



Ein Beitrag zur Bewertung unscharfer Mengen am Beispiel Produkteinfachheit

aus Nutzer- und Anbietersicht

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von Fabian Bade, M.Sc.

geb. am 23.01.1992 in Bad Homburg v. d. Höhe
genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold

Promotionskolloquium am 06.09.2022

Vorwort

Die Produktentwicklung reicht von den ersten Ideen für ein neues Produkt bis zur Freigabe aller dazugehörenden Dokumente für die Produktion und für die intendierte Nutzung des Produkts. Die Produktentwicklung ist die wesentliche Quelle für Innovationen im Unternehmen sowohl beim Schaffen neuer als auch beim Anpassen vorhandener Produkte. Die Verantwortung der Produktentwicklung ist sehr hoch, weil hier nicht nur die wesentlichen Eigenschaften eines Produkts sowie seine Herstellungsarten und -kosten, sondern eben auch das Leistungsangebot an die späteren Produktnutzer festgelegt werden mit dem Ziel, dass jeder Kunde / Anwender¹ genau dasjenige Produkt erhält, dass sie oder er für das gewünschte Einsatzgebiet erwartete und benötigt. Befördert und beeinflusst werden diese Ziele durch zunehmende Produktindividualisierung und -komplexität, durch die immer deutliche werdende Notwendigkeit der Ressourcenschonung und durch die Forderung nach höchster Zuverlässigkeit eines Produkts, wobei Beschaffung und Nutzung des Produkts einen (in der Regel vorgegebenen) finanziellen Rahmen nicht überschreiten sollen.

Wesentliches Gestaltungsprinzip in der Produktentwicklung ist, dass ein Produkt für seinen bestimmungsgemäßen Gebrauch "eindeutig", "einfach" und "sicher" sein muss². Während sich die Eindeutigkeit bezüglich des Einsatzes des Produkts, der Prozesse seiner Entstehung (Entwicklung und Herstellung), seiner Aufbewahrung und des späteren Recycling / Entsorgung ohne Einschränkungen umsetzen lässt (vorausgesetzt, dass Produkte, Einsatzgebiete und Herstellprozesse im Lastenheft nachvollziehbar beschrieben sind) und die Sicherheit in Gesetzen, Normen und Richtlinien usw. geregelt und vorgegeben ist, gibt es für das Erzielen der Produkteinfachheit weder klare Definitionen noch entsprechende Vorgaben.

Bedingt durch Diversifizierung und Individualisierung wächst die Vielfalt der Produkte stetig an, die zunehmend aus Kombinationen aus physischen Bestandteilen und virtuellen Softwaresystemen bestehen³. Aufgrund der dadurch zunehmenden Komplexität dieser Produkte entstanden Notwendigkeit und damit steigende Nachfrage nach mindestens einfacher, nachvollziehbarer und intuitiver Bedien- und Nutzbarkeit solcher Produkte und Systeme, auch wenn dabei die

¹ Ein Kunde kann auftreten als Käufer, als Nutzer, als Kombinationen aus beiden und/oder als Sponsor

² Bereits 1977 von Gerhard Pahl (TH Darmstadt) und Wolfgang Beitz (TU Berlin) in ihrem gemeinsamen Werk „Konstruktionslehre“ als Grundregel zu Gestaltung und Auslegung eines Produkts postuliert.

³ Daher sind heute beispielsweise Kraftfahrzeuge sogenannte Produkt-Service-Systeme (PSS).

zugrunde liegenden Produkte und Systeme sowie ihre Produktionsprozesse selbst keinen einfachen Aufbau (mehr) haben. Es fehlten allerdings geeignete Methoden, Regeln und Vorgehensweisen, wie und womit denn einfache Produkte beschrieben, entwickelt, hergestellt und von den anvisierten Nutzergruppen verwendet werden können. Das Befriedigen dieses Bedarfs ist Ziel und Inhalt der vorliegenden Dissertation von Herrn Dr.-Ing. Fabian Bade.

Diese Arbeit baut auf dem Ansatz des Integrated Design Engineering (IDE), insbesondere mit allen dort agierenden Beteiligten, nämlich Kunden, Anbietern und Betroffenen, auf⁴. Folglich führt der Autor zunächst in die unterschiedlichen Aspekte einer (nutzerzentrierten) Einfachheit eines Produkts aus Sicht des IDE ein (vergleichbar mit dem User-centred Design). Dabei fokussiert er sich auf die Nutzungsmöglichkeiten des entstehenden Produkts anhand der Leitlinie „Einfachheit“. Weitere Effekte ergeben sich aus dem Zusammenspiel zwischen Nutzer und Produkt. Diese werden aus Sicht des Nutzers durch die Einführung des IDE-Attributs Gebrauchstauglichkeit und darin umfassend über die Kenngrößen Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung erfasst. Mit deren Fortentwicklung zum Nutzungserlebnis für den (späteren) Nutzer gelingt es dem Autor, die Einfachheit des Produkts sowohl aus der Sicht des Nutzers als auch aus der Sicht der Entstehung dieses Produkts darzustellen und diese nicht auflösbare Dualität zu betonen.

Der Autor zeigt bei Definition und Beschreibung des Begriffs Einfachheit und ihrer Eigenschaften auf, dass die Einfachheit eines Objekts oder einer Aktivität zwar von allen Beteiligten als notwendig und vorteilhaft gesehen wird, es jedoch keine belastbare Definition und Beschreibung der dazu führenden Vorgehensweisen und Eigenschaften gibt (sowohl aus der Sicht des Produktentwicklers als auch aus Sicht des Produktnutzers), mit denen dieses Ziel sowohl in Struktur und Aufbau des Produkts als auch in seiner Nutzbarkeit erreicht werden kann. Der Autor nähert sich nun seiner Definition der Einfachheit über deren Antagonisten Komplexität an, da in der Literatur „Einfachheit“ häufig über das Nichtvorhandensein von Komplexität beschrieben wird, was zu der dieser Arbeit zugrundeliegenden Definition von Einfachheit und Komplexität führt. Er berücksichtigt dabei unterschiedliche Quellen, wie etwa die Zehn Gesetze der Einfachheit nach *Maeda* und die 13 Prinzipien der Einfachheit nach *Brügger*, *Hartschen* und *Scherer*. Er kommt zu dem Ergebnis, dass Einfachheit eine relative Eigenschaft ist, die nicht nur aus systemtheoretischer Sicht und im Kontext mit dem jeweiligen Betrachtungsobjekt (das

⁴ Betroffene sind solche Personen, die von Entstehung, Nutzung und/ Rückführung (Recycling) des Produkts zwar tangiert oder beeinträchtigt werden, aber selbst keine Kunden und/oder Nutzer dieses Produkts sind.

interessierende Produkt und damit auch die Produktklasse, zu der es gehört), sondern auch im Kontext mit dem jeweiligen Kenntnisstand des anvisierten Nutzers untersucht werden muss.

Um zu einer übergreifenden Definition und Beschreibung von "Einfachheit" zu kommen, untersucht der Autor die einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus auf das Vorhandensein von Einfachheit, Kompliziertheit und Komplexität. Er verwendet dabei Quellen aus der Theorie der Produktentwicklung und stellt dabei sehr sorgfältig Kriterien zur Ermittlung der Einfachheit beziehungsweise Komplexität aus der Funktionsanzahl und deren Vielfalt in einem Produkt zusammen. Dabei liefert die Tabelle 13 sehr gute Beispiele zu den einzelnen Kriterien und damit einen umfangreichen Überblick über das Auftreten von Einfachheit in den unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus und aus unterschiedlichen Sichtweisen (dem IDE-Ansatz folgend die Sichtweisen von Anbieter, Käufer / Nutzer, Betroffene).

Die Definition für einfache Produkte wird aus Sichten (möglicher oder anvisierter) Nutzergruppen und aus der Sicht von Anbieter / Hersteller hergeleitet. Dazu gehört, dass ein Produkt seine Einsatzmöglichkeiten beispielsweise durch Größe, Gestaltung, Gewicht und Farbenwahl dem Nutzer eindeutig präsentiert und dass das Verhalten des Produkts bei der Nutzung den Vorstellungen der jeweiligen Zielgruppe entspricht.

Zur Lösung dieses Problems wählt der Autor den Ansatz der sieben Zustände von Aktivitäten nach *Norman*⁵ aus, um über die "Brücke der Ausführung" einer Aktion und (als Rückkopplung davon) über die "Brücke der Bewertung" zu beurteilbaren Größen und Eigenschaften der Einfachheit zu kommen. Damit lässt sich die Einfachheit eines Produkts sowohl über Gestaltung, Struktur und Herstellbarkeit, eventuell auch Nachhaltigkeit (in Summe die Einfachheit aus Anbietersicht) als auch über seine Reaktion auf subjektive Aktivitäten des Nutzers (Einfachheit aus Nutzersicht) beschreiben und bewerten. Diese Definition eines einfachen Produkts bildet die Dualität der (individuellen) Sichten der Nutzer auf das Produkt (Eindruck der Einfachheit, resultierend aus Gestalt, Struktur, Handhabbarkeit und Nutzbarkeit des Produkts) und der Sicht des Anbieters (als übergeordnete Rolle aller am Entstehungsprozess des Produkts beteiligten Gruppen) ab, manifestiert in Rentabilität des Produkts und seine störungsfreie Bereitstellung⁶.

⁵ Norman, D.A.: *Simplicity. A Matter of Design*. The Journal of Design, Economics, and Innovation, 2016

⁶ Aufgrund dieser Dualität folgen die daraus resultierenden Schlüsse auch dem Hegel'schen Argumentationsdreieck aus "These-Antithese-Synthese".

Zum Bewerten einfacher Produkte entwirft der Autor Kenngrößen und Verfahren für ein unscharfes Bewertungsmodell. Als Grundgerüst verwendet er die Attribute des Integrated Design Engineering (IDE)⁷. Er weist zu Recht darauf hin, dass die Ergebnisse einer Bewertung der Einfachheit eines Objekts stets subjektiv sind, da diese Bewertung von jeweiligen Kenntnissen, Erfahrungen, Zielen und Vorstellungen des Nutzers abhängig ist.

Der Autor diskutiert weitere Bewertungsansätze und –verfahren, beispielsweise die Anwendung der Autogenetische Konstruktionstheorie (AKT)⁸, da sowohl Produkteigenschaften (die im IDE mithilfe der Attribute beschrieben werden) als auch die mit ihnen verbundenen Partialmodelle als (gleichwertige, aber nicht gleichartige) Komponenten für eine multikriterielle Optimierung in Richtung Einfachheit betrachtet werden können. Die multikriterielle Optimierung ist das Grundelement der AKT, die erfolgreich bei unscharfen Mengen eingesetzt werden kann, auch wenn diese bei unscharfen Größen (die bei subjektiven Bewertungen auftreten können) an die Grenzen ihrer Möglichkeiten stoßen kann.

Als am besten geeigneter Ansatz und Werkzeug zur Bewertung von Einfachheit stellt sich die Anwendung eines Fuzzy-Systems (unscharfes Expertensystem) heraus. Die Evaluierung des in dieser Arbeit entwickelten Bewertungsmodells erfolgte im Rahmen der Studienrichtung Integrated Design Engineering (IDE) am Lehrstuhl des Betreuers durchgeführten Projektarbeiten, unter anderem anhand der industriellen Entwicklung von fünf Varianten eines Freischneiders⁹ für die Landschaftspflege. Es zeigt sich, dass die in dieser Arbeit beschriebenen Konzepte und Vorgehensweisen für die Bewertung der Einfachheit von Produkten zu aussagefähigen und nachvollziehbaren Ergebnissen führen.

Diese Dissertation leistet mit seinen Untersuchungen einen sehr signifikanten Beitrag zur Steigerung von Vielfalt, Güte und Erfolg bei der Entwicklung einfacher Produkte. Die hier beschriebenen Ansätze lassen sich gewinnbringend auf jede Art von Produktentwicklung übertragen. Fasst man zudem den Produktbegriff so weit wie im IDE, wo auch Forschungsarbeiten und ihre

⁷ Sechs Attribute beschreiben und bewerten das Produkt bezüglich Gestalt, Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Produzierbarkeit (Anbietersicht) / Verfügbarkeit (Nutzersicht), Instandhaltbarkeit und Nachhaltigkeit, drei Erfüllungsattribute behandeln Sicherheit, Zuverlässigkeit und Qualität des Produkts, zwei Wirtschaftlichkeitsattribute liefern für das Produkt den Mehrwert (Nutzersicht) bzw. die Rentabilität (Anbietersicht).

⁸ Für weitere Informationen zur AKT siehe beispielsweise Abschnitt 1.7 in S. Vajna (Herausgeber): Integrated Design Engineering – Interdisciplinary and Holistic Product Development, Springer Nature, Cham (CH) 2020

⁹ Freischneider sind Motorsensen zum Mähen von Gras, krautigen Pflanzen und holzigem Gestrüpp.

Ergebnisse Produkte sind und daher genauso entwickelt werden können wie dingliche Objekte, so ergeben sich zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten für die hier vorgestellten Erkenntnisse und Ergebnisse.

Weinheim (Bergstraße), im September 2022

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna

Kurzreferat

Die immer größer werdende Produktvielfalt, die steigende Funktionsintegration innerhalb eines Produktes und die zunehmende Informationsflut führen zu neuen Herausforderungen innerhalb der Produktentwicklung. Dabei sind Produktentwickler mit einer Vielzahl an Komplexitätstreibern konfrontiert. Aus diesem Grund fordern Gestaltungsgrundsätze aus dem Bereich der Konstruktionstechnik, dass ein Produkt so einfach wie möglich sein soll.

Bei der Entwicklung von Produkten ist darauf zu achten, dass das Produkt eindeutig, einfach und sicher ist. Während "Sicherheit" und "Eindeutigkeit" in Bezug auf ein bestimmtes Umfeld durch präzise Definitionen festgelegt werden können, wird Einfachheit meist durch unscharfe Parameter charakterisiert. Gängige Ansätze zur Bewertung von Einfachheit bestehen entweder in der Reduktion auf deterministische Werte, wodurch das Bewertungsmodell stark vom realen Modell abstrahiert, oder in der Verwendung von unscharfen Parametern, die den unscharfen Begriff Einfachheit in weitere nicht erfassbare Begriffe aufteilen (eine einfache Montage ergibt sich aus einer leichten Montage).

Es stellt sich die Frage, inwieweit Einfachheit als subjektive Produkteigenschaft bewertet werden kann und welche Methoden hierfür als geeignete Werkzeuge dienen. Einfachheit ist als eine subjektive Produkteigenschaft zu verstehen, deren Bedeutung je nach Perspektive des Bewertenden wechselt. Entsprechend werden im Theorieteil der Arbeit relevante Gruppen sowie die verschiedenen Einflussgrößen von Einfachheit über den Produktlebenszyklus hinweg analysiert. Darauf aufbauend werden für die aufgestellten, relevanten Gruppen eine allgemeingültige Definition von Produkteinfachheit aufgestellt.

Der mögliche Beitrag zur Bewertung unscharfer Mengen wird anschließend anhand der Einflussgrößen von Produkteinfachheit untersucht und innerhalb einer Fallstudie aus dem Umfeld der Produktentwicklung mittels eines unscharfen Expertensystems verifiziert. Darauf aufbauend erfolgt eine Auflistung relevanter Strategien zur Vereinfachung von Produkten. Die Bewertung mittels unscharfer Mengen und die Strategien zur Vereinfachung können dazu beitragen eine gezielte Entwicklung einfacher Produkte zu fördern.

Abstract

The ever-increasing variety of products, the growing integration of functions within a product and the increasing flood of information are leading to new challenges within product development. At the same time, product developers are confronted with a multitude of complexity drivers. For this reason, design principles from the field of design engineering demand that a product should be as simple as possible.

When developing products, the product must be unambiguous, simple, and safe. While "safety" and "unambiguousness" can be established by precise definitions with respect to a particular environment, simplicity is usually characterized by fuzzy parameters. Common approaches to evaluate simplicity consist either in reducing it to deterministic values, thus abstracting the evaluation model strongly from the real model, or in using fuzzy parameters, which divide the fuzzy term simplicity into further terms that cannot be captured (a simple assembly results from an easy assembly).

The question arises to what extent simplicity can be evaluated as a subjective product property and which methods serve as suitable tools for this purpose. Simplicity is to be understood as a subjective product property whose meaning changes depending on the perspective of the person evaluating it. Accordingly, in the theoretical part of the thesis, relevant groups as well as the various influencing variables of simplicity are analyzed throughout the product life cycle. Based on this, a generally valid definition of product simplicity is established for the relevant groups.

The possible contribution to the evaluation of fuzzy quantities is examined afterwards on the basis the influence variables of product simplicity and verified within a case study from the surrounding field of the product development by means of a fuzzy expert system. Based on this, relevant strategies for the simplification of products are listed. Evaluation using fuzzy quantities and simplification strategies can help to promote targeted development of simple products.

Gliederung

Vorwort	III
Kurzreferat	VIII
Abstract	IX
Gliederung.....	X
Abbildungsverzeichnis	XIII
Abbildungsverzeichnis Anhang	XVI
Tabellenverzeichnis.....	XVIII
Liste der veröffentlichten Teilergebnisse	XIX
1. Einleitung	1
1.1 Motivation.....	2
1.2 Forschungsfragen und Vorgehensweise	4
2. Nutzerzentrierte Produktentwicklung.....	8
2.1 Modelle des Produktlebenszyklus	8
2.2 Beteiligte Menschen innerhalb des Produktlebenszyklus.....	16
2.2.1 Der Kunde	16
2.2.2 Der Anbieter.....	16
2.2.3 Der Betroffene.....	18
2.2.4 Relevante Gruppen.....	18
2.3 Humanzentrierte Entwicklung von Produkten.....	19
2.3.1 Disziplinen nutzerzentrierter Gestaltung.....	20
2.3.2 Human-centered Design.....	29
2.4 Nutzerzentrierte Entwicklung im Kontext einfacher Produkte.....	31
3. Einfache Produkte	33
3.1 Definition von Einfachheit und Komplexität.....	34
3.2 Generelle Definitionen von Einfachheit	34

3.3 Ein einfaches System	38
3.3.1 Grundlagen der Systemtheorie	39
3.3.2 Die Systemtheorie in den Ingenieurwissenschaften	40
3.4 Einfachheit im Produktlebenszyklus.....	43
3.4.1 Produktentstehung	43
3.4.2 Produktgestaltung.....	45
3.4.3 Produktion und Instandhaltung	50
3.4.4 Produktnutzung	51
3.4.5 Unternehmensinterne und -externe Komplexitätstreiber	55
3.4.6 Entsorgung und Verwertung	59
3.5 Beschreibung einfacher Produkte	62
3.6 Definition einfacher Produkte.....	66
3.6.1 Einfachheit aus Nutzersicht.....	67
3.6.2 Das Komplexitätsniveau	71
3.6.3 Einfachheit aus Anbietersicht.....	74
3.6.4 Definition einfacher Produkte	75
4. Bewertbarkeit einfacher Produkte	77
4.1 Attribute des Integrated Design Engineering.....	77
4.1.1 Produktattribute	78
4.1.2 Erfüllungsattribute.....	79
4.1.3 Wirtschaftlichkeitsattribute	79
4.1.4 Bewertungsprofil der Attribute	80
4.2 Attribute einfacher Produkte.....	82
5. Ein unscharfes Bewertungssystem	84
5.1 Grundlagen der Bewertung	84
5.1.1 Nutzwertanalyse	87

5.1.2 Rangfolgeverfahren.....	89
5.1.3 Technisch-wirtschaftliche Bewertung.....	90
5.1.4 Unscharfe Expertensysteme	92
5.1.5 Conjoint-Analyse	94
5.1.6 Autogenetische Konstruktionstheorie	96
5.2 Auswahl des Bewertungsverfahrens	99
5.3 Modellierung des Einfachheitsindex	101
5.3.1 Unscharfe Menge und die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen	102
5.3.2 Definieren des Regelblocks eines unscharfen Bewertungssystems	106
5.3.3 Zusammenführung und Aggregation unscharfer Mengen	109
5.4 Beispielhafte Bewertung einer unscharfen Einfachheit.....	112
5.4.1 Der Bewertungsablauf mit einem unscharfen Bewertungssystems	115
5.4.2 Ein beispielhafter Einfachheitsindex aus Nutzersicht.....	120
6. Evaluation des Bewertungsmodells.....	123
6.1 Fallstudie innerhalb des Integrated Design Engineering	123
6.1.1 innoCutter.....	125
6.1.2 Ergebnisse der Fallstudie	131
6.2 Strategien zur Vereinfachung von Produkten.....	133
6.3 Weitere Forschungsperspektiven zur Bewertung von Produkteinfachheit.....	140
7. Zusammenfassung	142
Literaturverzeichnis.....	145

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strukturierung der Dissertation	6
Abbildung 2: Der Produktentstehungsprozess nach [FeGr-2013]	9
Abbildung 3: Modell des allgemeinen Produktentwicklungsprozess [VDI-2221]	10
Abbildung 4: Der Produktlebenszyklus zuzüglich der Phasen des Design for X	11
Abbildung 5: Prozessschaubild des TOTE-Schema [MiGa-1991]	12
Abbildung 6: Der Produktlebenslauf mit Informationsrückflüssen nach [EhMe-2017].....	13
Abbildung 7: Der Produktlebenszyklus und seine Aktivitäten [Vajn-2020]	14
Abbildung 8: Gebrauchstauglichkeit der Nutzung eines Systems [EN ISO-9241-11]	24
Abbildung 9: Verhältnis der Usability zur User Experience nach [GeJo-2015].....	26
Abbildung 10: Die Säulen der User Experience nach [BuHK-2002]	27
Abbildung 11: Vorgehensweisen des Human-centered Designs [DIN EN-9241-210].....	30
Abbildung 12: 13 Prinzipien der Einfachheit nach [BrHS-2013]	36
Abbildung 13: Vereinfachung durch Funktionsergänzung	37
Abbildung 14: Konsistente Zeichenfunktionen erzeugen Einfachheit.....	38
Abbildung 15: Das Systemdenken nach [HaDa-2002] in [Pulm-2004].....	41
Abbildung 16: Ein einfaches und ein kompliziertes System [Hart-2013]	41
Abbildung 17: Ein komplexes System [Hart-2013]	41
Abbildung 18: Ein Windspiel [Gart-2021].....	42
Abbildung 19: Verhältnis von Symmetrie und Komplexität nach [Roth-2000]	46
Abbildung 20: Komplexität und Ordnung nach [SBFG-2000] (verändert von [Zeh-2010])....	47
Abbildung 21: Generationen des Samsung Galaxy S Smartphones [Sams-2021].....	50
Abbildung 22: Schematische Darstellung mentaler Modelle [PrDa-2010]	54
Abbildung 23: Gewichtung von Komplexität im Unternehmen [Schu-2014]	58
Abbildung 24: Komplexitätssteigerung durch Variantenvielfalt [Volk-2015]	65
Abbildung 25: Wertschöpfungsprozess aus Nutzer und Anbietersicht [Besa-2013].....	66

