapitel 1). Wie beschrieben kann eine Kaufentscheidung im Sinne der Produktwahl betrachtet werden (Wolff & Moser, 2007). In Anlehnung an den Forschungsstand wird die folgende Hypothese aufgestellt.

- H1<sub>0</sub>: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Produktwahl und Umgebung.  
 H1<sub>1</sub>: Es besteht ein Zusammenhang zwischen Produktwahl und Umgebung.

## 2.2 Forschungsdesign

Im Rahmen einer explorativen quantitativen Studie wurde ein Laborexperiment als Querschnittsanalyse konzipiert. Die Laborumgebung wurde optisch mittels eines gebeamten Wandbildes und farbigem Licht, akustisch durch eine zum Bild passende Geräuschzusammenstellung und olfaktorisch durch eine Duftprobe realisiert. In zwei designten Umgebungen bearbeiteten zwei Gruppen eine Kaufentscheidungsaufgabe des Apothekenkontextes (Produkte  $n = 18$ ) sowie einen Fragebogen mit Schwerpunkt auf der Umgebungswahrnehmung im Paper-Pencil-Format. Gruppe I sollte eine nostalgisch wirkende Apotheke mit Holzoptik, warmen Licht, entspannender Musik und medizinisch-kräutrigen Geruch wahrnehmen. Die zweite Umgebung stellte eine zeitgemäße Apotheke in kühlem Licht dar, welche akustisch durch Stimmengewirr und Kassengeräusche und olfaktorisch durch medizinisch-fruchtigen Geruch gestützt wurde. Die Umgebung sollte ein belebtes Treiben darstellen, aber auch stressinduzierend wirken.

## 2.3 Ergebnisse

An der Studie nahmen 42 Personen teil (Alter  $M = 20.24$ ,  $SD = 2.77$ ). Mittels des Mann-Whitney-U-Tests konnte herausgefunden werden, dass signifikante Mittelwertdifferenzen der Bewertung der beruhigenden Bildwirkung ( $U = 53$ ,  $Z = -4.32$ ,  $p < .001$ ), Geräusche ( $U = 138$ ,  $Z = -2.10$ ,  $p = .036$ ), Gemütlichkeit ( $U = 47.5$ ,  $Z = -4.53$ ,  $p < .001$ ), sowie des Gesamtwohlfühls ( $U = 68$ ,  $Z = -3.95$ ,  $p < .001$ ) bezüglich der Gesamtumgebung bestehen. Die Geräuschkulisse korreliert stark mit Wohlfühlen ( $r = .617$ ,  $p = .000$ ,  $n = 42$ ) und Gemütlichkeit mit der beruhigenden Bildwirkung ( $r = .731$ ,  $p = .000$ ,  $n = 42$ ) und Wohlfühlen ( $r = .723$ ,  $p = .000$ ,  $n = 42$ ).

Für die Untersuchung zwischen Gesamtumgebung und Produktwahl zeigte ein Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstest Einschränkungen aufgrund der geringen Zellenhäufigkeiten auf ( $\chi^2(18) = 31.98$ ,  $p = .022$ ). Wenn dieser Test nur mit Produkten durchgeführt wird, die eine erwartete Zellenhäufigkeit größer als fünf besitzen (*Immun-Vitamin-Saft, Zecken- und Mückenspray, Sonnencreme, FFP2-Maske, Desinfektionsmittel, Corona-Test, Pflaster, Halsgummis*), geht aus dieser Kombination ein signifikantes Ergebnis hervor ( $\chi^2(8) = 16.68$ ,  $p = .034$ ) (siehe Tabelle 1).