Abbildung 26: Die “Seven stages of action” [Norm-2013]	68
Abbildung 27: Soziale Lage und Grundorientierung in Deutschland 2020	71
Abbildung 28: Schematische Darstellung zwischen Produkteinfachheit und Komplexität.....	73
Abbildung 29: Attribute des IDE zur Definition des Leistungsangebots einfacher Produkte ..	81
Abbildung 30: Sankey-Diagramm	82
Abbildung 31: Kriterienarten und -unterarten.....	85
Abbildung 32: Deterministische und linguistische Attribute.....	86
Abbildung 33: Beispiel zur stufenweisen Bestimmung der Gewichtung nach [BrKn-1997]...	88
Abbildung 34: Wertigkeitsdiagramm nach [VDI-2225]	91
Abbildung 35: Zugehörigkeitsfunktion eines Fuzzy-Expertensystems	93
Abbildung 36: Struktur eines Fuzzy-Expertensystems	101
Abbildung 37: Eindeutige (links) und unscharfe (rechts) Beschreibung der Funktionalität...	102
Abbildung 38: Beispiel einer Zugehörigkeitsfunktion.....	103
Abbildung 39: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktionen der Funktionalität	104
Abbildung 40: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart	106
Abbildung 41: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte.....	106
Abbildung 42: Prozessdiagramm einer Fuzzy-Aggregation am Beispiel der Funktionalität..	107
Abbildung 43: Regelblock der Funktionalität.....	108
Abbildung 44: Beispielprodukte einer ersten Fallstudie (links P1, rechts P2).....	112
Abbildung 45: Resultierende Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads	114
Abbildung 46: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart mit Bewertung.....	115
Abbildung 47: Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads mit Bewertung	116
Abbildung 48: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte mit Bewertung	116
Abbildung 49: Schematische Darstellung der überlagernden DOF	117
Abbildung 50: Schematische Darstellung der ALGEBRAISCHE SUMME.....	118
Abbildung 51: DoF der Funktionalität.....	118

Abbildung 52: Einfachheitsbewertung von Kaffeemaschine P1.....	121
Abbildung 53: Einfachheitsbewertung von Kaffeemaschine P2.....	121
Abbildung 54: Generisches IDE-Vorgehen nach [Neut-2017]	124
Abbildung 55: Stihl Freischneider FS 89 (links) und FSA 56 (rechts).....	125
Abbildung 56: User Journey eines Freischneiders im privaten Käufersegment	126
Abbildung 57: Attribute und Unterkriterien für eine Einfachheitsbewertung	127
Abbildung 58: Bewertung verschiedener Freischneider der Marke Stihl	128
Abbildung 59: Bewertungsergebnis der Produkteinfachheit mittels der Nutzwertanalyse.....	128
Abbildung 60: Einfachheitsindex des FS1 (links) und FS2(rechts).....	129
Abbildung 61: Einfachheitsindex des FS3	129
Abbildung 62: Einfachheitsindex des FS4 (links) und FS5 (rechts).....	129
Abbildung 63: Bewertungsergebnis der Produkteinfachheit mittels unscharfer Mengen.....	130
Abbildung 64: Schem. Darstellung der Strukturierung über das Setzen von Relationen	134
Abbildung 65: Schematische Darstellung zur Verdeutlichung von Transparenz	135
Abbildung 66: Schematische Darstellung eines Workflows zur Darstellung der Planbarkeit	136
Abbildung 67: Schematische Darstellung eines geschlossenen Funktionsnetzwerks.....	136
Abbildung 68: Schematische Darstellung der Modularisierung	137

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung Anhang 1: Sankey-Diagramm.....	155
Abbildung Anhang 2: Sankey-Diagramm.....	155
Abbildung Anhang 3: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart.....	156
Abbildung Anhang 4: Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads	156
Abbildung Anhang 5: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte	156
Abbildung Anhang 6: Zugehörigkeitsfunktion der Effektivität.....	156
Abbildung Anhang 7: Zugehörigkeitsfunktion der Effizienz	157
Abbildung Anhang 8: Zugehörigkeitsfunktion der Zufriedenstellung.....	157
Abbildung Anhang 9: Zugehörigkeitsfunktion der pragmatischen Funktionen.....	157
Abbildung Anhang 10: Zugehörigkeitsfunktion der semantischen Funktionen	157
Abbildung Anhang 11: Zugehörigkeitsfunktion der symbolischen Funktionen.....	157
Abbildung Anhang 12: Zugehörigkeitsfunktion von kaufbar	158
Abbildung Anhang 13: Zugehörigkeitsfunktion von Betriebsbereit.....	158
Abbildung Anhang 14: Regelblock der Funktionalität	159
Abbildung Anhang 15: Regelblock der Gebrauchstauglichkeit.....	159
Abbildung Anhang 16: Regelblock der Produktgestalt.....	160
Abbildung Anhang 17: Regelblock der Verfügbarkeit	160
Abbildung Anhang 18: Zugehörigkeitsfunktion des Schnittergebnisse.....	161
Abbildung Anhang 19: Zugehörigkeitsfunktion der Durchzugskraft	161
Abbildung Anhang 20: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsanzahl.....	161
Abbildung Anhang 21: Zugehörigkeitsfunktion des Handgriffgefühls	161
Abbildung Anhang 22: Zugehörigkeitsfunktion des Vibrationsgefühls	161
Abbildung Anhang 23: Zugehörigkeitsfunktion des Gewichts.....	162
Abbildung Anhang 24: Zugehörigkeitsfunktion von Selbsterklärend	162
Abbildung Anhang 25: Zugehörigkeitsfunktion des Look & Feel	162

Abbildung Anhang 26: Zugehörigkeitsfunktion der Inbetriebnahme	162
Abbildung Anhang 27: Zugehörigkeitsfunktion der Wartbarkeit	162
Abbildung Anhang 28: Regelblock der Funktionalität	163
Abbildung Anhang 29: Regelblock der Gebrauchstauglichkeit.....	164
Abbildung Anhang 30: Regelblock der Produktgestalt.....	165
Abbildung Anhang 31: Regelblock der Verfügbarkeit	165
Abbildung Anhang 32: Regelblock der Einfachheit	166

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfachheit im Produktlebenszyklus [PiVS-2018b]	15
Tabelle 2: Beteiligte Personen der Gruppe "Anbieter" [Vajn-2014]	17
Tabelle 3: Die drei Aspekte der Ergonomie nach [ScLB-2010]	21
Tabelle 4: Grundsätze der Dialoggestaltung [EN ISO-9241-11]	24
Tabelle 5: Vorgehensweisen des Human-centered Designs [DIN EN-9241-210].....	30
Tabelle 6: Die 10 Gesetze der Einfachheit nach Maeda	35
Tabelle 7: Bereiche der Systemtheorie in der Wissenschaft [Pulm-2004].....	40
Tabelle 8: Stufen der Komplexität nach [Hubk-1984].....	44
Tabelle 9: Gestaltungsgesetze für die menschliche Wahrnehmung [Metz-2008].....	47
Tabelle 10: Strategien für eine benutzungsfreundliche Gestaltung [Robi-2016].....	52
Tabelle 11: Steigende Komplexität in der Produktentwicklung [EhMe-2017].....	55
Tabelle 12: Komplexitätstreiber im Unternehmen nach [Schu-2014]	57
Tabelle 13: Einfachheit in den verschiedenen Phasen	62
Tabelle 14: Rangfolgeermittlung der Kriterien nach dem Rangfolgeverfahren [BrKn-1997]..	90
Tabelle 15: Beispielhafte Ausprägungen und Eigenschaften der Conjoint-Analyse	95
Tabelle 16: Rangbewertung für alle möglichen Lösungen [Baie-2009].....	95
Tabelle 17: Berechnung der Teilnutzenwerte	96
Tabelle 18: Umfrageergebnis zweier Kaffeemaschinen	113
Tabelle 19: Beispielhafte Bewertung der Funktionalität (P1).....	115
Tabelle 20: Auszug aus Regelblock der Funktionalität (P2).....	117
Tabelle 21: Beispielhafte Bewertung der Funktionalität (P1).....	119
Tabelle 22: Weitere Methoden und Strategien zur Vereinfachung von Produkten	138

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [WüPV-2016] Wünsch, A.; Pilz, F.; Vajna, S. Morphix: An Evolutionary Way to Support Conceptual Design. In (Marjanovic, D.; Štorga, M.; Pavkovic Hrsg.): Proceedings of the 14th International Design Conference (DESIGN 2016), Cavtat, Dubrovnik, Kroatien, 2016; S. 769–778.
- [PiVS-2018a] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Achieving Simplicity: Development and Design of Simple Products: Volume 7: 30th International Conference on Design Theory and Methodology. American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [PiVS-2018b] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Bewertbarkeit unscharfer Mengen am Beispiel der Eigenschaft Produkteinfachheit. In (Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. Hrsg.): Design for X. Beiträge zum 29. DfX-Symposium, 2018.
- [PWVS-2018] Pilz, F. et al. There is more than one way to skin a cat – an interdisciplinary UX review. In Human Behaviour in Design, 2018; S. 63–74
- [PiVS-2020] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Achieving Simplicity: A consideration of a systematic approach. In Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 2020, 1; S. 2345–2354.
-

1. Einleitung

Bei der Entwicklung von Produkten spielen drei Gestaltungsprinzipien eine wichtige Rolle: Sie verlangen, dass ein Produkt "eindeutig", "einfach" und "sicher" sein muss [PaBe-1986] [FeGr-2013]. Diese Richtlinien gelten für den gesamten Lebenszyklus des Produkts, von der Konzeption über die Nutzung bis zur Entsorgung. Bei konkreter Betrachtung dieser Prinzipien wird deutlich, dass "Eindeutigkeit¹⁰" und "Sicherheit¹¹" in Bezug auf eine bestimmte Umgebung durch genaue Definitionen klar beschrieben werden können. Während sich die Anforderungen an die Eindeutigkeit bezüglich Produkteinsatz und der verwendeten Prozesse der Entstehung (Entwicklung und Herstellung) ohne Beschränkungen verwenden lassen (im Falle, sie wurden nachvollziehbar definiert) und die Sicherheit in Gesetzen, Normen und Richtlinien geregelt und vorgegeben ist, gibt es für die Produkteinfachheit weder ähnlich klare Definitionen noch entsprechende Vorgaben. Nach [BeGe-2020] ist Einfachheit keine klare Randbedingung und die Beschreibung dieses Prinzips erfolgt über unscharfe Kriterien. Damit ist ersichtlich, dass die Thematik einfacher Produkte bereits seit über 30 Jahren in der systematischen Produktentstehung als Grundprinzip von Relevanz ist [PaBe-1986]. Hierbei ist ein häufig verwendeter Ansatz die Charakterisierung der Einfachheit über die (zunehmende) Abwesenheit von Komplexität [Pulm-2004]. Die Grenzen zwischen komplex, kompliziert und einfach sind jedoch nicht klar definiert und verschwimmen innerhalb verschiedener Definitionen von Einfachheit und Komplexität. Bisher scheint es keine Kriterien zu geben, die sowohl die Qualität als auch den Grad der Einfachheit erklären und bestimmen. Es ist fraglich, wie Einfachheit erreicht werden kann und welche Strategien und Methoden eingesetzt werden. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft bleibt die Frage, wann, wie und warum ein Produkt ein einfaches Produkt ist oder sein wird.

Diese Dissertation befasst sich mit der Analysierbarkeit und Bewertbarkeit von Einfachheit. Dabei ist zu untersuchen, ob Einfachheit innerhalb objektiver, definierter Randbedingungen beschreiben werden kann, oder es einem unscharfen und subjektiven Charakter unterliegt. Es wird

¹⁰ Die Eindeutigkeit ist dann erzielt, wenn ein Element nur eine Deutung zulässt [Wort-2021]. Innerhalb der Produktentwicklung bedeutet dies, dass ein Zustand (ob in der Funktion oder Handhabung) immer gleichbleibend ist und sich weder durch unterschiedliche Nutzer noch über die Zeit verändert.

¹¹ Sicherheit wird über festgesetzte Normen (bspw. [DIN EN-292-1]) und Gesetze (bspw. [Bund-2011]) definiert und kann anhand dieser mathematisch nachgewiesen werden.

die allgemeine Definition von Einfachheit in unterschiedlichen Bereichen diskutiert und auf Möglichkeiten ihrer analytischen Bewertbarkeit untersucht. Hierbei werden fachübergreifende Methoden zur Beschreibung unscharfer Produkteigenschaften¹² angewandt. Weiterhin wird Einfachheit im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung betrachtet und inwiefern Strategien und gezielte Methoden zur Erzielung von Einfachheit eingesetzt werden können.

1.1 Motivation

„Die Technik entwickelt sich immer vom Primitiven über das Komplizierte zum Einfachen.“

Antoine de Saint-Exupéry

Die Forderung nach Einfachheit in der Produktentstehung [VDI-2221]¹³ sowie nach gezielte Methoden, diese zu erreichen, besteht seit langer Zeit. Bereits seit der zweiten industriellen Revolution, welche die Massenfertigung hervorbrachte, wodurch ein Paradigmenwechsel von Expertenarbeit zu fragmentierter Arbeit sowie simplen Einzelaufgaben erfolgte, ist die Vereinfachung von Produkten¹⁴, Prozessen und Organisationsstrukturen konstant vorhanden. Als ein früher Ursprung hierfür steht das Ende des 19. Jahrhunderts begründete Prinzip des Taylorismus¹⁵, welches geistige und körperliche Arbeit trennte sowie Aufgaben in kurze und repetitive Arbeitsschritte fragmentierte [Bona-2014]. Basierend auf dieser Grundlage vereinfachte Henry Ford durch Standardisierung die Produktion in solchem Maße, dass komplexe Produkte von ungelerten Arbeitskräften gefertigt werden konnten [WoJR-1992, Zieg-2013].

Im Laufe des 20. Jahrhunderts blieb der Wunsch nach Einfachheit weiter bestehen. So etablierte sich der Wunsch nach Einfachheit innerhalb der Konsumgüterprodukte in den 50er und 60er Jahren [Schn-2005]. „Die Gute Form“ der Hochschule für Gestaltung Ulm stand für eine

¹² Als unscharfe Produkteigenschaft [Webe-2011] werden in der vorliegenden Arbeit alle Eigenschaften eines Produktes bezeichnet, welche in ihrer Bewertbarkeit einem subjektiven Charakter zu Grunde liegen.

¹³ Die Produktentstehung wird gemäß der VDI 2221 als Gesamtheit der Tätigkeiten zur Lösung der technischen Aufgaben verstanden, welche zum marktreifen Produkt führen. Sie umfasst die Produktentwicklung, Produktionsplanung sowie Produkteinführung [VDI-2221].

¹⁴ Ein Produkt wird gemäß des Integrated Design Engineerings nach [Vajn-2020] als ein Ergebnis oder Erzeugnis menschlicher Arbeit und menschlichen Könnens definiert. Produkte können dingliche (physische oder materielle) Artefakte oder nicht-dingliche (immaterielle) Artefakte und Leistungen sein.

¹⁵ Der Taylorismus ist nach dem US-Amerikaner Frederick Winslow Taylor benannt, welcher davon ausging, dass durch Arbeitsteilung, die strikte Trennung von geistlicher und körperlicher Arbeit sowie klaren Zieldefinitionen eine Steigerung der Produktivität menschlicher Arbeit erzielt werden kann [Bona-2014].

einfache, funktionale und materialgerechte Form, welche durch ihre hohe Gebrauchstauglichkeit, eine lange Lebensdauer, Verständlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit überzeugte [Schn-2005]. Seit dem Beginn der dritten industriellen Revolution in den 1970er Jahren, welche den Beginn und den Umbruch zur Digitalisierung durch die Verwendung mikroelektronischer Komponenten eröffnete, erfuhren Produkte einen rasanten Anstieg an Bedienungsmöglichkeiten. Die Funktionalität von Produkten war nicht länger ausschließlich von ihren physischen Randbedingungen abhängig, sondern eröffnete durch virtuelle Systeme neue Chancen. Durch die Kombination von bestehenden mechanischen Lösungen mit digitalen (Software) konnte die Anzahl der Funktionalität der Produkte angehoben werden. Somit expandierte das Bedienungsvolumen eines Produktes durch die Möglichkeit, nicht nur materielle Funktionen (bspw. Schalter, Knöpfe), sondern auch digitale Funktionen in der Form von Programmen und zusätzlichen digitalen Features zu verwenden. In dieser Zeit wurden insbesondere die Wissenschaften der Ergonomie, Anthropometrie und Gebrauchstauglichkeit eingesetzt, um eine kundenorientierte Nutzung des Produktes zu ermöglichen. Mit den zunehmenden Möglichkeiten der Digitalisierung und immer kleiner werdenden Komponenten wurden Funktionen kombiniert, um multifunktionale Produkte zu realisieren. Hierdurch entstanden leistungsfähigere Produkte, die flexibler auf die Bedürfnisse des Nutzers eingehen können. Gleichzeitig sorgte diese Vernetzung für ein Bedürfnis nach Einfachheit und Reduzierung der Komplexität [Parr-2012].

Seitdem nimmt die Vielfalt der Produkte ebenso wie die Kombination von physischen Produkten mit virtuellen Systemen¹⁶ beständig zu. Durch die immer größer werdende Produktvielfalt, die funktionale Integration innerhalb eines Produktes und eine zunehmende Informationsflut ist eine Reduzierung der daraus resultierenden Komplexität der Nutzungsmöglichkeiten ein stetig wiederzufindendes Bestreben. Dies führt zu einer steigenden Nachfrage nach einfacher und intuitiver Bedienbarkeit [PrDa-2010, Zeh-2010]. Insbesondere in den Bereichen Produktentwicklung [VDI-2221]¹⁷ und Produktnutzung kann ein Bedarf an einfachen Produkten und Prozessen identifiziert werden [PiVS-2018b]. Die Notwendigkeit des Status "einfach" gilt daher für viele Bereiche eines Produkts innerhalb des Produktlebenszyklus.

¹⁶ Die Kombination aus Hardware und Software.

¹⁷ Die Produktentwicklung wird in dieser Arbeit nach der [VDI-2221] verstanden, welche als ein interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produktes, der einer kontinuierlichen Iteration unterliegt, definiert ist. In dieser Arbeit wird die Konstruktion als Bestandteil der Produktentwicklung betrachtet.

Ziel einer Produktentwicklung ist es, die Möglichkeiten technischer Systeme zu nutzen, um Menschen zu befähigen, Leistungsgrenzen zu überwinden und so ihre (aktuellen) Bedürfnisse zu erfüllen. Einfachheit als Produkteigenschaft stellt dabei ein zentrales Element des Produktes dar, mit dem der Menschen während des gesamten Produktlebenszyklus interagiert. Die Bewertbarkeit von Produkteinfachheit bildet dabei einen Schritt zur systematischen und gezielten Entwicklung einfacher Produkte. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist es notwendig, den Rahmen der Produkteinfachheit zu definieren und gleichwohl zu identifizieren, wann ein Produkt ein einfaches Produkt ist.

Aktuelle Ansätze zum Erzielen der Einfachheit bestehen entweder in der Reduktion auf deterministische Werte [Hart-2013], die dem Bewertungsmodell eine starke Abstraktion vom realen Modell verleiht, oder in der Verwendung unklarer Parameter, die die Einfachheit des unscharfen Begriffs in weitere unscharfe Begriffe unterteilen (z.B. eine einfache Baugruppe resultiert aus einer einfachen Komponenten) [Hubk-1984, FeGr-2013]. Die Prinzipien der nutzerzentrierten Entwicklung verlangen jedoch, dass die Bedürfnisse und Randbedingungen des Nutzers im Prozess der Produktentwicklung mit betrachtet werden. Der daraus resultierende Paradigmenwechsel von einer produktbasierten Sichtweise zu einer nutzerzentrierten führt zwangsläufig zu einem Wandel der konventionellen Produktentwicklung, da er zu einem Bedarf an angepassten Strategien und Methoden führt.

1.2 Forschungsfragen und Vorgehensweise

Der Status Einfachheit ist eine Notwendigkeit, welche seit vielen Jahren innerhalb der Produktentwicklung für ein Produkt gefordert wird [Hubk-1984, PaBe-1986, BeGe-2020, EhMe-2017]. Produktentwickler sind angehalten, Produkte und Prozesse für jede Phase ihres Lebenszyklus so zu gestalten, dass sie so einfach wie möglich sind¹⁸. Dabei sind die Anforderungen der einzelnen Phasen zumeist unterschiedlich und unterliegen verschiedenen Zielsetzungen und den Bedürfnissen der Stakeholder, auf welche Rücksicht genommen werden muss. Allgemeingültige Regeln, wie ein einfaches Produkt zu gestalten ist, gibt es bisher wenige, und wenn doch, sind diese oftmals allgemein und unspezifisch beschrieben. Durch die unterschiedlichen Anforderungen an ein einfaches Produkt innerhalb der Phasen des Produktlebenszyklus resultieren

¹⁸ Bezogen auf alle mit dem Produkt interagierenden Stakeholder. Produkteinfachheit ist keine reine Nutzungseigenschaft, sondern durchzieht alle Phasen des Produktlebenszyklus und betrifft somit auch alle beteiligten Stakeholder.

widersprüchliche Zielsetzungen, welche das Zustandekommen von Einfachheit gegenseitig beeinflussen. Es ist fraglich, welche allgemeingültige Bedeutung Einfachheit im Kontext des Produktlebenszyklus hat, inwiefern sich Einfachheit von Komplexität abgrenzt und ob es Methoden zur systematischen Erzeugung einfacher Produkte gibt.