		Umgebung
	Chi <sup>2</sup>	16.68
Ausgewählte Produkte	df	8
	Signifikanz	.034**
	N	42

\* p < .10; \*\* p < .05; \*\*\* p < .01

df – Anzahl der Freiheitsgrade

N - Stichprobengröße

Tabelle 1: Chi<sup>2</sup>-Unabhängigkeitstests zwischen der Umgebung und ausgewählten Produkten (Zellenhäufigkeiten > 5) (eigene Darstellung)

Die Gesamtumgebung ruft signifikante Mittelwertunterschiede in der Kategorie *Sicherheitsprodukte* hervor ( $U = 127$ ,  $Z = -2.39$ ,  $p = .017$ ) (Abbildung 2). Sie erklärt außerdem 12,6% der Varianz der *Sicherheitskategorie* ( $F(1,40) = 5.78$ ,  $p = .021$ ). Cramers  $V$  zeigt einen mittleren Zusammenhang zwischen *Desinfektionsmittel* und der Umgebung auf ( $X^2(1) = 4.79$ ,  $p = .026$ ,  $V = .344$ ).

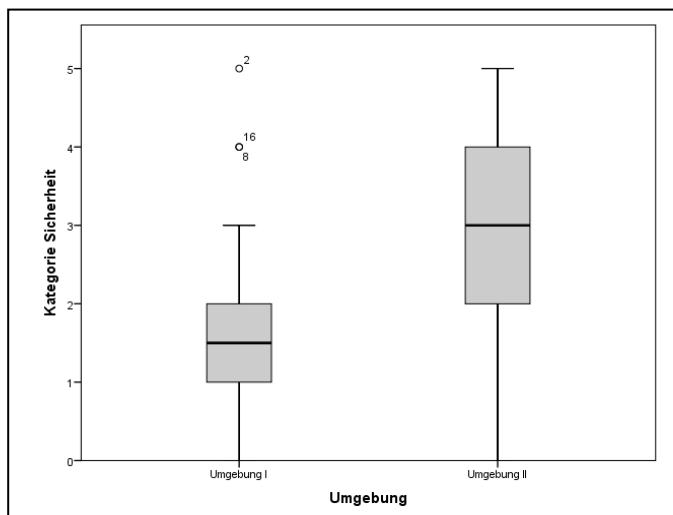


Abbildung 2: Umgebung und Produktkategorie Sicherheit

Die Ergebnisse hinsichtlich der gesamten Produktwahl sind limitiert zu betrachten aber geben Hinweise auf eine Umgebungsabhängigkeit. Aufgrund der Gesamtheit der dargestellten Ergebnisse kann die Hypothese auf Zusammenhänge zwischen Produktwahl und Umgebung ( $H_{11}$ ) angenommen werden.

### 3. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Umgebungselemente untereinander deuten darauf hin, dass beide Umgebungen signifikant unterschiedlich voneinander wahrgenommen wurden. Geräusche hängen zudem besonders mit dem Wohlfühlen zusammen. Schlussfolgernd sind Entspannungsmusik und Naturgeräusche eher dem Wohlfühlen zuträglich, während Stimmengewirr und akustisch hektisches Treiben negativ auf das Wohlfühlen wirkt. Es konnten weiterhin Zusammenhänge zwischen der Gesamtumgebung mit der Produktwahl nachgewiesen werden. In Umgebung II fällt die Entscheidung eher auf Sicherheitsprodukte. Spekulativ kann die Entscheidung für Sicherheitsprodukte durch die akustisch und optisch wahrnehmbare Menschenansammlung in Kombination mit Angst vor Ansteckung eine Rolle spielen.

Die vorliegende Studie grenzt sich durch den Themenbereich Apotheke sowie ihre spezielle Reizkombination vom Forschungsstand ab, trägt aber zur Bestätigung des Zusammenhangs zwischen Umgebung und Kaufentscheidung bei und bereichert bezüglich der Spezifität der Produktwahl.

Dennoch müssen die Erkenntnisse im Forschungskontext aufgrund ihrer eingeschränkten Repräsentativität (n = 42) differenziert behandelt werden. Weiterhin sind die Ergebnisse auf spezielle Umgebungstypen limitiert. Die komprimierte Auswahl beim Chi<sup>2</sup>-Test führt weiterhin zu Verzerrungen in der Ergebnisdarstellung.