Im Hinblick auf die Produktentwicklung als auch in Bezug auf die Anwenderperspektive werden für diese Dissertation folgende Forschungsfragen aufgestellt:

- 1.) *Wie ist Einfachheit unter der Betrachtung der verschiedenen Gruppen des Produktlebenszyklus zu bewerten?*
- 2.) *Inwiefern und gegebenenfalls mithilfe welcher Einflussgrößen¹⁹ kann Einfachheit innerhalb der Produktentwicklung definiert werden?*
- 3.) *Unter welchen Bedingungen und mit welchen Methoden ist Einfachheit als subjektive Produkteigenschaft bewertbar?*
- 4.) *Welche Strategien und Methoden können zur Vereinfachung von Produkten verwendet werden?*

Die vorliegende Dissertation wird zur Beantwortung dieser Fragen in thematische Abschnitte unterteilt (Abbildung 1). Als Basis für den Rahmen dieser Arbeit wird zunächst die Einordnung in den Kontext der Produktentwicklung und des jeweils angesprochenen Bereichs erfolgen.

¹⁹ Einflussgrößen können hierbei bspw. die Definition von Merkmalen und Eigenschaften eines Produktes nach [Webe-2011] sein. Hiernach ist ein Produktmerkmal direkt durch die Beschaffenheit des Produktes vorgegeben, während Produkteigenschaften als Resultat daraus entstehen.

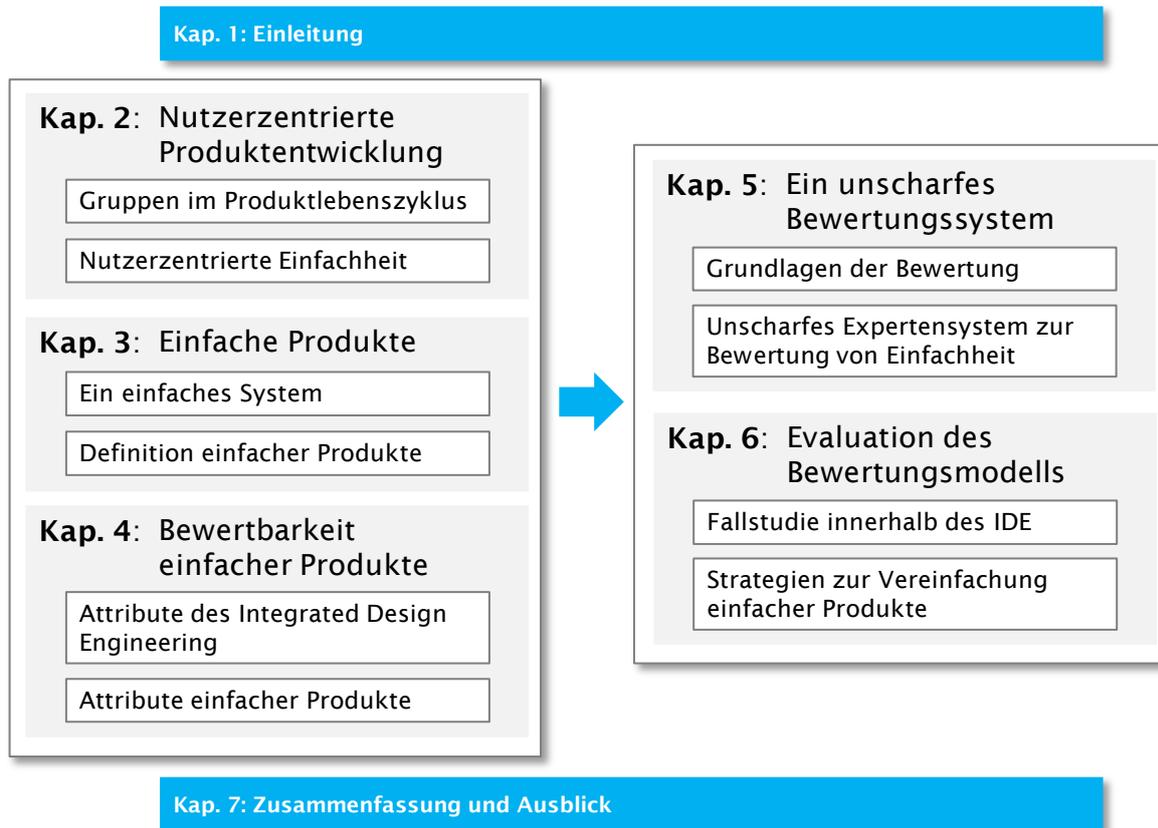


Abbildung 1: Strukturierung der Dissertation

Da Einfachheit als generelles Prinzip auf alle Bereiche des Produktlebenszyklus angewendet werden muss, findet in Kapitel 2 eine Abgrenzung auf die nutzerzentrierte Sichtweise der Produktentwicklung statt. Dabei werden die verschiedenen Gruppen, welche am Produktlebenszyklus beteiligt sind, beschrieben, um darauf aufbauend die Forschungsgebiete innerhalb des Produktlebenszyklus, welche innerhalb der nutzerzentrierten Einfachheit agieren, zu definieren.

In Kapitel 3 folgt eine das Forschungsgebiet übergreifende Untersuchung der Definition von Einfachheit, auf dessen Basis eine für diese Arbeit allgemeine Definition einfacher Produkte aus Nutzer- und Anbietersicht erfolgt.

Anschließend wird in Kapitel 4 auf der Grundlage dieser Definition die Bewertbarkeit von Einfachheit betrachtet. Hierbei werden auf Grundlage des Integrated Design Engineerings Attribute bestimmt, welche für das Empfinden von Einfachheit maßgeblich beteiligt sind.

In Kapitel 5 erfolgt eine Diskussion geeigneter Bewertungsmethoden unscharfer Bewertungsgrößen, auf dessen Basis im nächsten Schritt ein Unscharfes Expertensystem modelliert wird [RoEi-2002]. Das aufgestellte Unscharfe Expertensystem wird innerhalb einer ersten beispielhaften Bewertung evaluiert.

In Kapitel 6 erfolgen Verifizierung und Diskussion der Bewertung von Einfachheit mittels eines unscharfen Expertensystems anhand einer Fallstudie innerhalb eines studentischen Projektes des Integrated Design Engineerings mit Wirtschaftsbezug. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Literatur der verschiedenen Forschungsgebiete nutzerzentrierter Produkte in Kapitel 3 und den Ergebnissen der Fallstudie erfolgt eine Aufstellung verschiedener Methoden und Strategien, die je nach Kontext zu einer Vereinfachung von Produkten aus Nutzer – und auch Anbietersicht – führen können.

Abschließend findet in Kapitel 7 eine Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Dissertation mit einem Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf statt.

2. Nutzerzentrierte Produktentwicklung

Um sich dem breit gefächerten Feld einfacher Produkte zu nähern, muss zunächst eine Definition der damit einhergehenden Phasen des Produktlebenszyklus und deren Zusammenhang mit einfachen Produkten erfolgen. Einfachheit ist ein subjektiver Status, welcher je nach Situation verschiedenartige Ausprägungen und Formen annehmen kann. So ist ersichtlich, dass für den Arbeitsalltag des Konstrukteurs ein Produkt durch andere Indikatoren als einfach wahrgenommen wird als für den späteren Nutzer. Dieser Eindruck wird auch durch [PaBe-1986, FeGr-2013] bestätigt, welche verschiedene Gestaltungsrichtlinien für unterschiedliche Phasen des Produktes empfehlen. Daraus folgt die Notwendigkeit, neben der Definition der Phasen des Produktlebens, eine Beschreibung betreffender Gruppen einfacher Produkte zu erstellen. Es wird darauf aufbauend die Fragestellung behandelt, ob aus einem einfachen Produkt für den Anbieter in Bezug auf die Produktentwicklung ebenso ein einfaches Produkt für den Nutzer resultiert²⁰. Zusätzlich erfolgt eine Gegenüberstellung der Grundlagen der Produktentstehung sowie der Nutzerzentrierung im Kontext der Produktentwicklung.

2.1 Modelle des Produktlebenszyklus

In der Literatur tauchen eine Vielzahl an Modellen auf, welche die einzelnen Phasen des Produktes von der Idee bis zum finalen Produkt beschreiben [BeGe-2020, Meer-1994b, EhMe-2017, Vajn-2020, VDI-2221, FeGr-2013]. Der Vorgang der Produktentwicklung – von der Idee bis zur Entwertung - besteht nicht aus einem einzelnen Prozess, sondern aus vielen Teilprozessen, welche aufeinander folgend – teils parallel – ausgeführt werden. Die entsprechende Prozessfolge wird in der Literatur zumeist als Produktentstehungsprozess bezeichnet [SpKr-1997][FeGr-2013][ABHR-2020]. Dieser beginnt bei der Planung und ist mit der Herstellung des Produktes abgeschlossen [FeGr-2013]. Der Prozess ist in Abbildung 2 dargestellt.

²⁰ Eine einfache Bedienbarkeit für den Nutzer muss nicht zwangsläufig bedeuten, dass das Produkt ebenso einfach in bspw. der Entwicklung oder Herstellung ist.

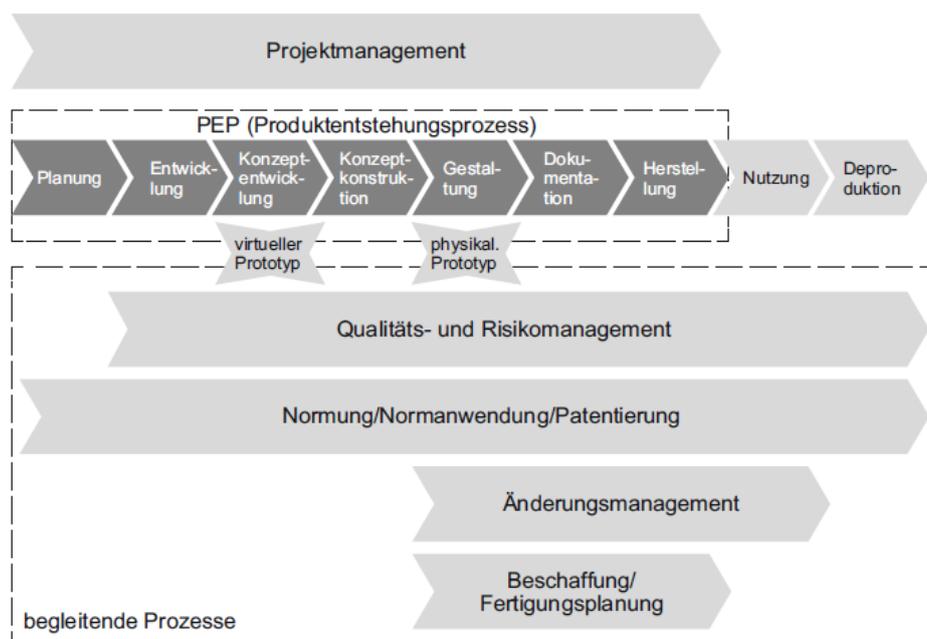


Abbildung 2: Der Produktentstehungsprozess nach [FeGr-2013]

Der Produktentstehungsprozess nach [FeGr-2013] zeigt, dass das Projektmanagement nach der Fertigstellung des Produktes abgeschlossen ist. Daher werden die beiden Produktlebensphasen Nutzung und Deproduktion nur mit dem Qualitäts- und Risikomanagement, der Normung, Normanwendung, Patentierung sowie dem Änderungsmanagement begleitet. Gleichwohl werden die Teilprozesse innerhalb des Produktentstehungsprozesses als eine sequenzielle Abfolge dargestellt, welche nur innerhalb der Entwicklung, aber nicht darüber hinaus Iterationen abbildet [FeGr-2013].

Ein weiterer Ansatz ist das in der [VDI-2221] definierte allgemeine Modell des Produktentwicklungsprozesses, welches auch von [BeGe-2020] vertreten wird. Dieses beruht auf Grundlage der Struktur des integrierten Produktentstehungs-Modells nach [AlBr-2011]. Das allgemeine Modell des Produktentwicklungsprozesses beinhaltet (siehe Abbildung 3):

- Ziele der Produktentwicklung,
- Aktivitäten und Phasen der Produktentwicklung und
- Ergebnisse, das heißt die Artefakte, die in den Prozessen entstehen.

Das in Abbildung 3 dargestellte Prozessmodell basiert zunächst auf den Aktivitäten des Produktlebenszyklus sowie dem Problemlösungsprozess, den Aktivitäten des allgemeinen Modells der Produktentwicklung und den begleitenden und Querschnittsaktivitäten, die sich aus der Integration der Produktentwicklung in die betriebliche Prozesslandschaft ergeben. Durch Festlegung der logischen und zeitlichen Abfolge der auftretenden Aktivitäten kann der letztendliche

Produktentwicklungsprozess abgeleitet werden [VDI-2221]. Die dabei auftretenden einzelnen Phasen definieren die zeitliche Zuordnung der Aktivitäten sowie deren Abhängigkeiten zueinander. Durch diese Bildung von Phasen entstehen Muster, welche typischen Entwicklungsvorgängen entsprechen. Beispiele dafür können Iterationen sein, welche dann auftreten, wenn Aktivitäten zeitverschoben wiederholt werden [VDI-2221].

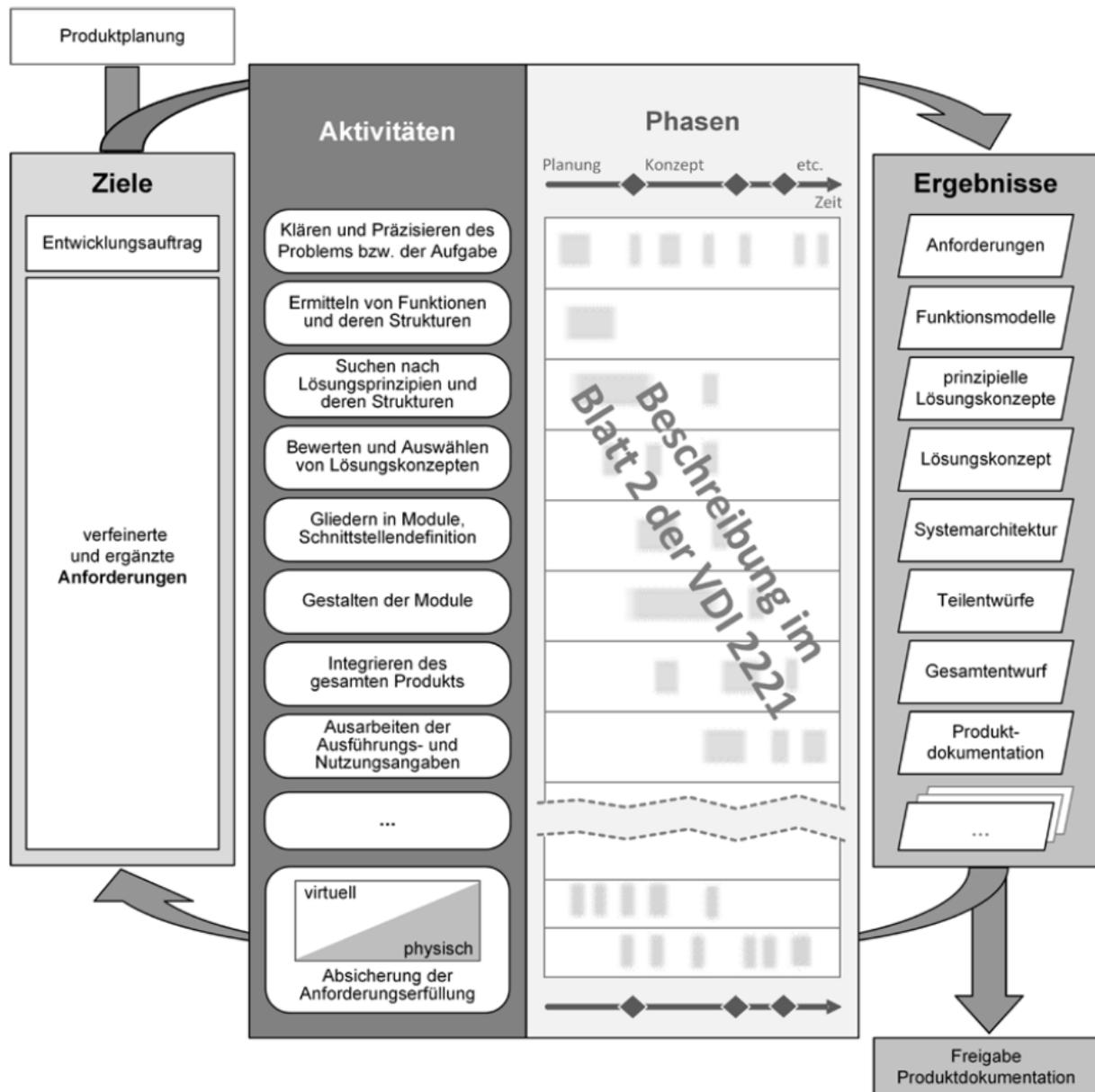


Abbildung 3: Modell des allgemeinen Produktentwicklungsprozess [VDI-2221]

Es ist zu erkennen, dass die [VDI-2221] den Produktentwicklungsprozess von der Planung zur Dokumentenfreigabe definiert. Dabei wird detailliert auf die Aktivitäten innerhalb des allgemeinen sowie von spezifischen (siehe [VDI-2221] Teil 2) Entwicklungsaufgaben eingegangen. Anders als [FeGr-2013] bezieht sich der dargestellte Prozess nicht auf die Phasen nach der Freigabe der Produktdokumentation. Gleichzeitig sind Rückwirkungen von den Ergebnissen zu den

Zielen der Entwicklung dargestellt, welche den Produktentwicklungsprozess als ein iteratives Vorgehen darstellen.

Einen alternativen Ansatz liefert [Meer-1994a]. Die einzelnen Phasen werden hier als Kreislauf betrachtet, welcher durch Iterationen geprägt ist (Abbildung 4).

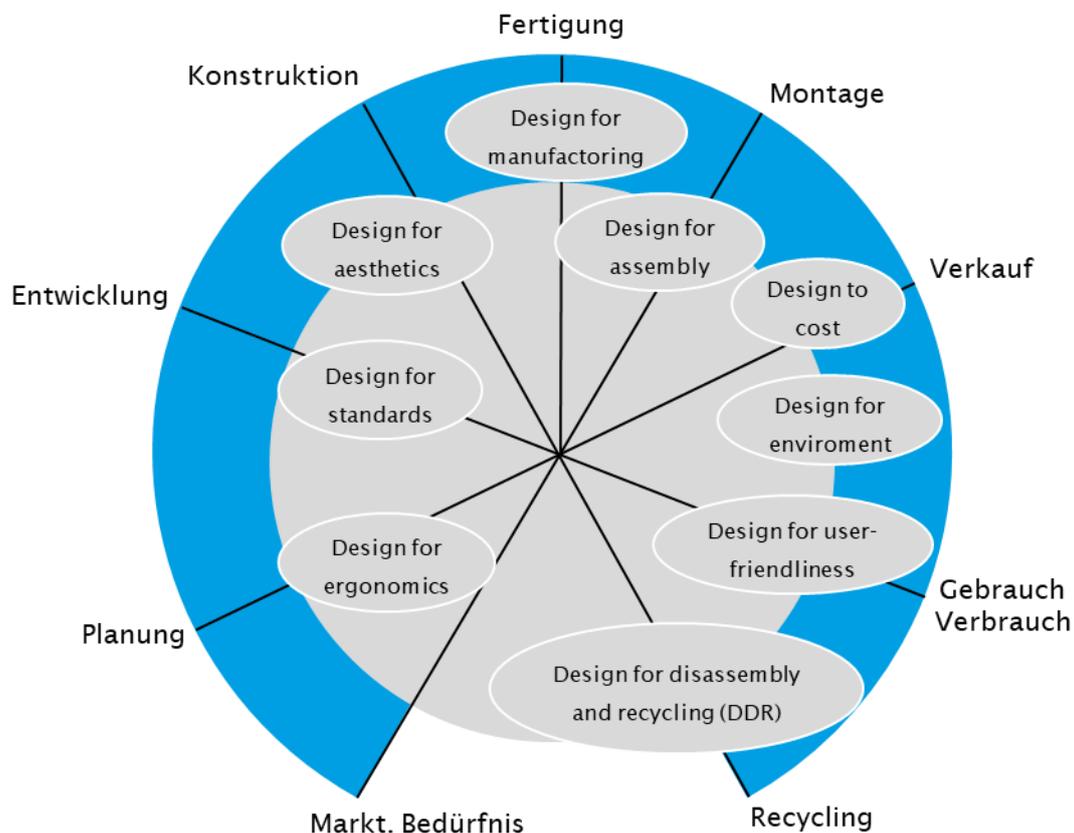


Abbildung 4: Der Produktlebenszyklus zuzüglich der Phasen des Design for X [Meer-1994a]

Weiterhin werden in dem Modell nach Meerkamm Rückflüsse von den der Konstruktion nachgeordneten Bereichen gekennzeichnet. Unter dem Begriff Design for X²¹ [MeKo-2005] wird herausgestellt, dass alle produktrelevanten Entscheidungen für jede Phase des Produktlebenszyklus innerhalb der Konstruktion getroffen werden.

Ein weiteres Modell bietet die Integrierte Produktentwicklung nach Ehrlenspiel, welche die Lösung eines Problems – und somit einer Entwicklung – als iterativen Prozess mit teils rekursiven

²¹ Das Konzept von Design for X fasst alle notwendigen Aufgaben zusammen, um ein Produkt im Hinblick auf die unterschiedlichen Ziele und Einschränkungen, die für dieses Produkt gelten, zu bilden. Es ist definiert als ein allgemeiner Ansatz, Entscheidungen bereits während der Produktentwicklung in Bezug auf Produkte, Prozesse, Produktnutzung und Anlagen zu treffen. Diese Definition kennzeichnet DfX als ganzheitlichen Ansatz, durch den der gesamte Produktentwicklungsprozess beeinflusst wird [MeKo-2005].

Schritten ansieht [EhMe-2017]. Als Grundlage dieses Ansatzes dient das aus dem Forschungsfeld der Kybernetik stammende TOTE-Schema. Dieses basiert auf dem Prinzip, dass Ziele durch Wiederholung der Prozesse „Operation“ und „Evaluation“ verfolgt werden, bis sie zufriedenstellend erreicht werden [MiGP-1960].

Das TOTE-Schema wird aufgegliedert in die Evaluationsphase (Test) und die Handlungsphase (Operate) [MiGa-1991]:

- Test: Der aktuelle Zustand der Lösung wird überprüft, in dem der aktuelle Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand verglichen wird. Das Ergebnis gibt Anweisungen, ob eine Handlungsphase notwendig ist.
- Operate: Der aktuelle Zustand muss auf Grundlage der Anforderungen des Soll-Zustands überarbeitet werden. Dabei können neue Aspekte hinzugefügt, aber auch alte verändert werden.
- Exit: Ist das aktuelle Ergebnis des Ist-Zustands mit dem Soll-Zustand vereinbar, wird der Prozess beendet.

Der grundlegende Ablauf ist in Abbildung 5 abgebildet [MiGa-1991].

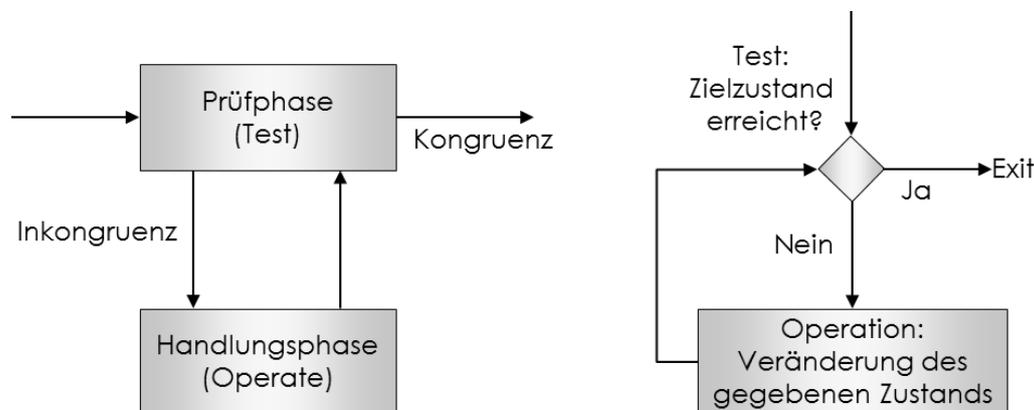


Abbildung 5: Prozessschaubild des TOTE-Schema [MiGa-1991]

Der Übergang der Testphase in einen Entscheidungsprozess wird von Ehrlenspiel als Basis für den technischen Lösungsprozess verwendet und bildet dadurch die grundlegende Vorgehensweise der Problemlösung innerhalb der Produktentwicklung [EhMe-2017]. Bestehend auf diesem Prinzip bildet Ehrlenspiel einen Produktlebenslauf, welcher maßgeblich von rekursiven Einflüssen der späten Produktphasen geprägt ist (Abbildung 6).

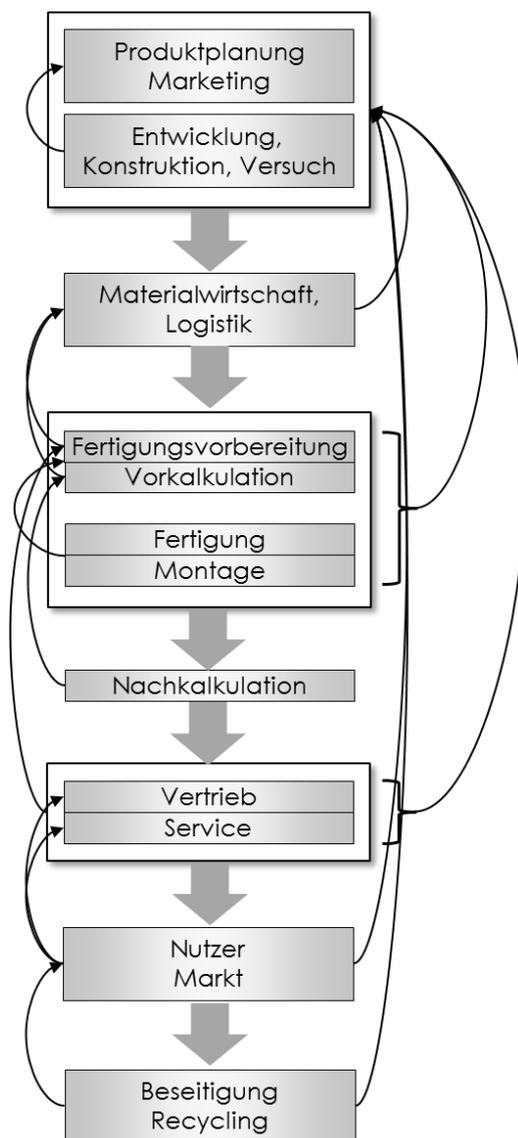


Abbildung 6: Der Produktlebenslauf mit Informationsrückflüssen nach [EhMe-2017]

Der Produktlebenslauf nach Ehrlenspiel ist ein ganzheitlicher Ansatz, bei dem das Produktleben von der Produktplanung über die Entwicklung zur Produktion bis hin zur Entsorgung reicht. Dabei werden im einzelnen Prozesse wie Konstruktion, Test, Vorkalkulation, Montage, Vertrieb, Nutzung und Recycling betrachtet. Zusätzlich werden Informationsrückflüsse genannt, welche maßgeblich Einfluss auf die Entwicklungsphase nehmen. Beispielsweise sind die Rückflüsse, welche von Produktionsplanung bis Recycling erfolgen, entscheidend für die Ziele der Produktentwicklung. Weiterhin ist festzustellen, dass anders als in [FeGr-2013] die Post-Produktionsphasen – von Vertrieb bis Recycling – einen direkt Einfluss auf die Produktentwicklung ausüben. Hierdurch fließen Produkt- und Nutzerinformationen direkt in die Produktentwicklung, wodurch die Bedürfnisse des Nutzers innerhalb eines iterativen Vorgehens der Produktentwicklung mitbetrachtet werden. Nicht nur die Produktplanung und das Marketing geben damit die Vorgaben der zu befriedigenden Nutzerbedürfnisse vor, sondern der Nutzer selbst wird

als zusätzliche Informationsquelle berücksichtigt. Durch diese Änderung rückt die Zentrierung auf die Bedürfnisse des Nutzers mehr in den Fokus der Entwicklung. [EhMe-2017] betont, dass besonders durch die Beachtung der Nutzer- und Produktionsrückkopplung erst kostengünstige sowie marktfähige Produkte geschaffen werden können.

Ein weiterer Ansatz findet sich in [Vajn-2020]. Dort werden die Phasen des Produktlebens als Produktlebenszyklus dargestellt, welche alle Phasen des Produktlebens umfasst und zudem einen geschlossenen Kreislauf bildet, in dem aufbereitete Komponenten des aktuellen Produkts als Grundlagen für die nächste Generation verwendet werden [Schu-2012]. Der komplette Produktlebenszyklus nach [Vajn-2020] ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Der Produktlebenszyklus und seine Aktivitäten [Vajn-2020]

[Vajn-2014] ordnen dem Produktlebenszyklus fünf Hauptphasen zu, welche das Produkt von der Idee bis zur Entsorgung begleiten:

1. Produktplanung
2. Produktentwicklung
3. Produktion
4. Produktnutzung
5. Produktrückführung

Dabei liegt der Fokus auf der Produktentwicklung, welche durch eine Vorverlagerung von Entwicklungsaktivitäten einen wesentlichen Teil der Gesamtkosten der Produktrealisierung verantwortet. Bereits in dieser Phase werden etwa $\frac{3}{4}$ der Gesamtkosten sowie $\frac{2}{3}$ der Entwicklungskosten definiert [Wien-1970].

Einfachheit findet sich als Lösungsweg in verschiedenen Stadien des Produktlebenszyklus immer wieder. Eine Übersicht relevanter Bereiche, in denen die Thematik einfacher Produkte diskutiert wurde, kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Einfachheit im Produktlebenszyklus [PiVS-2018b]

Aktivitäten im Produktlebenszyklus	Autoren
Marketing und Vertrieb	[OlBa-2005]
Marktforschung und Kommunikation	[Robi-2016], [GeJo-2015], [ChLe-2012], [PrDa-2010], [Norm-2013], [Quir-2013]
Produktentwicklung (Konstruktion)	[PBF-2007], [EhMe-2017], [Roth-2000], [Hubk-1984]
Industriedesign	[Zeh-2010], [Schn-2005], [Seeg-2005]
Fertigung	[DoMi-2015]
Teilefertigung und Montage	[WoJR-1992], [PBF-2007]
Wartung und Instandhaltung	[PBF-2007], [EhMe-2017]

Diese Aktivitäten werden voneinander beeinflusst und sind nicht als unabhängig zu bewerten. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Definition der Einfachheit in verschiedenen Stadien des Produktlebenszyklus unter Berücksichtigung des historischen Kontextes und der verschiedenen Gruppen der Produktentwicklung zu klären.

Aufgrund der zahlreichen Forschungen zum Themenkomplex des Produktlebenszyklus, auch bedingt durch die Vielfalt der beteiligten Disziplinen, liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Produktentwicklung²² und der Produktnutzung²³ nach dem Modell des Integrated Design Engineering nach [Vajn-2020] [UrVa-2018].

²² Laut [Vajn-2020] ist die Produktentwicklung der Konstruktion übergeordnet, da sie mehrere Bereiche des Lebenszyklus des Produkts umfasst. Diese Phasen enthalten alle Aktivitäten zur geometrischen, stofflichen und strukturellen Umsetzung und Gestaltung einer Produktidee bis zum ausgearbeiteten Produkt.

²³ Die Produktnutzung ist nach [Vajn-2020] der zeitlich längste Abschnitt im Produktlebenszyklus, in dem die Verwendung des Produkts dem Nutzer den erwarteten Mehrwert liefert.

2.2 Beteiligte Menschen innerhalb des Produktlebenszyklus

Um zwischen Produktentwicklung und Produktnutzung innerhalb des Produktlebenszyklus differenzieren zu können, ist es sinnvoll, eine Unterscheidung der Interessengruppen (Stakeholder) der jeweiligen Bereiche zu tätigen. Bezogen auf den Produktlebenszyklus des Integrated Design Engineerings sind drei verschiedene Gruppen vertreten [Vajn-2020]:

- Der Kunde
- Der Anbieter
- Der Betroffene

2.2.1 Der Kunde

Der Kunde setzt sich aus drei weiteren Gruppen zusammen, die je nach Berührungspunkt mit dem Produkt wechseln. Die Untergruppe *Käufer* kommt dann zum Einsatz, wenn der Kunde entweder ausschließlich oder zusätzlich für den Erwerb des Produktes verantwortlich ist. So kann der Käufer das Produkt erwerben, es aber selbst nicht verwenden bspw. ein Geburtstagsgeschenk. Die zweite Untergruppe bildet der *Sponsor*. Diese Gruppe investiert in die Beschaffung eines Produktes, um damit ihre eigene Botschaft mit dem Produkt zu verknüpfen. Die Gründe hierfür sind weitreichend von Philanthropie bis hin zur Förderung eigener Interessen. Die letzte Untergruppe des Kunden stellt der *Benutzer* (oder auch *Nutzer*) dar. Sie verwendet das Produkt, um Aufgaben zu erfüllen, Bedürfnisse zu befriedigen oder bestimmte Ziele zu erreichen. Die Gruppe der Nutzer wünscht sich ein Produkt, das ihnen dabei hilft, eine bestimmte Aufgabe effizient und effektiv zu erfüllen sowie einfach zu bedienen ist und somit ihre Leistung und Produktivität verbessert. Damit einher geht die Anforderung an die Produktentwicklung, neben den physischen und physiologischen Bedingungen, auch das kognitive Verstehen des Nutzers mit in den Entwicklungsprozess einzubeziehen [Vajn-2020].

2.2.2 Der Anbieter

Der Begriff des Anbieters wird aus der Sicht des Kunden definiert. Für den Kunden gilt der Anbieter als eine anonyme und oftmals nicht transparente Organisation, welche die Produkte herstellt. Als Anbieter gelten Personen und Institutionen, welche bei der Realisierung und Entwicklung des Produktes beteiligt sind sowie mit dem Nutzer bei der Übergabe des Produktes oder bei der Wiederaufnahme innerhalb der Rückführung des Produktes interagieren [Vajn-2020]. Anbieter stellen unter anderem folgende Personen innerhalb des Produktlebenszyklus dar (siehe Tabelle 2) [Vajn-2014].

Tabelle 2: Beteiligte Personen der Gruppe "Anbieter" [Vajn-2014]

Beteiligte Personen	Bedeutung
Entrepreneur	Der Unternehmer trifft die Entscheidung, ob die Entwicklung eines Produktes für sein Unternehmen sinnvoll und gewinnbringend ist.
Produktentwickler	Die Produktentwickler bestehen aus allen Gruppen, die das Produkt von der Idee bis zum Prototypen führen. Das Marketing bestimmen mithilfe von Marktanalysen die Zielmärkte des Produkts. Unter Einbeziehung der Produktion, bestehend aus Fertigern, Prüfern, Logistikern und dem Vertrieb, wird das Produkt schließlich an Käufer und Nutzer ausgeliefert.
Sicherheitsbeauftragter	Sicherheitsbeauftragte prüfen die Produkte auf Einhaltung von geltenden Normen und Regeln der Technik.
Kundendienst und Monteur	Gegebenenfalls muss das Produkt durch den Einsatz von Monteuren und Kundendiensten nach Auslieferung nutzungsfähig gemacht werden. Weiterhin kann eine Ausbildung in der Benutzung des Produktes erfolgen.
Recycler und Entsorger	Diese Gruppen sorgen für die fachgerechte Entsorgung oder Wiederverwertung des Produktes.

2.2.3 Der Betroffene

Der *Betroffene* gehört zum Umfeld des Produktes und interagiert passiv mit dem Produkt. Er kann durch die Nutzung eines Produktes betroffen sein, bspw. durch Lärm- und Geruchsbelästigung. Ziel der Produktentwicklung ist es, den Betroffenen vor negativen Einflüssen zu schützen. Dazu zählen bspw. das Verhindern von kurz- oder langfristigen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit²⁴ sowie den Erhalt des psychischen Zustands²⁵ durch das Verhindern von schädigenden Einflüssen. Hierbei gibt es eine Vielzahl an Beeinträchtigungen [Vajn-2020]:

- Entwicklung und Produktion: Unmittelbare Nähe zum Produktionsstandort, Lärm und Verkehrsstörungen, Störungen des Alltags durch größer werdende Zuzugsgebiete
- Nutzung: Körperliche Schädigung durch unmittelbare Nähe (Rauchen, Abgase), Psychische Belastung durch unmittelbare Nähe (Musikanlagen), Geruchseinwirkungen (Grillen, Parfüm)
- Rückführung: Giftige Abfälle, Falsche Entsorgung (Müll auf der Straße)

2.2.4 Relevante Gruppen

Für die weitere Betrachtung wird sich auf die Sichtweise des Anbieters und die Sichtweise des Kunden fokussiert. Der Anbieter und die Personen, der er abbildet²⁶, sind direkt mit der zunehmenden Komplexität eines Produktes konfrontiert. Ein Bestreben nach Lösungen zur Vereinfachung von Produkten und Prozessen kann innerhalb der Literatur dieser Bereiche wahrgenommen werden (vgl. Tabelle 1). Die Gruppe des Kunden, insbesondere die der Nutzer, sind direkt an der Anwendung des Produktes beteiligt. Die Bedienung des Produktes soll eine effiziente und leichte Handhabbarkeit ausweisen, um somit die Produktivität als auch nutzerbezogene Eigenschaften wie Freude und Emotionen bei der Nutzung mit dem Produkt zu verbessern. Somit ist anzunehmen und im weiteren Verlauf dieser vorliegenden Arbeit zu überprüfen, dass eine gute Bedienbarkeit mit dem Aspekt Produkteinfachheit einhergeht. Somit soll im weiteren Verlauf neben einer zusätzlichen Betrachtung der Gruppe der Anbieter der Fokus der Arbeit auf der

²⁴ Beispielsweise die Abgasbelastung durch den Straßenverkehr.

²⁵ Beispielsweise unfreiwillige Lärmbelästigung durch Produkte Dritter, welche zu erhöhtem Stress und dessen medizinischen Folgen führen kann.

²⁶ Entrepreneur, Produktentwickler, Sicherheitsbeauftragter, Kundendienst und Monteur sowie Recycler und Entsorger

Gruppe der Nutzer liegen. Der Betroffene wird dem Produkt während der Nutzung ausgesetzt. Er hat in der Regel keine direkte Interaktion. Zudem ist für den Beteiligten der optimale Zustand im Nutzungskontext erreicht, wenn die Nutzung keinerlei Einfluss auf ihn hat. Um dieses Ziel zu erreichen, ist für den Betroffenen ein Produkt als einfach anzusehen, wenn er jeglichen Einflüssen des Produktes ohne eigenes Zutun entgehen kann. Aus diesem Grund liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Sichtweise des Nutzers und des Anbieters.

2.3 Humanzentrierte Entwicklung von Produkten

Neben der systematischen Produktentwicklung erfolgt seit Jahren ein Paradigmenwechsel von einem produktzentrierten zu einer humanzentrierten Entwicklung. Bereits in den 1990er-Jahren begann ein Umdenken der Sichtweise von einer Produktentwickler-Perspektive zu einer nutzerzentrierten Perspektive. Der Begriff User-Centered-Design wurde geprägt und die Aufmerksamkeit wurde auf das Design als Schnittstelle zwischen Produkt und Nutzer gelenkt. Damit einher gingen Gestaltungsprinzipien, neue Modelle und Methoden, um dem Nutzer ein einfaches und intuitives Produkterlebnis zu bieten [Norm-2013]. Besonders mit der wachsenden Vielfalt und Häufigkeit von digitalen sowie cyber-physischen Systemen²⁷ [Schu-2014] und der dadurch steigenden Bedienungskomplexität entwickelte sich das Themenfeld schnell in unterschiedliche Forschungsfelder. Einfachheit als Grundregel der Gestaltung durchzieht dabei alle Phasen des Produktlebenszyklus. In diesem Kontext ist es sinnvoll, Grundlagen der nutzerzentrierten Entwicklung von Produkten zu betrachten, um somit den Rahmen der vorliegenden Arbeit zu definieren. In diesem Abschnitt wird eine Übersicht über die für die Beschreibung von Einfachheit relevanten Bereiche der nutzerzentrierten Entwicklung gegeben.

²⁷ Nach [Schu-2014] sind Cyber-physische Systeme (CPS) Objekte, Geräte, Gebäude, Verkehrsmittel sowie Produktionsanlagen und Logistikkomponenten, welche eingebettete, kommunikationsfähige Systeme enthalten. Sie sind über ein Netzwerk mit anderen CPS verbunden und können ihre Umwelt unmittelbar und mit Hilfe von Daten und Diensten auswerten.

2.3.1 Disziplinen nutzerzentrierter Gestaltung

„Ergonomie ist ein wissenschaftlicher Ansatz, damit wir aus diesem Leben die besten Früchte bei der geringsten Anstrengung mit der höchsten Befriedigung für das eigene und für das allgemeine Wohl ziehen“

Jastrzebowski, 1857

Um einen vollständigen Überblick über die verschiedenen Methoden der Produktentwicklung zur Entwicklung von User Experience²⁸ zu erhalten, ist es sinnvoll, zunächst einen Blick auf den Ansatz der traditionellen Produktentwicklung zu werfen. Wird der Produktentwicklungsprozess nach [BeGe-2020] betrachtet, so steht eine methodische Vorgehensweise der Produktentwicklung im Vordergrund. Dort wird die nutzerzentrierte Gestaltung in der Form einer ergonomisch gerechten Konstruktion abgebildet.

Dabei verschob sich der Schwerpunkt der Ergonomie²⁹ in den letzten Jahren von der Gestaltung und Bewertung kraftbetonter Arbeitsaufgaben hin zu informatorischen Arbeiten [BeGe-2020].

Die heutige Ergonomie dient zum einen der Gestaltung und Bewertung von Systemen und zum anderen der Sicherstellung und Förderung der menschlichen Gesundheit und des Wohlbefindens mithilfe von Designgrundlagen und Normen zur Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Leistung und Zugänglichkeit. Dabei verfolgt sie die Zielstellung Aufgaben, Produkte, Werkzeuge, Systeme und Arbeitsumgebungen an die menschlichen Eigenschaften, Bedürfnisse, Wertvorstellungen und deren Einschränkungen anzupassen [DIN EN-26800].

Innerhalb der Ergonomie wird zwischen Arbeitsbelastung, Beanspruchung und Ermüdung einer Aktivität unterschieden. Hierbei umfasst die Belastung alle Wirkungen des Arbeitssystems und deren Umgebung auf den Menschen und kennzeichnet damit von außen wirkende Einflüsse [Schl-2013]. Die Beanspruchung wird durch das Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand und die

²⁸ Nach [BrMc-2001][Hass-2010][Garr-2011, ZhPG-2015] beschreibt User Experience die effiziente, effektive und zufriedenstellende Nutzung sowie die Emotionen, Gefühle und Gedanken des Nutzers vor und nach der Nutzung.

²⁹ Definition der Ergonomie: *„wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkung zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst und der Berufszweig, der Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“* [DIN EN-26800].

Der Begriff der Ergonomie wird gleichzeitig häufig als Synonym des Ergebnisses der Gebrauchstauglichkeit verwendet, anstatt als übergeordnete Disziplin. Dieses Verständnis von Ergonomie als Produkteigenschaft deckt sich laut [Göbe-2004] mit dem der Gebrauchstauglichkeit.

körperliche Verfassung des Beanspruchten beeinflusst. Durch diese kann beim Menschen eine Ermüdung auftreten, die in Abhängigkeit von der Beanspruchungsart, -intensität und -dauer durch Erholung wieder ausgeglichen werden kann. Unter dem Ansatz Design for Ergonomics werden drei ergonomische Aspekte genannt, welche innerhalb der Betrachtung der auftretenden Belastungen zum Tragen kommen (siehe Tabelle 1) [Schl-2013].

Tabelle 3: Die drei Aspekte der Ergonomie nach [ScLB-2010]

Ergonomische Aspekte	Beschreibung
Biomechanisch	Definiert durch die Dimensionen des menschlichen Körpers und der damit einhergehenden Fähigkeiten- und Belastungsgrenzen. Anwendung: Arbeitsplatzgestaltung, Definition von Sicherheitsmaßnahmen, Definition von physikalischen Kräften für die Benutzung
Energetisch	Definiert durch die physiologische Struktur des menschlichen Körpers. Anwendung: maximale Kräfte, Erschöpfung, Temperatur, Strahlung
Informatorisch	Definiert über die menschliche Verarbeitung von Informationen. Anwendung: Erkennung und Identifizierung der Signalbedeutung. Reduzierung der Informationsbelastung.