Ansätze für weitere Forschung sind die Untersuchung weiterer Umgebungstypen aber auch die Variationen des Entscheidungsaufgabentyps. Weiterhin könnten Experimente zu dieser Thematik im Feld durchgeführt werden und der Fokus somit auf den haptischen Sinn oder die Untersuchung von Luftqualität und Raumgröße innerhalb des Themenkontextes ausgeweitet werden.

Die Studienergebnisse beinhalten Implikationen für die Apothekenpraxis. Soll in der Praxis der Kauf von Sicherheitsprodukten gefördert werden, legen die Ergebnisse den Schluss nahe, einen Umgebungstyp wie Umgebung II zu entwerfen. Es lässt sich allerdings kritisch hinterfragen, ob die bewusste Stressinduktion für den Produktkauf über das Wohlbefinden der Konsumenten gestellt werden sollte. Wenn keine starken Gründe für den Kaufanstieg von Sicherheitsprodukten bestehen, die die bewusste Stressinduktion in Kauf nehmen lassen, wird eine Wohlfühlumgebung empfohlen. Dafür spricht die Spekulation, dass diese Umgebung zu wiederholten Besuchen führt und daraus Käufe folgen, so dass der Gesamtabsatz gegenüber einer stressinduzierten Umgebung wieder relativiert wird. Durch das Wohlfühlen könnten positive Erinnerungen hervorgerufen werden und die Apotheke könnte besser im Gedächtnis bleiben sowie von einem möglicherweise daraus folgenden positiven Image profitieren. Aus der Studie lässt sich konzeptionell eine Wohlfühlinspiration herleiten, bestehend aus der multisensorischen Zusammenstellung von entspannenden Hintergrundgeräuschen, warmem Licht und einer holzlastigen Ausstattung, welche ein beruhigendes Bild vermittelt.

## Quellen

- Aisah, I. N. & Wahyono, W. (2018). Influence of store atmosphere, product knowledge and brand image toward purchase decision through word of mouth. *Management Analysis Journal*, 7(2), 189-200. 10.15294/maj.v7i2.23858
- Azhagan, C. T., & Nithya, G. (2020). The influence of store atmosphere on repurchase intention towards consumer emotional responses. *Business Management and Strategy*, 10(9), 102-114. ISSN: 2249-2976
- Ghattas, D., & Al-Abdallah, G. (2020). Factors affecting customers selection of community pharmacies: The mediating effect of branded pharmacies and the moderating effect of demographics. *Management Science Letters*, 10(8), 1813-1826. 10.5267/j.msl.2019.12.037
- Herrmann, S. (2011). Ambient Room - neue Elemente der Innenarchitektur und ihr Potenzial für den modernen Bibliotheksbau. *Bibliothek Forschung und Praxis*, 35(1), 74-83. <https://doi.org/10.1515/bfup.2011.010>
- Hussain, R. & Ali, M. (2015). Effect of Store Atmosphere on Consumer Purchase Intention. *International Journal of Marketing Studies*, 7(2), 35-43. 10.5539/ijms.v7n2p35

- Keller, A. (2019). Entdecke das Riechen wieder. Warum es sich lohnt, die Welt mit der Nase wahrzunehmen. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57261-0>
- Madjid, R. (2014). The influence store atmosphere towards customer emotions and purchase decisions. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 3(10), 11-19. ISSN: 2319 – 7722
- Rusdiyanto, A. Q., Hidayanti, I. & Damayanti, R. (2022). The Effect of Lifestyle and store atmosphere on consumer purchase decision through purchase interest of indomaret in Ternate. *Journal of Management and Islamic Finance*, 2(1), 137 – 152. <https://doi.org/10.22515/jmif.v2i1.5243>
- Sreedhara, R. (2013). Retail Strategies of Successful Unorganised Pharmacy Stores - a case study in Bangalore. *Pacific Business Review International*, 5 (12), 10-15. O. DOI
- Starker, U., Giesecke, M. - L., und Von der Weth, R. (2023). Atmosphere, emotion and problem solving – hints for the design of virtual work environments [Konferenzbeitrag]. *European Association of Work and Organizational Psychology*, Kattowitz.
- Wolff, H. - G. & Moser, K. (2007). Kaufentscheidungen. In: K. Moser (Hrsg.), *Wirtschaftspsychologie* (S. 31-52). Springer-Medizin. ISBN 978-3-540-71636-5