Ziel des Ansatzes Design for Ergonomics ist es, Belastung und Beanspruchung des Benutzers so gering wie möglich zu halten. Es bezieht sich auf ergonomische Methoden, die sich auf zu- meist objektive Kriterien³⁰, aber auch teils subjektive Kriterien³¹ konzentrieren [ScLB-2010]. Das Ziel ist die Anpassung des Produkts an den Menschen sowie die Definition der notwendigen Qualifikationen des Nutzers.

³⁰ Beispiele hierfür sind epidemiologische Kriterien (tätigkeitsspezifische Risikofaktoren), physiologische Kriterien (Temperaturgrenzwerte) oder biomechanische Kriterien (Belastungsgrenzwerte des menschlichen Skeletts) [ScLB-2010].

³¹ Beispiele hierfür sind psychophysikalische Kriterien (subjektive Einschätzung des Menschen über die Erträglichkeit und Zumutbarkeit der Durchführung der Tätigkeit) [ScLB-2010].

Als Ergänzung zur Ergonomie entstand in den 90er-Jahren der Begriff der Gebrauchstauglichkeit³² (eng. Usability) [ScLB-2010]. Dessen Definition bezog sich zunächst auf die Beschreibung von Dialogsystemen, welche dann als gebrauchstauglich einzustufen waren, wenn:

„...es den Benutzer durch vielfältige Anwendungsmöglichkeiten von Routinearbeit entlastet und ihm – bei hoher Verfügbarkeit – in der Interaktion am Bildschirm seiner Erfahrung und Geübtheit angemessene Freiheitsgrade für unterschiedliche Vorgehensweisen gewährt, ohne ihm dadurch neue Routinearbeit und komplizierte Bedienungsoperationen aufzubürden“ [SpWS-1990].

In Erweiterung der nahezu ausschließlichen Orientierung auf Funktionalität der Definition von Gebrauchstauglichkeit werden heutzutage verstärkt Aspekte der Nutzerzentrierung berücksichtigt [ScLB-2010]. Heutzutage geht das Konzept der Gebrauchstauglichkeit dahingegen noch einen Schritt weiter und setzt neben einer belastungs- und beanspruchungsfreien Nutzung die drei Kennwerte Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung des Nutzers in den Kontext der Bedienung.

³² Manchmal auch als Benutzungsfreundlichkeit übersetzt [ScLB-2010].

Definiert werden diese Kennwerte in der [EN ISO-9241-11], welche das Konzept der Gebrauchstauglichkeit beschreibt:

- *Effektivität*³³ bezeichnet die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der der Nutzer ein bestimmtes Ziel erreicht.
- *Effizienz*³⁴ bezeichnet den Aufwand in Bezug auf Genauigkeit und Vollständigkeit, mit dem der Nutzer ein bestimmtes Ziel erreicht.
- *Zufriedenstellung*³⁵ bedeutet Fehlerfreiheit und eine positive Einstellung gegenüber der Verwendung des Produkts.

Die Gebrauchstauglichkeit ist keine eigenständige Disziplin im Vergleich zur Ergonomie, sondern sie beschreibt die Qualität des Produktes in Hinblick auf den Nutzungsprozess aus der Sichtweise des Nutzers. Sie wird als Konzept der Ergonomie und gleichwohl als Ziel der Gestaltung nach den Erkenntnissen dieser definiert [Zeh-2010]. Somit ist die Gebrauchstauglichkeit keine reine Produkteigenschaft, sondern eine Eigenschaft der Interaktion des Menschen mit dem Produkt innerhalb eines bestimmten Kontextes [ScLB-2010]. Dies zeigt, dass Produkte zwar mit einem hohen funktionalen Nutzen gestaltet werden können, eine mangelnde Gebrauchstauglichkeit jedoch die Zufriedenheit beeinträchtigt [DiHa-2017]. Nach [Göbe-2004] wird die Gebrauchstauglichkeit eines Produkts an der Differenz zwischen potenzieller Nützlichkeit und realer Nutzbarkeit gemessen. Sie ist defizitorientiert. Dies bedeutet, dass die Güte der Gebrauchstauglichkeit immer in Abhängigkeit ihres möglichen Leistungsvermögens (bezogen auf die Nutzung) und dem realen Leistungsvermögen, welches der Nutzer abrufen kann, steht. Ein Produkt mit optimaler Gebrauchstauglichkeit ist ein Produkt, das keine ergonomischen Mängel aufweist und somit eine effektive, effiziente und zufriedenstellende Verwendung des gesamten Leistungsumfangs ermöglicht. Diese Ergebnisse werden durch die Fokussierung auf den relevanten Benutzer, seine Umgebung, Ziele, Aufgaben und Ressourcen bei der Entwicklung eines Systems, Produkts oder einer Dienstleistung erzielt (Abbildung 8). Darüber hinaus

³³ Effektivitätsmaße setzen (Teil-) Ziele des Nutzers ins Verhältnis zur Genauigkeit oder Vollständigkeit, mit der diese Ziele erreicht werden [EN ISO-9241-11].

³⁴ Effizienzmaße setzen Effektivitätsmaße ins Verhältnis zum dafür notwendigen Ressourcenaufwand [EN ISO-9241-11].

³⁵ Zufriedenstellungsmaße beschreiben das Ausmaß, in dem Benutzer von Beeinträchtigung frei sind, und die Einstellung des Benutzers zum Produkt [EN ISO-9241-11].

gibt es noch weitere Ergebnisse der Nutzung, wie die resultierenden Emotionen, Zugänglichkeit und Sicherheit, welche durch diese Größen beeinflusst werden [EN ISO-9241-11].

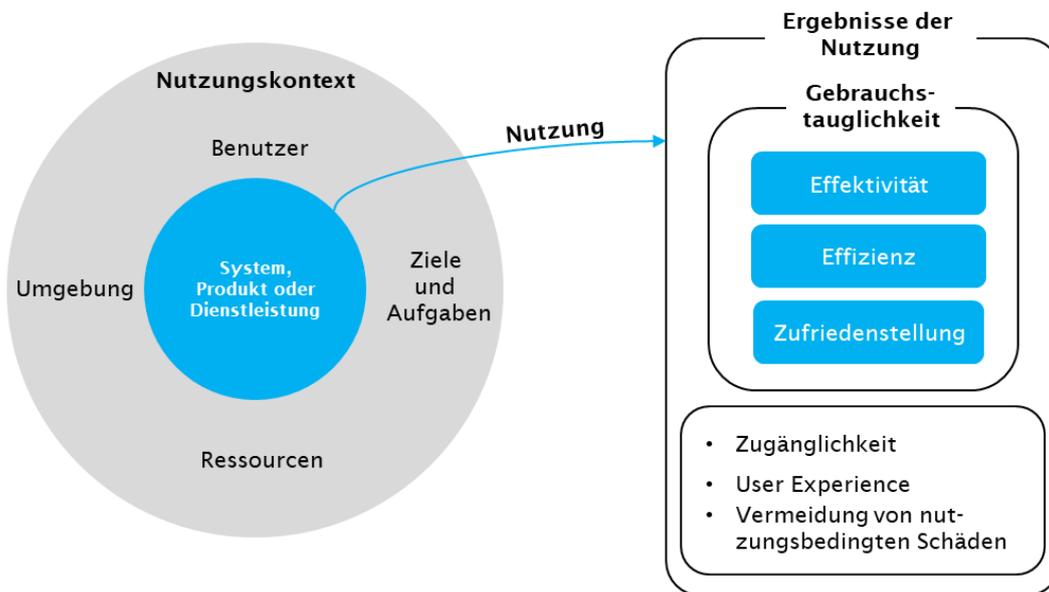


Abbildung 8: Gebrauchstauglichkeit der Nutzung eines Systems [EN ISO-9241-11]

Zur Unterstützung dieses Konzepts der Gebrauchstauglichkeit stellt die DIN ISO 9241-11 die in Tabelle 2 genannten Prinzipien für die Gestaltung von nutzbaren Produkten zur Verfügung.

Tabelle 4: Grundsätze der Dialoggestaltung [EN ISO-9241-11]

Prinzipien der Dialoggestaltung	Definition und Inhalt
Aufgabenangemessenheit	Auswahl einer geeigneten Funktionalität und Minimierung von nicht notwendigen Interaktionen.
Selbstbeschreibungsfähigkeit	Erreichen von Verständlichkeit durch Hilfen und Rückmeldungen.
Lernförderlichkeit	Verwendung geeigneter Metaphern, um eine minimale Lernzeit zu erreichen.
Steuerbarkeit	Effektive und effiziente Steuerung des Dialogs durch den Benutzer.
Erwartungskonformität	Dauerhafte konsistente Bedienung mithilfe einer Anpassung an das Benutzermodell.
Individualisierbarkeit	Anpassungsmöglichkeiten an den Benutzer und an seinen Arbeitskontext.
Fehlertoleranz	Erhaltung der Funktionsweise auch bei unvorhergesehenen Fehlern.
Informationsdarstellung	Klarheit, Kompaktheit, Erkennbarkeit, Unterscheidbarkeit, Konsistenz, Lesbarkeit, Verständlichkeit

Diese Grundsätze sind als Entwicklung von einer technologisch fokussierten Sichtweise, welche sich nur auf die technisch orientierte Sicht der Ergonomie bezieht, zur psychologisch orientierten zu verstehen [PWVS-2018]. Kennzeichen dafür sind, dass nicht ausschließlich die Beanspruchung und Belastung, welche bei der Nutzung eines Produktes auftritt, betrachtet wird, sondern zusätzlich auf den individuellen Bedürfnissen des einzelnen Nutzers, hinsichtlich seiner kognitiven Fähigkeiten und Kenntnisse, eingeht. Der Fokus liegt jedoch in erster Linie auf den grundlegenden Prozessen der Wahrnehmung und Kognition [DiHa-2017]. Ihre Verwendung ermöglicht eine intuitive Bedienung, die hauptsächlich durch einen nutzerzentrierten Entwicklungsansatz erreicht wird. Das Produkt ist so konzipiert, dass es aufgrund seiner Selbstbeschreibungsfähigkeit, Lernfähigkeit und Erwartungskonformität leicht zu erlernen ist. Es besitzt eine hohe Fehlertoleranz, kann auf verschiedene Bedürfnisse des Nutzers angepasst werden und ist für sein Leistungsvermögen für seine jeweilige Aufgabe angemessen [Robi-2016]. Damit fokussiert die Gebrauchstauglichkeit jedoch ausschließlich die Bedürfnisse des Nutzers innerhalb der Phase der Nutzung. Eine Betrachtung des Nutzers vor und nach der Nutzung erfolgt nicht.

Um diesem Defizit entgegenzuwirken³⁶, wird das Modell der User Experience³⁶ (UX) in Verbindung mit einer nutzerzentrierten Gestaltung häufig diskutiert [BrMc-2001][Hass-2010][Garr-2011, ZhPG-2015, WaPa-2020]. Dazu gehört der Benutzer mit seinen funktionalen und emotionalen Bedürfnissen, die über die Eigenschaften der objektiven Effektivität und Effizienz hinausgehen, sowie alle Auswirkungen, die ein Produkt bereits vor und nach der Anwendung auf den Benutzer hat.

User Experience ist die Erweiterung der rein nutzungsorientierten und defizitorientierten Gebrauchstauglichkeit. Ziel der Gebrauchstauglichkeit ist es, für den Nutzer eine angemessene Bedienung zu gewährleisten. Dabei wird ausschließlich der Prozess der Nutzung fokussiert. Merkmale der Usability sind dabei eine effiziente, effektive und zufriedenstellende Bedienung [DIN EN-9241-210]. Das Modell der User Experience setzt den Kontext der Betrachtung weiter und nimmt neben der eigentlichen Nutzung alle Einflüsse des Produktes auf den Nutzer sowohl vor als auch nach der Nutzung auf. Hierbei ist das Ziel, Erfahrungen, Kenntnisse und Emotionen des Nutzers mit dem Produkt bereits in der Entwicklung zu erfassen und in den kompletten Interaktionsprozess mit dem Produkt aktiv einfließen zu lassen [Quir-2013, Gros-2013]. Um

³⁶ User Experience wird nach [DIN EN-9241-210] als die Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren, definiert.

diese Informationen zu erhalten ist es sinnvoll den Nutzer bereits während der Entwicklung iterativ mit einzubeziehen, um sowohl in den frühen Phasen über Markt- und Zielgruppen Analysen als auch mittels Prototypen über sog. Usability Tests Erkenntnisse über diese Größen zu erhalten.

Da der Fokus auf Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit im Rahmen der Produktentwicklung nicht mehr ausreicht, um die Bedürfnisse der Anwender im Produktdesign adäquat zu erfüllen, wurde 2010 das Konzept der User Experience in der DIN EN ISO 9241-210:2010 "Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210" definiert (Abbildung 9) [DIN EN-9241-210].

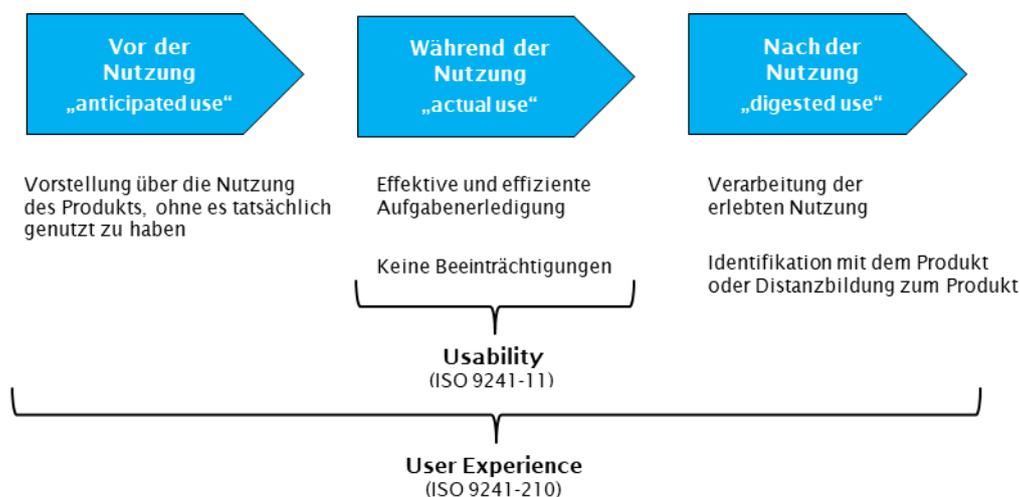


Abbildung 9: Verhältnis der Usability zur User Experience nach [GeJo-2015]

Im Jahr 2011 wurde die deutsche Fassung der DIN ISO 9410-210, welche die Ergonomie der Mensch-System-Interaktion beschreibt, von *benutzerorientierter Gestaltung* zu *menschenzentrierter Gestaltung* umbenannt. Dies hat den Grund, dass neben dem Nutzer weitere Stakeholder wie bspw. Käufer oder Anbieter, essenzielle Grundlage³⁷ für den Gestaltungsprozess bilden. Diese werden innerhalb eines Human-centered Designs in alle Phasen der Produktentwicklung mit einbezogen. Die Wahrnehmungen, Emotionen, Erwartungen und Reaktionen, die sich aus der Nutzung eines Produkts ergeben, sind klar fokussiert: Das Entwickeln von Produkten basiert auf einem expliziten Verständnis von Benutzern, Aufgaben und Umgebungen. Die Nutzer werden während der gesamten Entwicklung mit in den Entwicklungsprozess einbezogen, wodurch die Produktgestalt sowie dessen Nutzung durch eine benutzerorientierte Evaluation gebildet und verfeinert wird. Dieser Prozess ist iterativ, die Produktgestalt richtet sich an die gesamte

³⁷ Nutzer und Käufer sind bspw. nicht automatisch dieselbe Person, sodass Produkte, welche am Markt bestehen sollen, auch den Käufer und seine Ansprüche mit betrachten müssen.

Benutzererfahrung und das Entwicklerteam umfasst multidisziplinäre Fähigkeiten und Perspektiven [DIN EN-9241-210].

Neben dieser Beschreibung der User Experience existiert eine Vielzahl weiterer Definitionen. Es wurde zu einer Art „Buzzword“ entwickelt, dessen Verwendung oftmals auch außerhalb seiner eigentlichen Definition Anwendung findet [PWVS-2018]. Eine häufig verwendete Definition der User Experience wird über zwei geteilte Säulen definiert (Abbildung 10). Die erste Säule nimmt die oben beschriebene Gebrauchstauglichkeit als Teil der pragmatischen Qualitäten³⁸ ein, die eine einfache und intuitive Bedienbarkeit gewährleisten. Die zweite Säule wird durch die hedonischen Qualitäten³⁹ beschrieben, die als Ziel die persönliche Entwicklung und Verbesserung der Fähigkeiten hat sowie die Identifikation mittels eines Produktes zur Ausstrahlung eines bestimmten Bildes gegenüber seines Umfelds darstellt [BuHK-2002].

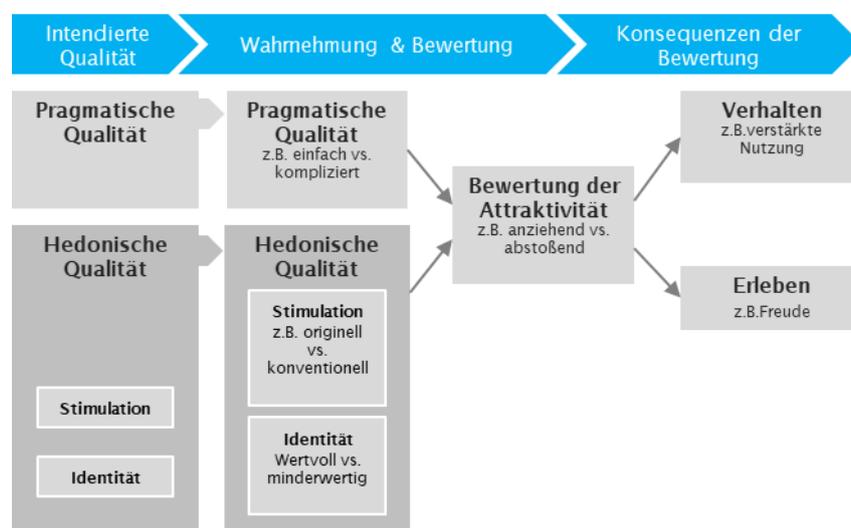


Abbildung 10: Die Säulen der User Experience nach [BuHK-2002]

Die pragmatische Qualität ist analog zur Gebrauchstauglichkeit definiert und wird ebenso über eine effektive und effiziente Nutzung beschrieben. Sie ist bspw. von dem Grad der Einfachheit der Wahrnehmung abhängig. Die hedonische Qualität sorgt für eine angenehme und freudige Nutzung und geht über die Gebrauchstauglichkeit hinaus. Sie ist von der Stimulation und der

³⁸ Die pragmatische Qualität bezieht sich auf die wahrgenommene Nützlichkeit (d.h. Nutzen und Gebrauchstauglichkeit) eines interaktiven Produktes. Sie spricht die menschlichen Bedürfnisse nach Sicherheit, Kontrolle und Vertrauen an [BuHK-2002].

³⁹ Die hedonische Qualität dagegen bezieht sich auf die Wahrnehmung nicht zielorientierter Qualitätseigenschaften, wie beispielsweise „innovativ“, „originell“, „aufregend“ oder „exklusiv“. Sie spricht die menschlichen Bedürfnisse nach Neugier und Stolz (d.h. sozialer Vergleich) an [BuHK-2002].

Identität des Produkts abhängig. Bei der Produkt Nutzung wird vom Nutzer zuerst für beide Qualitäten eine Güte intendiert, woraufhin diese Intention mittels der eigentlichen Wahrnehmung des Produktes überprüft wird. Durch das Zusammenspiel dieser Qualitäten entsteht die Attraktivität des Produkts, woraus das Verhalten des Nutzers gegenüber dem Produkt und das Produkterlebnis definiert wird [BuHK-2002]. Dabei trennt das Modell aus Abbildung 10 drei wesentliche Aspekte:

1. Objektive Produktqualität

Der Entwickler intendiert mit der Gestaltung des Produktes eine bestimmte Produktqualität. Es ergibt sich gewollt oder ungewollt eine spezifische Kombination pragmatischer und hedonischer Qualitäten. Beispielsweise wird eine bestimmte Benutzungsoberfläche gewählt, um das Produkt zum einen übersichtlich (pragmatische Qualität) und zum anderen innovativ (hedonische Qualität) wirken zu lassen.

2. Subjektive Qualitätswahrnehmung und -bewertung

Der Nutzer nimmt die Qualitäten des Produktes wahr und evaluiert diese auf der Grundlage seiner Wahrnehmung. Hierbei sind Produktwahrnehmung und Produktbewertung voneinander zu unterscheiden. So kann ein Produkt als einfach wahrgenommen werden, jedoch gleichzeitig nicht vom Nutzer geschätzt werden. Beide Qualitäten werden vom Nutzer zusammengefasst und resultieren in einer Bewertung der Attraktivität.

3. Verhaltens- und emotionale Konsequenzen

Aus der Bewertung der Attraktivität des Produktes folgen zwei Konsequenzen. Zum einen tritt eine Verhaltenskonsequenz in Kraft, welche das Produkt und dessen Nutzung betrifft. So kann eine positive Bewertung des Produktes zu einer verstärkten Nutzung führen. Gleichzeitig werden emotionale Konsequenzen ausgelöst. Beispiele hierfür sind Emotionen wie Freude und Zufriedenheit, aber auch Ärger und Frust.

Somit kann die (empfundene) User Experience eines Produktes sich aufgrund des Kontextes verändern, obwohl das Produkt sich nicht verändert [RLVH-2011]. Ändern sich die Umstände des Nutzers (ist er bspw. gestresst) kann die Produktwahrnehmung anders ausfallen als bei einer entspannten Grundstimmung. Das Konzept von User Experience wird als ganzheitlich, subjektiv, situativ, dynamisch und positiv charakterisiert [Hass-2008]. Der Mensch nimmt das Produkt sowohl über dessen praktischen Merkmale als auch seine ästhetische Stimulation sowie seine emotionale Verbindung zu den Produkten wahr. In Abbildung 10 ist erkenntlich, dass [BuHK-

2002] besonders die Eigenschaften der einfachen bzw. komplizierten Bedienung der pragmatischen Qualität zuordnen.