# Qualitative touristische Entwicklung anhand ausgewählter Destinationen mit UNESCO-Weltkulturerbe-Label

Maren Hille

Hochschule Harz, Friedrichstraße 57-59, 38855 Wernigerode

## 1. Einführung in die Thematik des UNESCO-Welterbes

Basierend auf dem Haager Abkommen wurde die Welterbekonvention im Jahr 1972 durch die UNESCO beschlossen und trat 1975 in Kraft (vgl. Strasser, 2007, S. 102). „Grundidee der Welterbekonvention und der aus ihr resultierenden Welterbeliste ist es, Natur- und Kulturerbestätten von außergewöhnlichem universellen Wert für die gesamte Weltgemeinschaft für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu bewahren“ (DUK, o.J.). Daraus ableitend können materielle Stätten, aufgrund ihrer Einzigartigkeit, Integrität (Unversehrtheit) und Authentizität (historische Echtheit) auf die Welterbeliste aufgenommen werden (vgl. UNESCO 1972, zitiert nach vgl. Pedersen, 2002, S. 14). Bis zum heutigen Zeitpunkt hat das Welterbekomitee unter Hinzuziehung der Beraterorganisationen ICOMOS International und IUCN 1.157 Denkmäler, Gebäudeensembles und natürliche Regionen (Jimura, 2019, S. 6) zum Welterbe ernannt, wovon sich 51 Stätten in Deutschland befinden (Werte des UNESCO World Heritage Centre, 2023).

Da sich die UNESCO aus 193 Staaten (vgl. UNRIC, 2019) zusammensetzt und die Auszeichnung zum Welterbe bereits für Stätten in 167 Ländern der Welt vergeben hat (vgl. DUK, 2019), verfügt das Label über einen hohen, internationalen Bekanntheitsgrad. Die Ernennung einer neuen Stätte ist folglich nicht nur für die einheimische Bevölkerung von besonderer Tragweite, sondern kann auch für Tagesgäste und Touristen in ihrer Freizeit- und Urlaubsgestaltung interessant sein. Destinationsmanagementorganisationen sehen in der Auszeichnung zum Welterbe häufig eine Chance, Gäste für ihren Ort oder die Region zu gewinnen (vgl. Ryan & Silvanto, 2009, S. 291). Dieses unterstreicht auch eine quantitative Befragung mit 6.003 Probanden. 52% der Interviewpartner:innen gaben an, dass der UNESCO-Welterbestatus bei der Auswahl des Reiseziels relevant oder sogar sehr relevant ist. Wenn das Reiseziel bereits feststeht, ist darüber hinaus für 81% der Befragten ein Besuch einer Welterbestätte interessant oder sehr interessant (vgl. inspektour GmbH & FH Westküste, 2016, S. 20).

Mit Bezug auf den eingangs erwähnten Schutzgedanken der UNESCO, muss ein nachhaltiger Tourismus verfolgt werden, um un gelenkten Massentourismus zu verhindern, welcher zu einer Beschädigung bis hin zur Zerstörung der Stätten führen könnte (vgl. DUK, o. J.), siehe auch (Debrine, 2017). Dem gegenüber steht jedoch, dass Tourismus auch zu Wertschöpfung in den jeweiligen Städten oder Regionen führen kann und damit zum einen der Bevölkerung hilft und zum anderen die finanziellen Ressourcen in den Erhalt der Stätten investiert werden können. Zudem hat die UNESCO die Intention, über die geschützten Kultur- und Naturgüter zu informieren und damit für Aufklärung zu sorgen, da Menschen eher bereit sind Natur- und Kulturgüter zu schützen, deren Ursprung und Entwicklung sie kennen (vgl. DUK, o. J.). Aus diesem Grund wird innerhalb des Forschungsvorhabens anhand von vier Fallbeispielen in Deutschland geprüft, inwieweit



sich Städte qualitativ weiterentwickeln, nachdem eine Stätte im Destinationsportfolio zum Welterbe ernannt wurde. Es werden nicht nur quantitative Kennzahlen wie die Gästeankünfte oder –übernachtungen vor und nach der Welterbbewertung betrachtet, sondern die Stadt als Lebensraum, welcher durch die Verantwortlichen der Stadtpolitik, der Tourismuspolitik und der Kulturpolitik gestaltet werden kann.