Nach [WaPa-2018, PWVS-2018, WaPa-2020] finden sich eine Reihe weiterer Modelle und Definitionen der User Experience innerhalb der Literatur [Hass-2010, ThMa-2007, ZhPG-2015, Garr-2011, Norm-2004], welche jedoch keine einheitliche Definition anbieten. Die Ziele der User Experience sind es, sich damit zu befassen, wie Nutzer interaktive Produkte aus ihrer Perspektive erleben, anstatt zu beurteilen, wie nützlich Produkte aus der eigenen Perspektive sind [Pree-2002]. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Perspektive des Nutzers in den Produktentwicklungsprozess zu integrieren. Im Zuge der in diesem Abschnitt thematisierten Weiterentwicklung von Usability zur User Experience und dem steigenden Bewusstsein für nutzerzentrierte Produkte innerhalb der Entwicklung entstanden mehrere Standards zur systematischen Generierung nutzerfreundlicher Produkte. Im Folgenden werden zwei aus dieser Bewegung heraus entstandene Modelle diskutiert.

2.3.2 Human-centered Design

Das Human-centered Design ist eine Methode, welche den Menschen über den kompletten Entwicklungsverlauf in den Mittelpunkt setzt, um sicherzustellen, dass die Produkte tatsächlich relevant und vorteilhaft – auch für einen längeren Zeitraum – für die Menschen sind, denen sie dienen sollen [Lind-2013, WaPa-2020]. Human-centered Design hat nicht nur das Ziel, Produkte nutzerfreundlicher zu gestalten, sondern gleichwohl zu verdeutlichen, wie Produkte es erreichen können, die gesamte Lebenssituation des Menschen zu verbessern [Lind-2013, WaPa-2018].

Laut [Krip-2004] ist Design unter diesem Verständnis, anders als die im Abschnitt 2.1 beschriebenen „klassische Produktentwicklung“ nicht objektzentriert, sondern auf einen gänzlich dauerhaften Austausch mit der Zielgruppe des Produktes ausgerichtet. Das Ziel ist nicht die „explanations of human experience in terms of external causes“ [Lind-2013] und die damit einhergehende Abstraktion der Nutzer Bedürfnisse auf Funktionsgleichungen. Daraus resultiert, dass Produktentwicklung nicht mehr ausschließlich für Nutzer, sondern vor allem partizipativ mit Nutzern stattfindet, wodurch Auswirkungen auf den Design-Prozess resultieren. Human-centered Design wird nicht als Problemlösungsdisziplin, sondern als Schnittstellendisziplin betrachtet [Krip-2004]. Sie wird innerhalb der [DIN EN-9241-210] definiert und zeigt ein iteratives Vorgehen, welches aus vier Primär-Phasen besteht (Abbildung 11).

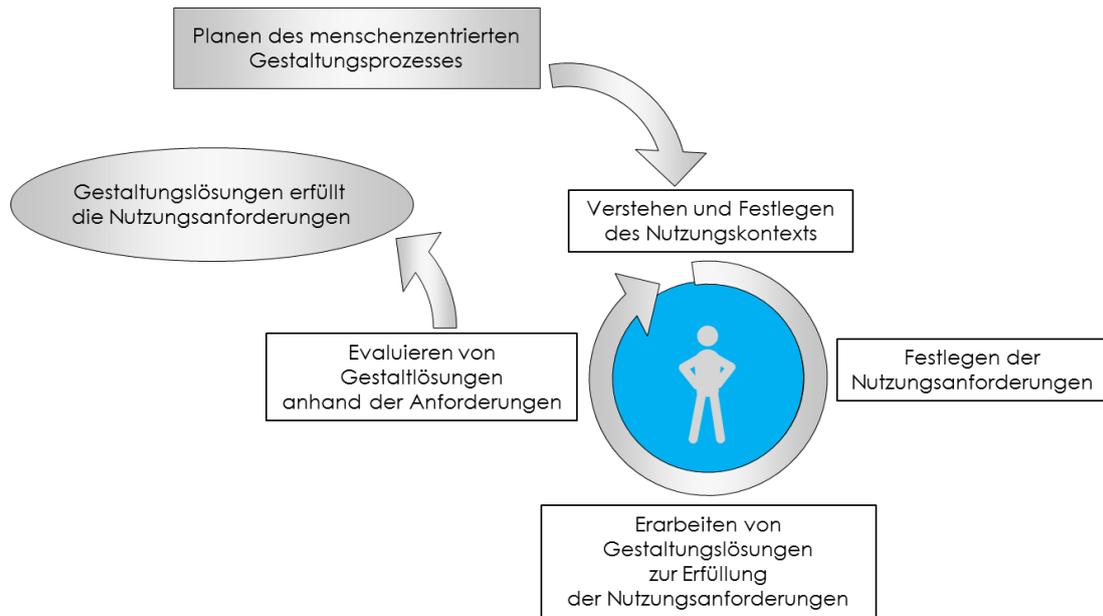


Abbildung 11: Vorgehensweisen des Human-centered Designs [DIN EN-9241-210]

Primär sind die Phasen durch das Verstehen des Nutzungskontextes, das Definieren der Anforderungen, die Lösungsbildung sowie deren Evaluation gekennzeichnet. Dabei wird dieser Prozess iterativ wiederholt, bis die evaluierten Ergebnisse den entsprechenden Qualitätsgehalt gegenüber der Nutzeranforderungen aufzeigen.

Tabelle 5: Vorgehensweisen des Human-centered Designs [DIN EN-9241-210]

Aufgaben	Definition und Inhalt
Verstehen und Festlegen des Nutzerkontextes	Die Benutzungsmerkmale, Arbeitsaufgaben und die organisatorische, technische und physische Umgebung bestimmen den Kontext, in dem das System verwendet wird. Der Nutzerkontext muss enthalten: die Interessengruppe, die Merkmale der Interessengruppe, Ziele und Arbeitsaufgaben sowie die Umgebung des Systems.
Festlegen der Nutzeranforderungen	Basis für die Bewertung der Gestaltungslösungen sind die Nutzeranforderungen, welche in Verbindung mit den Spezifikationen des Gesamtsystems erfasst und entwickelt werden. Sie beschreiben den Nutzungskontext, ergonomische Anforderungen, Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit sowie organisatorische Anforderungen.
Erarbeiten von Gestaltungslösungen	Die Gestaltungslösung hat den stärksten Einfluss auf die User Experience des Nutzers. Sie fokussiert konzeptionell die Benutzeraufgabe und Benutzungsschnittstelle und konkretisiert diese in Form von Szenarien, Simulationen und Prototypen.

Aufgaben	Definition und Inhalt
Humanzentriertes Evaluieren von Gestaltungslösungen	Bereits in den frühen Phasen der Entwicklung werden Gestaltungskonzepte überprüft und bewertet. Diese erfolgen oftmals indirekt aus der Perspektive des Nutzers durch Nachbildung des Nutzungskontextes.

Das Ziel des Human-centered Designs ist es unter anderem, eine intuitive und einfache Mensch-Produkt-Schnittstelle sicherzustellen und damit ein hohes Maß an User Experience und somit Usability zu erzeugen. Die dabei angewandten Normen [DIN EN-9241-210, EN ISO-9241-11] sind sehr offen und können generisch auf jedes Problem angewendet werden. Aufgrund der rasanten Entwicklung solcher Systeme liegen diese Normen jedoch oft hinter den aktuellen Erkenntnissen zurück. Aus diesem Grund werden Richtlinien [PrDa-2010, NiMo-1992, MoNi-1990, Quir-2013, Garr-2011] angewendet, die das Produkt in ihren Anwendungskontext stellen und entsprechende Gestaltungsempfehlungen geben. Noch detaillierter sind sogenannte Style Guides⁴⁰, die Unternehmen erstellen, um ein einheitliches Erscheinungsbild und Interaktion zu gewährleisten [Hein-2004]. Somit verweisen beim Human-centered Design [PrDa-2010] die Entwickler auf das Gestaltungswissen der Human-Computer-Interaktion und der zugrunde liegenden Prinzipien und Styleguides.

2.4 Nutzerzentrierte Entwicklung im Kontext einfacher Produkte

Unter Einbeziehung der hier vorgestellten Entwicklungsdisziplinen und deren Modelle ist erkenntlich, dass bei der Betrachtung des Nutzers und dessen Produktnutzung teils mehrere unterschiedliche Sichtweisen mit einbezogen werden müssen. Während die Disziplin der Ergonomie den Fokus auf die Sicherstellung der körperlichen und geistigen Unversehrtheit des Nutzers im Kontext von Beanspruchungs- und Belastungsgrenzen fokussiert, ist es Ziel der Gebrauchstauglichkeit zusätzlich, eine zufriedenstellende Nutzung zu gewährleisten. Das Konzept der User Experience geht dabei noch einen Schritt weiter und setzt die Produktnutzung in den Kontext des Nutzers, um somit dessen Umfeld, seinen Kenntnissen sowie Erwartungen an das Produkt in die Betrachtung des Produkterlebnisses mit einzubeziehen.

⁴⁰ Beispiele hierfür sind die Richtlinien nach [NiMo-1992] und [PrDa-2010], die auf der Grundlage der Prinzipien der [DIN EN-9241-210] entwickelt wurden. In diesen Richtlinien finden sich Aspekte Gestaltung der Schnittstelle, der Wahrnehmungspsychologie und der Gebrauchstauglichkeit.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen dieser Dissertation, insbesondere inwiefern Einfachheit unter der Betrachtung der verschiedenen Gruppen des Produktlebenszyklus zu bewerten ist, muss überprüft werden, inwieweit die Wahrnehmung von Einfachheit innerhalb der Nutzung gebildet wird. Möglicherweise wird sie durch das Vermeiden von Belastungsgrenzen im Sinne der Ergonomie gebildet oder ist ein Nebenresultat einer gebrauchstauglichen Bedienung. Gleichwohl kann sie ein Teil der subjektiven Qualitätswahrnehmung des Nutzers nach dem Modell der User Experience sein, welche erst durch ein Zusammenspiel von objektiven pragmatischen Qualitäten und subjektiven hedonischen Qualitäten des Produktes sowie den Einstellungen und Erfahrungen des Nutzers gegenüber dem Produkt gebildet wird. Zur Beantwortung dieser Frage beschreibt das folgende Kapitel die unterschiedlichen Darstellungen und Definitionen von Einfachheit im Produktkontext und geht dabei auf die in Abschnitt 2.2.4 genannten relevanten Gruppen ein.

3. Einfache Produkte

Einfache Lösungen und Erklärungen haben immer Vorteile gegenüber komplexen Ansätzen. Menschen neigen dazu, eine komplexe Lösung abzulehnen, wenn eine einfache Lösung die gleichen Ergebnisse erzielt [Char-1997]. Ockhams Rasiermesser [JeBe-1992] ist ein weitverbreitetes Forschungsprinzip, auch bekannt als das ökonomische Prinzip. Darin heißt es, dass die einfachste Erklärung gegenüber mehreren möglichen Erklärungen für die gleichen Fakten zu bevorzugen ist. Die Einfachheit bietet mehrere Vorteile im Umgang mit Produkten, Prozessen und Dienstleistungen [BrHS-2013]:

- Schnelles und besseres Verständnis des Produktkontextes, was zu einem schnellen Erlernen der Anwendungsmöglichkeiten des Produkts führt.
- Reduzierung der Wahrscheinlichkeit von Bedienungsfehlern zur Steigerung der Benutzerzufriedenheit.
- Eine schnellere Kaufentscheidung für einfache Dienstleistungen und Produkte⁴¹.
- Entwicklung und Implementierung eines einfachen Produkts können von einfachen Prozessen profitieren und so schneller zu Ergebnissen führen.

Trotz dieser vielen Vorteile ist Einfachheit oft unterschiedlich oder gar nicht definiert. Das Erzielen von Einfachheit als mögliche Lösungsstrategie lässt sich in vielen Aspekten des Produktlebenszyklus feststellen. Diese einzelnen Phasen werden voneinander beeinflusst und nicht als unabhängig eingestuft. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Definition der Einfachheit über die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus (nach [Vajn-2020]) unter Berücksichtigung des historischen Kontextes und der verschiedenen Gruppen der Produktentwicklung festzulegen. Eine Übersicht dieser Gruppen wurde in Abschnitt 2.2 gegeben.

Möglicherweise ist Einfachheit eine einzelne Eigenschaft oder setzt sich aus mehreren "lokalen" (z.B. komponentenbezogenen) Definitionen zusammen, die miteinander verbunden sind und sich sogar gegenseitig beeinflussen können. Darüber hinaus muss geklärt werden, wie Einfachheit erreicht werden kann und mit Hilfe welcher Einflussgrößen. Diese Arbeit beschäftigt sich mit Einfachheit als Eigenschaft von Produkten, die über den gesamten Produktlebenszyklus

⁴¹ Suggestiert ein Produkt eine einfache Bedienung, dient dies als Kaufargument, da somit das Leistungsvermögen des Produktes effizient abgerufen werden kann (bestenfalls ohne die Verwendung von Bedienungsanleitungen o.ä.)

hinweg betrachtet werden muss. Das bedeutet, dass sich ein einfaches Produkt nicht nur auf die Wahrnehmung oder die Nutzung beschränkt, sondern auch (aber nicht ausschließlich) auf Funktionalität, Design, Herstellung, Wartung und Entsorgung. Im Folgenden Kapitel wird auf Grundlage verschiedener Beschreibungen von Produkteinfachheit innerhalb verschiedener Phasen des Produktlebenszyklus eine für diese Arbeit allgemeingültige Definition von Produkteinfachheit gebildet.

3.1 Definition von Einfachheit und Komplexität

Im Duden wird der Begriff „Einfachheit“ mit einfacher Gestaltung, Handhabbarkeit, Durchführung und Unkompliziertheit beschrieben sowie zusätzlich – im weiteren Sinn – als einfache Art, Schlichtheit und Bescheidenheit. Meistgenutzte Synonyme für Einfachheit sind Klarheit, Leichtigkeit, Primitivität, Unkompliziertheit, Verständlichkeit und Simplizität [Dude-2021a]. Im englischen Sprachraum wird die Übersetzung „Simplicity“ enger gefasst. Ihre Bedeutung ist vorrangig der Zustand, die Qualität oder eine Instanz, dass etwas einfach ist [Dict-2021]. Zusätzlich wird im deutschen Sprachgebrauch als direktes Gegenteil von Komplexität und Schwierigkeit verstanden [Gege-2021]. Bei der Definition von Einfachheit werden die Begriffe "Kompliziertheit" und "Komplexität" oft im Zusammenhang erwähnt.

3.2 Generelle Definitionen von Einfachheit

Bezogen auf eine allgemeine Definition der Einfachheit gibt es in der Literatur mehrere Ansätze, welche ihren Ursprung nicht in den Ingenieurwissenschaften haben. Nach [Maed-2006] existieren zehn Gesetze, welche das Erreichen von Einfachheit ermöglichen. Sie sind allgemein und offen formuliert und sollen auf allgemeine Lebenssituationen angewandt werden. Die Gesetze entstanden aus Beobachtungen, dass technologische Geräte immer komplizierter werden und die Vielzahl ihrer Bedienelemente die Bedienbarkeit zunehmend erschwert. Dabei wird sich besonders im Kontext der Bedienung von Produkten vermehrt auf diese Gesetze berufen, die in Tabelle 6 spezifiziert werden.

Tabelle 6: Die 10 Gesetze der Einfachheit nach Maeda

<i>Aufgaben</i>	<i>Definition und Inhalt</i>
<i>Reduzieren</i>	Fokussierung auf die essenziellen Funktionen vereinfachen die Bedienung.
<i>Organisieren</i>	Organisierte Systeme sind einfacher zu erfassen.
<i>Zeit</i>	Effizientere Prozesse wirken einfacher als langsamere.
<i>Lernen</i>	Produkte mit Lernförderlichkeit erleichtern dem Nutzer die Bedienung zu verstehen.
<i>Unterschiede</i>	Die Bewertung von Einfachheit kann nur im Vergleich zu weniger einfacheren Produkten erfolgen.
<i>Kontext</i>	Einfachheit ergibt sich aus dem Produkt, dem Menschen und seinem aktuellen kontextuellen Bezug.
<i>Emotionen</i>	Positive Emotionen gegenüber dem Produkt lassen es einfacher erscheinen.
<i>Vertrauen</i>	Standardisierung und Verwendung bekannter Elemente fördern Produktvertrauen und so eine einfachere Interaktion.
<i>Fehler</i>	Wird etwas zu sehr reduziert, kann anstelle von Einfachheit das Produkt komplizierter erscheinen.
<i>Das Eine</i>	Einfachheit entsteht durch Fortlassen des Offensichtlichen und dem Hinzufügen von Wichtigem und Bedeutungshaftem.

Zumeist wird die Einfachheit hierbei anhand von Beispielen beschrieben, durch welche sich jedoch keine allgemeingültigen Regeln oder Kennzeichen für einfache Produkte ableiten lassen. In den Bereichen, wo dies möglich scheint (wie bspw. dem ersten, zweiten und achtem Gesetz) erfolgt die Beschreibung dennoch auf einem sehr abstrakten Niveau.

Die Gesetze werden in drei Gruppen zunehmender Einfachheit eingeteilt:

- Grundlegende Einfachheit: Reduzieren, Organisieren (im Sinne einer zunehmenden Übersichtlichkeit), Verkürzen von Warte- und Reaktionszeiten.
- Mittlere Einfachheit: Lernen zur Wissensanwendung, Kontrast (zwischen Komplexität und Einfachheit, die sich gegenseitig bedingen), Konsistenz und Kontext der Nutzung.
- Umfassende Einfachheit: Emotionale Attraktivität des Produkts, Vertrauen (in das Leistungsversprechen des Produkts), Verständnis (für ein nachvollziehbares Versagen).

Das zehnte Gesetz fasst die neun Gesetze dahingehend zusammen, dass ein Einfaches (und damit einzigartiges) Produkt durch konsequentes Weglassen des Offensichtlichen und Hinzufügen des Bedeutenden entsteht.

Der Fokus dieser Gesetze liegt überwiegend auf Gebrauchsfähigkeit und -tüchtigkeit eines Produkts. Allerdings bieten diese Gesetze nur qualitative Aussagen.

[BrHS-2013] stellt gleichzeitig 13 Prinzipien der Einfachheit auf, welche innerhalb von Produkten und Prozessen zum Einsatz kommen. Eine Zusammenfassung der Gesetze sowie der Prinzipien ist in Abbildung 12 abgebildet.

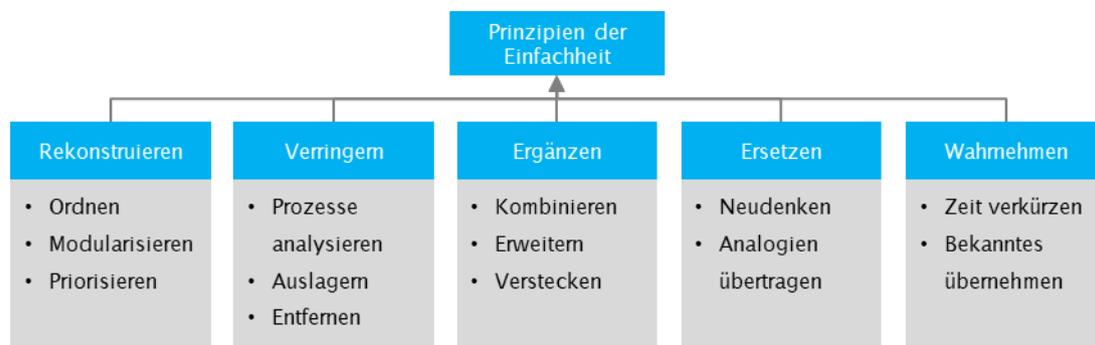


Abbildung 12: 13 Prinzipien der Einfachheit nach [BrHS-2013]

Insgesamt ergeben sich 5 Gruppierungen, in denen die genannten Aktivitäten gruppiert werden können.

Die erste Aktivität ist das „Rekonstruieren“. Hierbei sollen bestehende Abläufe hinterfragt und neu aufgebaut werden. Im Fokus steht das Organisieren von bestehenden Strukturen, das Bilden von Gruppen und eigenständigen Einheiten in Modulen und das Priorisieren der Hauptaufgaben⁴².

Bei der Aktivität „Verringern“ sollen überflüssige Nebenfunktionen, welche nicht gebraucht werden und Nutzungsschwerpunkt nicht betreffen (vgl. Tabelle 4) entfernt werden. Strategien hierfür sind das Hinterfragen und Verändern etablierter Prozesse, das Auslagern an andere Stellen oder das einfache Entfernen. Im Kern soll Einfachheit durch das Reduzieren von nicht essentiellen Funktionalitäten erreicht werden (vgl. das erste Gesetz nach [Maed-2006])⁴³.

⁴² Ein Beispiel hierfür ist die Vorauswahl beim Ziehen von Bahntickets. Hierbei werden häufiger gewählte Routen priorisiert.

⁴³ Ein Beispiel ist die Einführung von Kassensystemen in Supermärkten. Der Bezahlvorgang wird somit an den Kunden ausgelagert, für das Geschäft stellt dies eine Vereinfachung des Bezahlprozesses dar.

Beim Ergänzen wird gezielt Einfachheit durch das Zusammenfügen oder Integrieren von Teilschritten (bezogen auf Prozesse) und Teilfunktionalitäten (bezogen auf Produkte) erzeugt. Dies kann durch Kombinieren von zwei eigenständigen Funktionen erfolgen, wie z.B. das Integrieren einer Kamera in das Mobiltelefon. Weiterhin kann durch das Ergänzen kleiner Erweiterungen ein Prozess oder Produkt verbessert werden. Dies ist in Abbildung 13 beispielhaft dargestellt⁴⁴.



Abbildung 13: Vereinfachung durch Funktionsergänzung

Weiterhin kann durch das Verstecken gezielter Funktionen die Oberfläche übersichtlicher gestaltet werden. Das Ersetzen bezieht sich auf das Austauschen bestehender Funktionalitäten. Es sollen Möglichkeiten geprüft werden, an welchen Stellen neue Methoden angesetzt werden können, um Einfachheit zu generieren. Eine Strategie ist das Wegdenken von wesentlichen Größen. Hierdurch wird versucht, das Problem auf eine neue und andere Art und Weise zu lösen, die gegebenenfalls sinnvoller als die vorherige ist⁴⁵. Eine weitere Möglichkeit ist das Übertragen von Analogien aus anderen Bereichen, um so einen höheren Nutzen zu generieren. Ein bekanntes Beispiel ist der Klettverschluss, der, inspiriert von den feinen und elastischen Häkchen der Kletten-Pflanze, entwickelt wurde [BrHS-2013].

Weiterhin sind die Aspekte der Produktwahrnehmung des Betrachters entscheidend. Etwas ist nur dann einfach, wenn es vom Betrachter auch als solches wahrgenommen wird. Eine Methode um eine einfache Wahrnehmung zu erzeugen, ist analog zur Gebrauchstauglichkeit und dem dritten Gesetz nach [Maed-2006] die eingesetzte Zeit so gering wie möglich zu halten und somit einen Beitrag zur effiziente Produktinteraktion zu leisten. Die zweite Methode ist es, bekannte

⁴⁴ Das Öffnen der Dose in Abbildung 13 wird durch das Ergänzen des Verschlussringes erheblich für den Nutzer vereinfacht.

⁴⁵ Beispiele hierfür sind das Laden von Akkus per Induktion auf einer Dockingstation, wodurch die bisherige Steckerverbindung entfällt oder das Integrieren der Tastatur in den Touchscreen, anstatt eine physische Tastatur zu benötigen.

und etablierte Semantik und Symbolik zu verwenden. Hierbei ist die Konsistenz zu etablierten Symbolen relevant. Eine Fernbedienung sollte bspw. dieselbe Zeichensprache verwenden, die auch bei artverwandten Geräten benutzt wird. Abbildung 14 zeigt beispielhaft die Symbolkonventionen einer handelsüblichen Fernbedienung.



Abbildung 14: Konsistente Zeichenfunktionen erzeugen Einfachheit

Standardisierte Symbole wie bspw. Play, Pause, Vorwärts- oder Rückwärtsspulen fördern die intuitive Bedienbarkeit des Nutzers.

Bei der Herausstellung von generellen Regeln zur Einfachheit sind zwischen den Ansätzen von [Maed-2006] und [BrHS-2013] Gemeinsamkeiten zu entdecken.

Es ist jedoch fraglich, inwieweit diese Gesetze und Prinzipien bei der Entwicklung nutzerzentrierte Produkte eingesetzt werden können. Während viele Aktivitäten auf die Organisation, Reduktion oder Ergänzung von Funktionen und Struktur der Produkte abzielen, werden gleichzeitig mehrere unscharfe und nicht fassbare Gesetzmäßigkeiten bei der Aufstellung der 10 Gesetze nach [Maed-2006] und der 13 Prinzipien nach [BrHS-2013] genannt. Ohne eine Eingrenzung des zu betrachtenden Kontextes betrifft der Begriff Einfachheit ein zu breites Feld, welches nicht nur Produkte, sondern auch Prozesse, Dienstleistungen und weitere Lebensaspekte mit einbezieht. Um die Definition eines einfachen Produktes zu erfassen, ist es daraus folgernd sinnvoll, die Definition von Einfachheit im Produktkontext innerhalb des Produktlebenszyklus und dessen Bereiche zu betrachten.

3.3 Ein einfaches System

Wird der geschichtliche Kontext eines einfachen Produktes betrachtet, so lässt sich ein Beispiel für die Implementierung von Einfachheit innerhalb der zweiten industriellen Revolution um 1870 finden. In dieser Zeit stand die Massenproduktion im Mittelpunkt, die von Standardisierung und Sequenzierung von Arbeitsschritten geprägt war. Dadurch wurden komplexe Produktionsprozesse vereinfacht und waren somit leicht erlernbar sowie beherrschbar. Durch die Standardisierung von Komponenten und einfacher Montageschritte konnten einfache Fertigungsprozesse realisiert werden [WoJR-1992]. Diese Vorgehensweise führte zu einer Reduzierung der

Anzahl qualifizierter Mitarbeiter und ermöglichte gleichzeitig die Entwicklung neuartiger Produkte. Musterprodukte für diese Zeit sind das Telefon, das Radio oder das Automobil [Parr-2012].

Mit dem Voranschreiten der Industrialisierung entstand eine Reihe von Einzelfunktionsgeräten, die eine Funktion (oder eine Reihe verwandter Funktionen) auf optimierte Weise ausführten. Die Anbieter konzentrierten sich auf einen Funktionsbereich und verbesserten diese Funktion dann im Laufe der Zeit kontinuierlich⁴⁶. In dieser Zeit wurden die Wissenschaften der Ergonomie, Anthropometrie und Gebrauchstauglichkeit insbesondere genutzt, um einen kundenorientierten Einsatz des Produkts zu ermöglichen. Mit den zunehmenden Digitalisierungsmöglichkeiten und immer kleiner werdenden Bauteile wurden die Geräte in ihren Funktionen zu multifunktionalen Produkten kombiniert. Durch die Zusammenfassung mehrerer Funktionen entstanden Produkte mit einem größeren Leistungsangebot, welches vom Nutzer oft nicht vollständig in Anspruch genommen wurde [Parr-2012]. Gemäß [Robi-2016] ist ein Produkt einfach zu bedienen, wenn Funktionen den Hauptanwendungsfall fokussieren, anstatt ein breites Anwendungsspektrum anzusprechen. Besitzt ein Produkt zu viele Bedienungs- und Funktionselemente, ist es für den Nutzer schwerer, das Produkt gänzlich zu erfassen und vollständig zu beherrschen [Robi-2016]. In dem Zusammenhang einfacher Produkte wird in der Literatur wiederholend ein Produkt durch die Systemtheorie beschrieben [Hubk-1984, HaDa-2002, Pulm-2004, Hart-2013]. Hierfür soll im Folgenden ein allgemeines Verständnis der Systemtheorie im Kontext der Ingenieurwissenschaften erfolgen.

3.3.1 Grundlagen der Systemtheorie

Innerhalb der Betrachtung von Systemen wird zwischen den Systemwissenschaften, der Systemtechnik und der Systemphilosophie unterschieden [Pulm-2004]. Die Systemtheorie behandelt alle drei, legt aber den Fokus auf die Systemwissenschaft⁴⁷. Obwohl die Systemtheorie in einer Vielzahl verschiedener Wissenschaftsgebiete als fachübergreifend verstanden wird, ist ihre Definition und Anwendung jedoch abhängig von der jeweiligen Ursprungsdisziplin, in der sie betrachtet wird. Neben antiken Ansätzen kann die Systemtheorie in Biologie, Physik, Chemie, Soziologie, Psychologie sowie den Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften

⁴⁶ Beispiele dieser Produkte waren das Mikrofon, der Kühlschrank oder die Schreibmaschine.

⁴⁷ Darunter zählt nach [Pulm-2004] die Untersuchung von Systemen und deren Modellen in einzelnen Wissenschaftsgebieten sowie wissenschaftsübergreifend.

wiedergefunden werden. Für eine übersichtliche Aufstellung der einzelnen Systemtheorie ist auf [Pulm-2004] (vgl. Tabelle 7) zu verweisen. Eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Bereiche liegt nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit, da sie außerhalb des Betrachtungsgebiets der Produktentwicklung liegen.

Tabelle 7: Bereiche der Systemtheorie in der Wissenschaft [Pulm-2004]

Disziplin	Ansätze
Biologie	<i>Darwin</i> : Auslese; BERTALANFFY (1969): General System Theory; PRIGOGINE (1998): Dissipative Strukturen; FOERSTER (1995): Kybernetik 2. Ordnung; MATURANA & VARELA (1987): Autopoietische Systeme; LASZLO (1996): Evolution
Soziologie	SMITH (2001), DURKHEIM (1999): Arbeitsteilung; PARSONS (1959): Theorie sozialen Handelns; LUHMANN (1997, 2002): Systemtheorie; BANATHY (2000): Cultural Evolution
Psychologie	PIAGET (1996): Genetische Epistemologie; Campbell (HEYES & HULL 2001): Evolutionary Epistemology; GLASERSFELD (1996): Radikaler Konstruktivismus; <i>Hellinger</i> : Organisationsaufstellungen; DÖRNER (1989): Problemlösen
Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften	GOODE & MACHOL (1957), HALL (1963), CHESTNUT (1973), DAENZER & HUBER (1999): Systems Engineering; FORRESTER (1976): System Dynamics; ROPOHL (1975): Systemtechnik; MALIK (1989, 2003), GOMEZ (1981), ULRICH & PROBST (1991): Systemisches Management (St. Gallen); CHECKLAND & SCHOLLES (2000): Soft Systems Methodology; PETERS (2000): Kreatives Chaos; SENGE (1990): Fifth Discipline; VESTER 1999: Vernetztes Denken
Mathematik, Physik, Informatik	EINSTEIN (1956): Relativitätstheorie; RUSSELL & WHITEHEAD (2002): Principia Mathematica; Planck, HEISENBERG (2000): Quantentheorie; <i>Gödel</i> : Unvollständigkeitsaxiom; NEUMANN & MORGENSTERN (1990): Spieltheorie; WIENER (1965): Kybernetik; MCCULLOCH (2000): Künstliche Intelligenz; FEIGENBAUM (GLEICK 1998): Chaostheorie; HOLLAND (1992, 1998): Emergence; SPENCER-BROWN (1997): Laws of Form
Philosophie, Linguistik	KANT (2000), HEGEL (1988): Erkenntnistheorie; SAUSSURE (1967): Strukturalismus; WITTGENSTEIN (2003): Tractatus logico-philosophicus; KORZYBSKI (1994): Allgemeine Semantik

3.3.2 Die Systemtheorie in den Ingenieurwissenschaften

Innerhalb der Ingenieurwissenschaften ist festzustellen, dass auch hier verschiedene Ausprägungen der Systemtheorie gefunden werden können. [Hubk-1984] eröffnete die Theorie technischer Systeme, welche auf der Zerlegung und Abstraktion von Maschinen in Unterbaugruppen bis hin zum Einzelteil verweist. Somit stellt ein Produkt ein eigenständiges System dar, gleichwohl ist aber auch eine Unterbaugruppe des Produkts, welche als Element des Systems agiert, als eigenständiges System mit eigenen Elementen zu betrachten.

Eine alternative Version der Systemtheorie in den Ingenieurwissenschaften stellt das Systems Engineering. Hierbei wird das Produktsystem um die Prozesse der Entwicklung erweitert. Dadurch wird das Systemdenken um Vorgehensmodellen- und Strategien ergänzt (Abbildung 15) [HaDa-2002]. Weiterhin beinhaltet das Modell die Zerlegung des Systems in einzelnen Elementen, Beziehungen und Systemgrenzen sowie eine Betrachtung der Eingangs- (Input) und Ausgangsvariablen (Output). Zusätzlich werden Systemhierarchien beachtet sowie die Möglichkeit, das System von verschiedenen Sichtweisen zu betrachten.

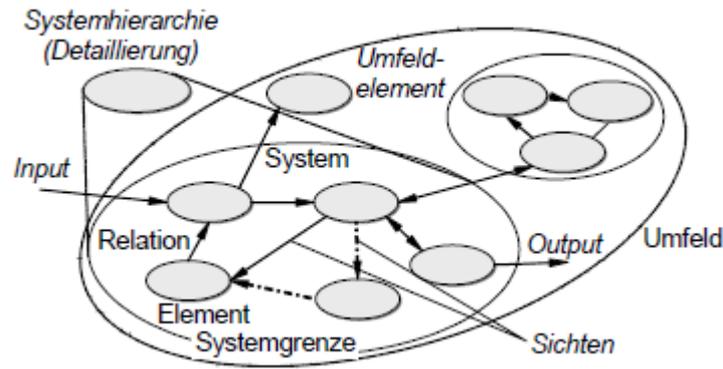


Abbildung 15: Das Systemdenken nach [HaDa-2002] in [Pulm-2004]

Eine Möglichkeit, die technische Komplexität eines Produkts zu charakterisieren, besteht darin, die Anzahl der vorhandenen Komponenten und die Anzahl der Beziehungen zwischen ihnen zu beschreiben [Enge-2001]. Je weniger Komponenten und Beziehungen im Produkt existieren, desto weniger komplex ist es. Diese Erklärung stammt aus der Systemtheorie, die ein technisches System als eine Reihe von Elementen betrachtet, die in Beziehung zueinanderstehen [Enge-2001]. Die Grundschemata eines einfachen, eines komplizierten und eines komplexen Systems sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

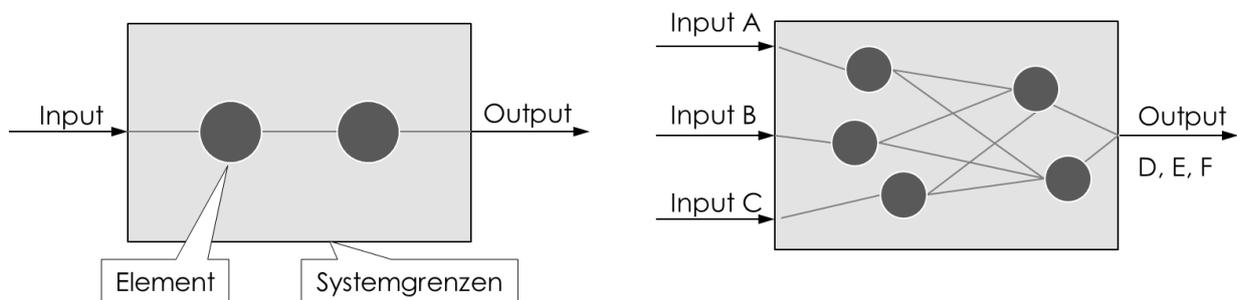


Abbildung 16: Ein einfaches und ein kompliziertes System [Hart-2013]

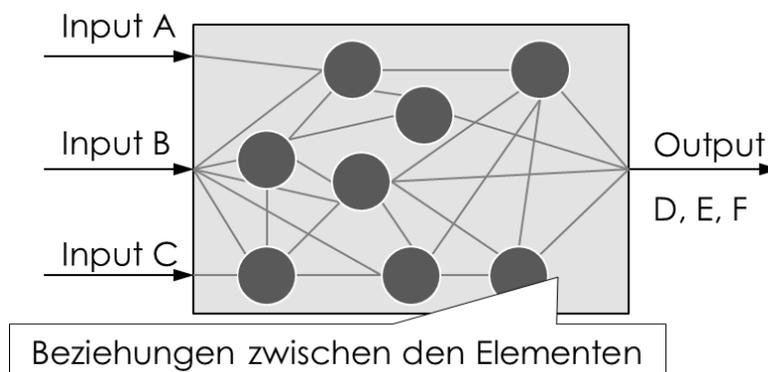


Abbildung 17: Ein komplexes System [Hart-2013]

Komplexe Produkte verfügen über eine Vielzahl von Elementen, die sich gegenseitig beeinflussen. Ein komplexes System ist gekennzeichnet durch zahlreiche und verschiedenartige Elemente, Relationen zwischen diesen sowie verschiedenartigen Hierarchieebenen innerhalb des Systems. Häufig sind diese Größen durch zufällige Wertänderungen gekennzeichnet. Ihre Dimension unterliegt einer zeitlichen Varianz. Sie sind schwer zu zerlegen, zu berechnen und zu organisieren. Daraus folgt, dass die systemtheoretische Komplexität die Verknüpfung und Vielschichtigkeit und somit den Organisationsaufwand darstellt [Hart-2013]. Ein Beispiel für die Beschreibung eines komplexen Systems ist ein Windspiel (siehe Abbildung 18).



Abbildung 18: Ein Windspiel [Gart-2021]

Die Bewegung eines aufgehängten Windspiels, welches vom Wind angeregt wird, kann von einem Menschen kaum vorhergesagt werden. Die Vielzahl an Einzelteilen, die Stärke des Windes, die Art des Zusammenbaus sowie unter anderem die Höhe des Luftdrucks beeinflussen jede einzelne Bewegung. Wird das Windspiel jedoch aus seiner dreidimensionalen Umgebung entfernt und hingelegt, kann jedes einzelne Element bewegt werden, ohne ein anderes zu beeinflussen. Durch das Wegfallen der dynamischen Wertänderungen (in diesem Fall der Wind und der Luftdruck) kann die Komplexität des Systems verringert werden.

Im Zusammenhang von Einfachheit und Komplexität wird wiederholt der Begriff Kompliziertheit genannt. Komplizierte Systeme unterscheiden sich von einfachen Systemen durch den Grad der Unterschiedlichkeit der Elemente, die Anzahl der Elemente und deren Verbindungen [PiVS-2018b]. Systeme können durch Strukturierung und Auswahl vereinfacht werden. Ein kompliziertes System kann aus vielen Subsystemen bestehen. Das Verständnis des Systems hat eine starke Verbindung zu menschlichem Wissen und Erfahrung. So kann beispielsweise ein Uhrwerk als kompliziertes System betrachtet werden, aber ein Uhrmacher kann es mit dem nötigen

Wissen beherrschen. Zusammengefasst bezieht sich Komplexität auf das ganze System, während Kompliziertheit sich auf die Zusammenhänge und deren Verknüpfungen fokussiert.

3.4 Einfachheit im Produktlebenszyklus

Es ist jedoch fraglich, ob die Definition der Systemtheorie auf jede Phase des Produktes innerhalb des Produktlebenszyklus anwendbar ist. Gerade die Phase der Produktnutzung ist geprägt von der subjektiven Wahrnehmung des Nutzers. Deshalb wird im Folgenden neben der Betrachtungsweise von Einfachheit und Komplexität im Sinne der Systemtheorie die Beschreibung von einfachen Produkten innerhalb der Phasen des Produktlebenszyklus analysiert. Da in der vorliegenden Arbeit sowohl Einfachheit im Kontext des Anbieters als auch des Nutzers betrachtet werden soll und beide Gruppen (besonders der Anbieter) innerhalb mehrerer Phasen des Produktlebenszyklus mit dem Produkt interagieren (vgl. Abschnitt 2.2.2), ist es notwendig, eine Vielzahl an verschiedenen Disziplinen zu untersuchen. Insgesamt werden im Folgenden fünf Phasen untersucht, welche sich an den Phasen des Produktlebenszyklus (vgl. Abschnitt 2.1) orientieren sowie die Treiber der unternehmensinternen Komplexität:

- Produktentstehung
- Produktgestaltung
- Produktion und Instandhaltung
- Produktnutzung
- Entsorgung und Verwertung
- Unternehmensinterne Komplexitätstreiber

3.4.1 Produktentstehung

Innerhalb der Disziplin der Produktentwicklung wird das Thema Einfachheit häufig thematisiert. So nennt [PaBe-1986, BeGe-2020] Einfachheit (neben Eindeutigkeit und Sicherheit) als Grundprinzip des Konstruierens. Die Beschreibung erfolgt hierbei unscharf und definiert Einfachheit innerhalb technischer Produkte als *Nicht zusammengesetzt, übersichtlich und geringer Aufwand*. Hierbei wird der größte Fokus auf die Anzahl der Bauteile eines Produktes und deren Interaktionen gelegt. Diese Betrachtungsart beruht auf der Grundlage der in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Systemtheorie. [EhMe-2017] beschreiben die technische Komplexität eines

Produktes anhand der Elemente⁴⁸ und deren Relationen. Unter der Annahme, dass gegenteilig Ein Produkt daraus folgernd einfach ist, wenn es eine geringe Anzahl an Elementen und Relationen hat, ist die Beschreibung von [BeGe-2020] in Bezug auf die Bauteilanzahl identisch. Laut [EhMe-2017] kann, sofern alle notwendigen Informationen über die Elemente und Relationen zwischen diesen bekannt sind, Einfachheit objektiv erfasst werden. Die heutzutage zu bewältigende Komplexität innerhalb der Produktentwicklung betrifft nicht ausschließlich die technische Produktkomplexität. Nicht nur die Produkte selbst sind betroffen, sondern auch Entwicklungs- und Fertigungsprozesse sowie das gesamte Unternehmensumfeld [EhMe-2017]⁴⁹. Eine ähnliche Beschreibung einfacher Produkte bezogen auf die Systemtheorie liefert, wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben [Hubk-1984], der den Komplexitätsgrad eines Maschinensystems in Abhängigkeit der Bauteile und deren Charakteristika definiert. Hierbei korreliert die Komplexität des Produktes mit der verwendeten Lösung des Produktes. Die verschiedenen Stufen der Komplexität sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Stufen der Komplexität nach [Hubk-1984]

<i>Stufe der Komplexität</i>	<i>Maschinensystem</i>	<i>Charakteristik</i>	<i>Beispiele</i>
I	Teil, Maschinenelement	Elementarsystem, das ohne Montageoperationen hergestellt wurde	Bolzen, Lagerbüchse, Feder, Scheibe
II	Mechanismus, Teilgruppe	Einfaches System, das auch höhere Funktionen von Maschinen erfüllt	Getriebekasten, hydraulischer Antrieb
III	Maschine, Gerät, Apparat	System, das aus Gruppen und Teilen besteht und eine geschlossene Funktion ausübt	Drehbank, Kraftwagen, Elektromotor
IV	Anlage, Einrichtung, Komplexer Maschinensatz	Kompliziertes System, das eine Reihe von Funktionen erfüllt	Fabrikeinrichtung

⁴⁸ „Element“ dient hierbei als Überbegriff und kann auf verschiedenste Größen eines Produktes oder damit einhergehenden Prozessen bezogen werden. Beispiele hierfür sind Funktionen, Wirkprinzipien, Schnittstellen, Bauteile.

⁴⁹ So haben externe Einflüsse wie bspw. Gesetze und Normen einen Einfluss auf die Einfachheit des Produktes für den Anbieter.

Einen vergleichbaren Ansatz vertritt [Roth-2000], der bezüglich der Produktkomplexität auf die Diversität der einzelnen Elemente sowie der Anzahl der Relationen verweist. Besonders bei der Beschreibung des Komplexitätsgrads von Funktionsstrukturen findet diese Referenz auf die Systemtheorie nach [Roth-2000] Anwendung. Dabei stellt diese Beschreibung ein Maß für die Menge der Funktionsblöcke sowie der auftretenden Relationen dar.