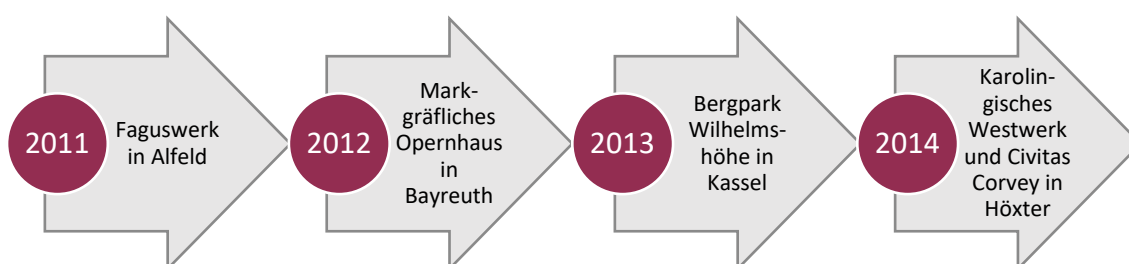
## **2. Methodisches Vorgehen**

In den Städten mit Welterbestätte werden qualitative Interviews geführt. Als zentrale Instanzen stehen hierbei die Destinationsmanagementorganisation bzw. Tourismusorganisationen und der Denkmalschutz sowie das Attraktionsmanagement im Fokus, die die Welterbestätte aus verschiedenen Perspektiven (Schutz, Entwicklung und Vermarktung) beeinflussen. Da das Forschungsvorhaben auf Interviews aufbaut, müssen sich die Befragten noch an den Entwicklungsprozess erinnern können, welcher durch die Welterbbewertung eingesetzt hat. Um einzuschätzen, wie lange sich Personen verlässlich erinnern können, wurde Literatur aus dem Bereich der Erinnerungspsychologie bzw. zur Funktion des Gedächtnisses für die zeitliche Einschränkung herangezogen. Aus psychologischer Sicht werden Erinnerungen mit der Zeit ungenauer, welches nicht mit einem Zerfall der Erinnerungen zu tun hat, sondern durch Interferenzen d.h. Überlagerungen durch hinzukommende Erinnerungen, begründet wird (vgl. Jenkins & Dallenbach, 1924, S. 612). Dadurch können Erinnerungen nicht mehr oder nur verändert durch die Probanden abgerufen werden (vgl. Myers, 2014, S. 353). Um Überlagerungsfehler zu reduzieren, werden ausschließlich Welterbestätten in die Betrachtung mit einbezogen, dessen Ernennung nicht weiter als 12 Jahre zurückliegt. Damit können auch mehr Personen als potentielle Informanten für die Befragung zur Destinationsentwicklung dienen, als bei Stätten, die bereits in den siebziger oder achtziger Jahren zum Welterbe ernannt wurden. Nach Felser können Menschen darüber hinaus Informationen besser abrufen, die auf sie selbst bezogen sind, sodass es sinnvoll erscheint, nur Personen zu befragen, die in einer der vier Falldestination bereits als Einwohner gelebt haben und Prozesse im direkten Lebensraum mitgestaltet oder durch ihre Arbeitsstelle bzw. eine ehrenamtliche Position mit der Welterbbewertung direkt betroffen waren (vgl. Felser, 2015, S. 68).

Für die Beantwortung der Forschungsfrage ist es jedoch ebenfalls essentiell, dass nach der Ernennung zum Welterbe ein Zeitraum liegt, indem eine qualitative Entwicklung der Stadt als Destination erfolgen konnte. In der allgemeinen Tourismuswirtschaft, als Teilgebiet der Betriebswirtschaftslehre, wird wie in (Freyer, 2015) häufig eine Dreiteilung in operative, normative und strategische Entwicklungsziele unterschieden. Während die operativen Ziele in das alltägliche Unternehmensgeschäft eingeführt und dementsprechend zeitnah umgesetzt werden können, sind die strategischen Ziele mit bis zu fünf Jahren anzusetzen. Ähnlich unterteilt Wöhe Planungsmaßnahmen je nach Komplexitätsgrad und betreffender Zuordnung in eine operative und taktische Planungsphase, welche nach maximal einem Jahr beziehungsweise zwei bis fünf Jahren abgeschlossen sind. Hinzu kommt die strategische Planung, welche mindestens 5 Jahre andauert und auch darüber hinaus gehen kann (vgl. Wöhe, 2016, S. 74). Ferner hat die Corona-Pandemie die touristische Entwicklung in den Jahren 2020-2022 stark gehemmt, sodass Fallbeispiele gewählt wurden, welche den Titel vor mehr als acht Jahren verliehen bekommen haben. Aus den beiden genannten Kriterien ergibt sich ein Betrachtungszeitraum von 2011-2014.

Außerdem weist die Welterbeliste ein starkes Ungleichverhältnis hinsichtlich der beiden Sparten des Weltnatur- und des Kulturberbes auf. Dieses spiegelt sich in Deutschland mit 48 Kulturerbestätten und nur drei Naturerbestätten wider. Auch in der bereits vorhandenen Literatur zeigt sich, dass das Welterbe z.T. mit dem Kulturerbe-Begriff gleich gesetzt wird oder Synonyme wie Denkmäler verwendet werden. Aus diesem Grund werden innerhalb des Forschungsvorhabens ausschließlich Weltkulturerbestätten aus dem zuvor festgelegten Zeitraum betrachtet. Hierzu zählen das Faguswerk in Alfeld (Niedersachsen), das markgräfliche Opernhaus in Bayreuth (Bayern), der Bergpark Wilhelmshöhe in Kassel (Hessen) und das karolingische Westwerk und die Civitas Corvey in Höxter (Nordrhein-Westfalen), (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Welterbestätten in Deutschland im Ernennungszeit 2011-14



Quelle: eigene Darstellung auf Werten des (UNESCO World Heritage Centre, 2023)

Die vier Fallbeispiele liegen jeweils in einem anderen Bundesland, was bei der Antragsstellung zu Unterschieden führen kann. Zudem zeigen sie eine große inhaltliche Bandbreite. Neben dem Bergpark als Kulturlandschaft, dessen Wassersystem bis heute funktionsfähig erhalten ist, wird mit dem Faguswerk eine Fertigungsstätte betrachtet, welche das Erstlingswerk Walter Gropius aus dem Jahr 1911 darstellt. Zudem wird ein musisch-künstlerisches Einzelbauwerk mit dem Opernhaus in Bayreuth und ein sowohl klerikales als auch weltpolitisches Bauwerk mit dem karolingischen Westwerk und der Civitas Corvey betrachtet (DUK, 2019b). Die Lage der vier Fallbeispiele zeigt Abbildung 2.

Die qualitativen Interviews in den vier dargestellten Destinationen werden mit Hilfe eines Leitfadens durchgeführt. Zur Erstellung des Leitfadens wird neben der Literatur zum Destinationsmanagement wie von (Beritelli et al., 2015); (Steinecke & Herntrei, 2017); (Beritelli et al., 2014) sowie (Kreilkamp & Project M GmbH, 2014) ebenfalls der Ansatz des Forschungsprojektes zum qualitativen Wachstums nach Sternad und Mödritscher herangezogen (Sternad & Mödritscher, 2020). Dieses erscheint sinnvoll, da Sternad und Mödritscher ebenfalls mit qualitativen Interviews gearbeitet und daraus neun Themenfelder abgeleitet haben, in denen qualitatives Wachstum in Unternehmen einsetzte.



Quelle: eigene Darstellung in lizenzfreier Karte der Bildplattform Pixabay

In dem Leitfaden zur qualitativen Destinationsentwicklung werden die Spezialisierung hinsichtlich des Kulturbereiches, die Markenbildung, eine Weiterentwicklung des Gesamtangebotes sowie das Entstehen von Netzwerken bzw. Kooperationen betrachtet. Darüber hinaus wird geschaut, inwieweit Prozesse optimiert werden können, wie sich die Infrastruktur verändert und ob ein Kulturwandel zwischen den einzelnen Akteuren einsetzt.

### Literaturverzeichnis

- Beritelli, P., Laesser, C., & Reinhold, S. (2015). Geschäftsfeldinnovationen in touristischen Netzwerken. In *Business Innovation: Das St. Galler Modell* (Bd. 1, S. 455–472).
- Beritelli, P., Reinhold, S., & Laesser, C. (2014). Prozessorientierung im Destinationsmanagement. *Marketing Review St. Gallen*, 34–47.
- Debrine, P. (2017). „Lasst uns bessere Touristen sein!“ - Nachhaltiger Tourismus zum Schutz des Welterbes. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-sein/nachhaltiger-tourismus-zum-schutz-und-erhalt-des-welterbes>
- DUK. (o. J.). *Nachhaltiger Tourismus an Welterbestätten*. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-sein/nachhaltiger-tourismus>

- DUK. (2019a). *Welterbeliste*. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-weltweit/welterbeliste>
- DUK. (2019b). *Welterbestätten in Deutschland*. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-deutschland/welterbestaetten-deutschland>
- Felser, G. (2015). Werbe- und Konsumentenpsychologie. In *Verhaltenstherapie* (4. Aufl.). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-22591-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-662-22591-2_20)
- Freyer, W. (2015). *Tourismus - Einführung in die Fremdenverkehrsökonomie* (11. Aufl.). Oldenbourg Verlag.
- inspektour GmbH, & FH Westküste. (2016). *Die touristische Relevanz der deutschen UNESCO-Welterbestätten und Nationalparks bei der Destinationswahl ITB 2017- Ergebnispräsentation gekürzt*.
- Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during Sleep and Waking. *The American Journal of Psychology*, 35(4), 605. <https://doi.org/10.2307/1414040>
- Jimura, T. (2019). Heritage Management and Conservation Activities at World Heritage Sites. In *World Heritage Sites* (S. 20–33).
- Kreilkamp, E., & Project M GmbH. (2014). Destinationsmanagement 3.0 – Inspiration und Koordination gewinnen an Bedeutung. In *Unsere Wirtschaft - Zeitschrift der Industrie- und Handelskammer Lüneburg-Wolfsburg*.
- Myers, D. G. (2014). *Psychologie* (3. Aufl., Bd. 30, Nummer 3). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40782-6>
- Pedersen, A. (2002). World Heritage Manuals 1. *World Heritage Manuals*, 96.
- Ryan, J., & Silvano, S. (2009). The World Heritage List: The making and management of a brand. *Place Branding and Public Diplomacy*, 5(4), 290–300. <https://doi.org/10.1057/pb.2009.21>
- Steinecke, A., & Herntrei, M. (2017). *Destinationsmanagement* (2. Aufl.). UVK Verlagsgesellschaft mbH mit UVK/Lucius.
- Sternad, D., & Mödritscher, G. (2020). Entrepreneurial Leaps: Growth Processes in Transition Phases Between Dynamic States. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 1–33. <https://doi.org/10.1177/1042258720929890>
- Strasser, P. (2007). Welt-Erbe? Thesen über das „Flaggschiffprogramm“ der UNESCO. In D. Hemme, M. Tauschek, & R. Bendix (Hrsg.), *Prädikat „Heritage“ - Wertschöpfung aus kulturellen Ressourcen* (S. 367). LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- UNESCO World Heritage Centre. (2023). *World Heritage List*. <http://whc.unesco.org/en/list>
- UNRIC. (2019). *UN-Mitgliedstaaten*. <https://unric.org/de/mitgliedstaaten/>
- Wöhe, G. (2016). *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (G. Wöhe, U. Döring, & G. Brösel (Hrsg.); 26. Aufl.). Franz Vahlen GmbH.