Insgesamt ist festzuhalten, dass innerhalb der Produktentwicklung Einfachheit zumeist über die Anzahl und Varietät der Elemente, welche in der Regel über Einzelteile repräsentiert werden, sowie der Anzahl der Beziehungen der Elemente untereinander, welche zumeist über Montageverbindungen oder Funktionsprinzipien abgebildet werden, dargestellt wird. Gleichzeitig kann ein Element eine eigenständige Baugruppe repräsentieren, welche wiederum aus verschiedenartigen Elementen und Relationen aufgebaut ist.

Die Funktionsanzahl und Funktionsvielfalt ist dabei maßgebend für die resultierende Produkteinfachheit. Sie sind maßgeblich für die Bauteilanzahl und deren Vielfalt. Weiterhin wird aus der Funktionsvielfalt die Anzahl der Schnittstellen abgeleitet. Schnittstellen stellen Relationen zu anderen Produkten (oder Systemen) dar. Die Anzahl der Fertigungsschritte, ihre Art und Weise sowie die Montage werden ebenfalls durch die verwendeten Funktionen und Bauteile beeinflusst.

3.4.2 Produktgestaltung

In der Phase der Produktgestaltung wird vor allem die Wahrnehmung eines Produktes auf den Nutzer definiert. Bezogen auf den Nutzer spielt die Wahrnehmung des Nutzers für die Bewertung eines Produktes bereits vor als auch nach der Nutzung eine entscheidende Rolle. Um diese Wahrnehmung im Sinne der Produkteinfachheit gezielt zu steuern, gibt es eine Reihe an Gestaltungsrichtlinien. [Roth-2000] beschreibt die Komplexität der Gestalt über die Mindestanzahl der Teile, welche zur eindeutigen Beschreibung und Abgrenzung notwendig sind. Hierbei verhalten sich der Grad der Komplexität und die Symmetrie⁵⁰ der Form invers zueinander. Daraus folgt, dass durch die Verwendung von symmetrischen Körpern der Grad der Komplexität des Produktes bezogen sowohl auf die optische Wahrnehmung des Betrachters als auch auf den Aufwand

⁵⁰ Unter Symmetrie wird nach [Roth-2000] die Regelmäßigkeit von Körpern definiert.

der Gestaltung für den Entwickler verringert wird. Dieses Verhalten ist beispielhaft bezogen auf geometrische Primitive in Abbildung 19 dargestellt [Roth-2000].

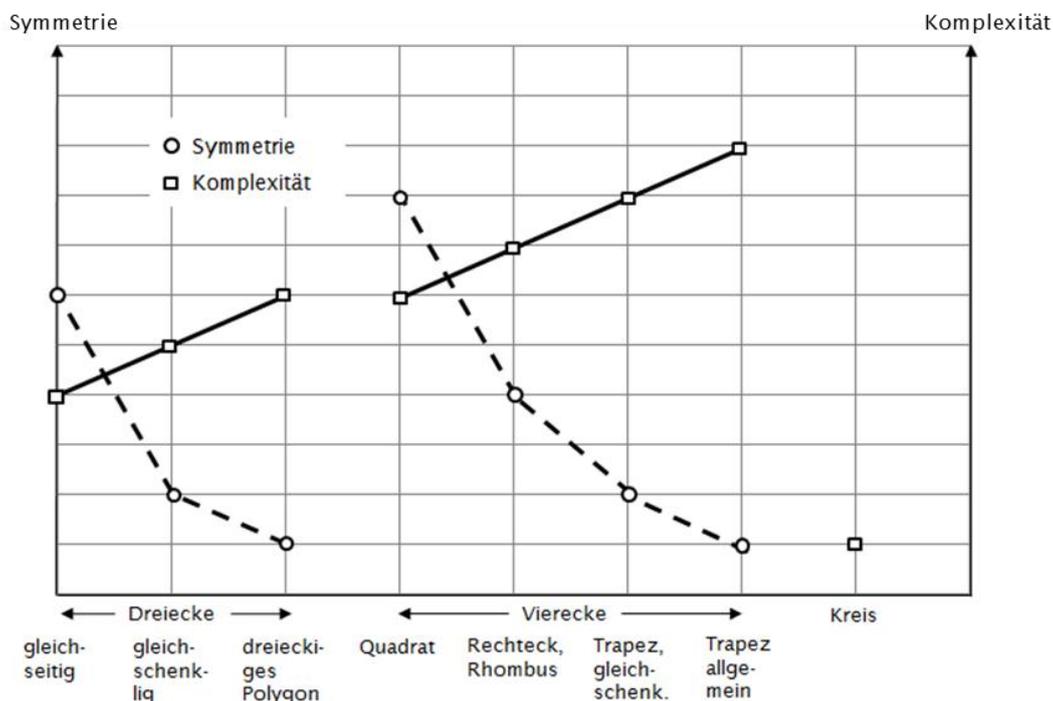


Abbildung 19: Verhältnis von Symmetrie und Komplexität nach [Roth-2000]

Das Verhalten von Komplexität zu Symmetrie wird über die steigenden Vierecke (Komplexität) im Verhältnis zur gleichzeitig sinkenden Symmetrie (Kreise) dargestellt. Laut [Roth-2000] steht die Komplexität der Gestalt eines Produktes in Abhängigkeit der Symmetrie. Je höher die Eck- und Kantenzahl eines Produktes ist, desto größer ist dessen Komplexität. Dabei Verhalten sich Komplexität und Symmetrie invers zueinander. Das bedeutet, dass ein gleichseitiges Dreieck eine geringere optische Komplexität besitzt als ein gleichschenkliges Dreieck auf Grund seiner geringeren Symmetrie [Roth-2000]. Dies ist zurückzuführen auf die Informationsästhetik⁵¹, deren Betrachtungsgegenstand die Bewertbarkeit von Ästhetik durch Eigenschaften und Merkmale des Produktes, ohne hinzuziehen von subjektiven Größen, ist [Zeh-2010]. In der Informationsästhetik wird die Komplexität sowohl durch Vielzahl als auch Vielfalt der Elemente sowie deren Ordnung zueinander gekennzeichnet. Dagegen steht die Anordnung als strukturelle Größe, welche die Zusammenhänge und Verknüpfungen der Elemente untereinander beschreibt.

⁵¹ Moderne Ästhetik, die ästhetische Produkte als Summe informativer Zeichen betrachtet und sie mit mathematisch-informationstheoretischen Mitteln beschreibt [Dude-2021b].

Das Verhältnis der Elemente zueinander bestimmt das ästhetische Empfinden. Dieses wird über die Prägnanz⁵² eines Objektes dargestellt (Abbildung 20) [Spri-1982].



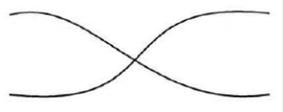
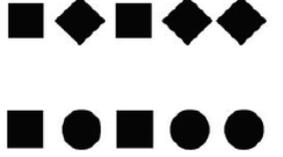
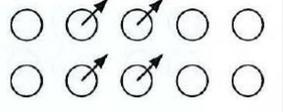
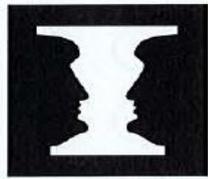
Abbildung 20: Komplexität und Ordnung nach [SBFG-2000] (verändert von [Zeh-2010])

Abbildung 20 zeigt, dass eine von Ordnung geprägte Prägnanz durch deutliche, symmetrische, geordnete und einfache Formen erreicht wird. Dem entgegen steht die eine komplexe Prägnanz. Das daraus resultierende optische Verhältnis definiert die visuelle Wahrnehmung des Betrachters. Somit spiegelt sich die Wahrnehmung von Einfachheit für den Nutzer und für den Anbieter in Teilen durch das optische Verhältnis von Ordnung und Komplexität wider. Dieses Verhältnis kann durch eine Vielzahl von Gestaltungsgesetzen beeinflusst werden. Als Beispiel dienen hierfür die Gestaltungsgesetzen nach [Metz-2008].

Tabelle 9: Gestaltungsgesetze für die menschliche Wahrnehmung [Metz-2008]

Gesetze	Definition	
Gesetz der Gleichheit	Ähnliche Elemente werden als zusammengehörig interpretiert.	
Gesetz der Nähe	Elemente, die einen geringen Abstand zueinander haben, werden eher als zusammengehörig wahrgenommen, als Objekte, die weiter voneinander entfernt sind.	

⁵² Das Prinzip der Prägnanz besagt, dass die Organisation der Wahrnehmung nach der Reihenfolge erfolgt, welche das Objekt am dominantesten vertritt. Prägnante Objekte stehen für eine hohe Gesetzmäßigkeit, Einfachheit der Strukturierung, Eigenständigkeit und Integrität [Zeh-2010].

Gesetz der Geschlossenheit	Geschlossene Strukturen werden gegenüber offenen bevorzugt.	
Gesetz der Symmetrie	Symmetrisch angeordnete Elemente, werden als zusammengehörig erkannt.	
Gesetz Der Durchgehenden Kurven	Linien folgen immer dem einfachsten Weg. Bei der Kreuzung zweier Linien wird kein Knick wahrgenommen, sondern ein stetiger Verlauf.	
Gesetz der Ähnlichkeit	Ähnliche Elemente werden einander zugeordnet. Unterschiede können sowohl die Form der einzelnen Elemente als auch die Ausrichtung sein.	
Gesetz des gemeinsamen Schicksals	Elemente, welche sich gleichzeitig in eine Richtung bewegen, werden als eine Einheit wahrgenommen.	
Gesetz der Figur-Grund Beziehung	Figuren werden nicht unabhängig von ihrem Hintergrund wahrgenommen. Zur Trennung von Figur und Grund werden diverse Eigenschaften genutzt (bspw. Farbe, Kontrast, Geschlossenheit und Textur).	
Gesetz der Verbundenheit	Verbundene Elemente werden als Verbund wahrgenommen.	

Es ist jedoch zu beachten, dass Ordnung innerhalb der Wahrnehmungspsychologie nicht ausschließlich als ein zu maximierendes Gut betrachtet wird. So maximiert sich nach dem Mathematiker Birkhoff das ästhetische Empfinden durch ein Höchstmaß an Ordnung bei gleichzeitig niedriger Komplexität. Andere Wahrnehmungsforscher wie Arnheim, Berlyne oder Eysenck bezeichnen das maximale ästhetische Empfinden dann, wenn sowohl Ordnung als auch die Komplexität in einem ausgeglichenen Verhältnis stehen. Ist die Ordnung stärker ausgeprägt, resultiert dies in Langeweile für den Betrachter, während bei einer zu ausgeprägten Komplexität die Wahrnehmung erschwert wird, wodurch ein negatives Empfinden ausgelöst wird [Zeh-2010].

Diese unterschiedlichen Deutungen des optimalen Verhältnisses kann über die Fluency-Theorie⁵³ (dt. Verarbeitungsflüssigkeit) erklärt werden. Sie besagt, dass der Betrachter ein Produkt als angenehm oder schön empfindet, wenn die Wahrnehmung des Objektes einfach ist. Dabei wird zwischen zwei Flüssigkeiten unterschieden [ReSW-2004]:

- Perceptual fluency - als Maß für die Leichtigkeit der Wahrnehmung eines Objektes
- Retrieval fluency - als Maß für die Einfachheit mit den Informationen abgerufen werden können

Das Zusammenspiel der beiden „Fluency“ beeinträchtigt die Urteilsbildung und sorgt dafür, dass der Betrachter ein Objekt als angenehm oder schön bewertet [ReSW-2004]. Diese Theorie resultiert in dem Schluss, dass Menschen Objekte besser bewerten⁵⁴, je höher ihre „processing fluency“ ist (desto schneller die Wahrnehmung). Gleichzeitig unterliegt die Verarbeitungsflüssigkeit subjektiver Kriterien, welche in Abhängigkeit von dem jeweils Betrachtenden stehen⁵⁵.

Dies zeigt auf, dass die Einfachheit der Wahrnehmung eines Objektes essenziell für die positive Bewertung des Objektes ist und somit eine hohe „processing fluency“ ein affektiv positives Empfinden ermöglicht. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für einfache Produkte, die Wahrnehmung eines Produktes (in Abhängigkeit der „perceptual fluency“ des Betrachters) so einfach wie möglich zu gestalten. Jedoch sollte ein Produkt den Nutzer nicht gleichermaßen in seiner Wahrnehmung unterfordern.

Insgesamt ist festzuhalten, dass innerhalb der Produktgestaltung Einfachheit über das Verhältnis aus Ordnung und Komplexität beschrieben wird. Dabei wird Ordnung über Anzahl an Elementen visueller Wahrnehmung definiert. Sie ist am größten, je weniger Elemente visueller Wahrnehmung an einem Produkt vorkommen. So besitzen Produkte mit wenig unterschiedlichen Formelementen eine größere Ordnung. Gesetze der Symmetrie, Reduktion, Gleichheit oder

⁵³ Die Fluency-Theorie ist eine Theorie der psychologischen Ästhetik darüber, wie Menschen Schönheit erleben. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist die Leichtigkeit, mit der Informationen im menschlichen Geist verarbeitet werden [ReSW-2004].

⁵⁴ [GABS-2010] zeigt auf, dass bspw. handschriftliche Arbeiten mit einer schwer leserlichen Schrift häufig inhaltlich schlechter bewertet werden als Arbeiten mit einer gut lesbaren Handschrift.

⁵⁵ [ReTo-2021] Während bspw. Musikexperten auch komplizierte Musik genießen können, hört der Durchschnittshörer eher Schlager und Hits aus den Charts.

Ähnlichkeit dienen dazu, um ein übersichtliches und leicht zu erfassendes Produktbild zu generieren [Metz-2008].

3.4.3 Produktion und Instandhaltung

Nach [OlBa-2005] führt der zunehmende Wettbewerb auf dem Markt zu kürzeren Produktlebenszyklen. Sowohl die Produktvielfalt als auch das Produktangebot wachsen aufgrund der Forderung nach Individualisierung. Die daraus resultierenden Veränderungen von Produktionslinien, Transparenz und Strukturverschiebungen innerhalb des Unternehmens führen zu erheblichen Komplexitätsproblemen [OlBa-2005]. Ein Beispiel für eine solche Produktvielfalt zeigt Abbildung 21, die die Produktgeneration der Samsung-Galaxy-S-Smartphone-Serie von 2010 bis 2015 veranschaulicht.



Abbildung 21: Generationen des Samsung Galaxy S Smartphones [Sams-2021]

Innerhalb von 11 Jahren erschienen innerhalb einer Produktserie zwölf verschiedene Generationen. Diese zwölf Generationen werden zusätzlich in unterschiedlichen Farbvarianten sowie auswählbaren Speicherkapazitäten geliefert. Dabei steigt mit jedem veränderten Element die Anzahl der kombinatorischen Möglichkeiten und damit das Komplexitätslevel des Produktes gemäß der Systemtheorie aus Abschnitt 3.3.1 [Hart-2013].

Das Ziel eines Anbieters ist ein profitabler Absatzmarkt mit niedrigen Produktionskosten. Die aus der Produktvielfalt resultierende Flexibilität für den Nutzer und damit steigende Komplexität für den Anbieter erhöht die Produktionskosten und beeinflusst damit den Gewinn des Unternehmens [OlBa-2005]. Zum Beherrschen dieser Komplexität ist es ein Ansatz für den Anbieter, ähnliche Produkte mit guten Absatzbedingungen und vergleichsweise geringen Anpassung der

Unternehmens- und Produktionsstrukturen zu verkaufen. Dabei ist es eine Strategie, ein Produkt aus möglichst wenig Komponenten zu entwickeln, welche jedoch in einer fast beliebigen Konfiguration eine fast beliebige Kombinatorik des Produktes ermöglicht. So werden Produktserien zumeist auf derselben Grundarchitektur aufgebaut, um nur gewisse Module zu verändern⁵⁶.

Diese Variantenvielfalt beeinflusst auch die Instandhaltbarkeit eines Produktes und trägt zur Wahrnehmung von Einfachheit bei. Sind Demontage und Austausch von Produktkomponenten notwendig, erschwert eine komplexe Baugruppenstruktur den Reparaturprozess. Die Komplexität der Baugruppenstruktur kann hinsichtlich der Instandhaltbarkeit besonders durch Strategien wie Modularisierung sowie Standardisierung der Komponenten und Schnittstellen beherrscht werden. Gleichzeitig verringert ein robustes und langlebiges Produkt die Notwendigkeit von Wartungseinheiten, wodurch eine durchgehende Nutzung des Produktes ermöglicht wird. Sind während des Lebenszyklus des Produkts außerplanmäßige Reparaturen erforderlich, ist eine gute Demontagemöglichkeit des Produkts von wesentlicher Bedeutung. Die Komponenten müssen leicht zugänglich und austauschbar sein. Insbesondere Verbraucherprodukte können oft nicht repariert werden, da sowohl Demontage als auch Austausch von Komponenten teurer sind als der vollständige Austausch des Geräts selbst⁵⁷ [OlBa-2005].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass auch in den Bereichen von Produktion und Instandhaltung Aspekte der Systemtheorie bei der Definition von Einfachheit zum Einsatz kommen. Je mehr verschiedenartige Komponenten ausgetauscht werden müssen, desto komplizierter wird der Wartungsvorgang. Wird das Produkt innerhalb seiner Produktserie betrachtet, so kann eine Vielzahl an Produktvarianten die Beherrschbarkeit der Produktserie erschweren und als Komplexitätstreiber fungieren.

3.4.4 Produktnutzung

⁵⁶ Dieser Umstand bringt bei einer generellen Umstellung eines bestehenden Systems Schwierigkeiten mit sich. So benötigt ein Elektroauto eine grundlegend andere Skelettkarosserie als ein Fahrzeug mit Verbrenner. Ein weiteres Beispiel ist die Umstellung einer Softwarekomponente innerhalb eines Unternehmens. Das Aktualisieren auf eine höhere Version verursacht in geringen Schrittgrößen wenig Aufwand, während die Umstellung auf eine grundlegend andere Software bis zum vollständigen Abschluss Jahre dauern kann (dies konnte bspw. bei der Umstellung bei der Firma Daimler der CAx-Software von Catia V5 auf Siemens NX beobachtet werden [Siem-2020]).

⁵⁷ Elektrische Alltagsgegenstände wie ein Notebook oder Smartphone legen den Fokus auf ein leichtes und geschlossenes Design, wodurch ihre Demontage nur vereinzelt gegeben ist.

Innerhalb der Produktnutzung wird Produkteinfachheit über die Gebrauchstauglichkeit, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, definiert. Ein Produkt wirkt innerhalb der Nutzung als einfach, wenn sein Produktnutzen effizient, effektiv und zufriedenstellend verfügbar ist [EN ISO-9241-11]. Dabei ist innerhalb der Nutzung zu beachten, dass nicht nur die eigentliche Handlungsaktion, sondern auch das Produktdesign und dessen Wahrnehmung, Fehlertoleranz und Verfügbarkeit des Produktes mit in den Prozess hineinwirken [Robi-2016]. Ein einfaches, benutzungsfreundliches Produkt kann durch das Einhalten folgender Strategien erzielt werden:

Tabelle 10: Strategien für eine benutzungsfreundliche Gestaltung [Robi-2016]

<i>Strategie</i>	<i>Maßnahmen</i>
<i>Hauptaufgabe fokussieren</i>	Die Hauptaufgabe des Systems muss immer im Vordergrund stehen und optisch klar und konsistent dargestellt werden. Zu viele Zusatzfunktionen verringern die vom Nutzer mögliche, kognitive Erfassbarkeit des Produktes.
<i>Benutzergruppe analysieren</i>	Zur Identifikation der essenziellen Handlungsabläufe, Funktionsumfang, Gestaltungselemente und Wirkprinzipien sind Analysen zu den zu erreichenden Benutzergruppen notwendig.
<i>Priorisieren und ordnen</i>	Schlüsselemente der Nutzung (bspw. Bedienelemente) sind zu priorisieren und ähnliche Elemente zu gruppieren. Zweitrangige Funktionen sind, sofern nicht für die Grundfunktion notwendig, zu verstecken.
<i>Weniger Informationen</i>	Übersichtlichkeit führt zur Wahrnehmung von Einfachheit. Es sollen immer nur die wichtigsten Informationen dauerhaft dargestellt werden.
<i>Lernförderlich</i>	Eine konsistente Anordnung von Prozessabläufe des Produktes verhindern Irritationen und Ungewissheit des Nutzers. Das Verhalten eines konsistenten Systems wird mit zunehmender Anwendung vorhersagbar. Durch diesen konsistenten Aufbau werden neue Funktionen anwendbar, da sie dem gleichen Bedienungsmuster folgen wie bereits bekannte.
<i>Feedback und Fehlermeldung</i>	Durch die Vermeidung sowie Darstellung von Wartezeiten und der benötigten Zeit von Prozessen wird beim Nutzer das Gefühl von Ungewissheit, betreffend dem Produktverhalten während der Nutzung, verhindert, welches andernfalls als komplex oder ineffizient wahrgenommen werden kann. Das gleiche Prinzip gilt für Fehlermeldungen. Sinnvoll dargestellte Fehlermeldungen und Hilfen zur Problemlösung geben dem Nutzer die Möglichkeit selbstständig mit Störungen umzugehen und immer die Reaktionen des Systems nachzuvollziehen.

<i>Strategie</i>	<i>Maßnahmen</i>
Design	Schnittstellen müssen beim Benutzer einen Angebotscharakter aufzeigen, welcher die Bedienung des Produktes intuitiv erklärt. Ein Schalter muss als solcher erkennbar sein.
Wahrnehmung	Der erste Eindruck zählt. Um einen positiven Eindruck zu gestalten, sollten die Schwerpunkte auf einem relevanten Inhalt des Produktes und einem emotional ansprechenden Design liegen.

Innerhalb dieser Strategien werden zunehmend Funktionsweise und Produktdesign zueinander in Verbindung gebracht. So kann eine einfache Nutzung nur durch ein klares, konsistentes und leicht erfassbares Design der Schnittstelle realisiert werden, während aufseiten der Funktionalität vor allem Priorisierung, Ordnung und Konsistenz genannt werden. Zusätzlich wird auf eine gute Produkt-Rückkopplung (engl. Feedback) und Fehlerdarstellung hingewiesen. Nur durch klare Kommunikation der Resultate, welche aus der Interaktion mit einem Produkt erfolgen, sowie einer klaren und sinnvollen Darstellung von Fehlerursachen bzw. optimalerweise der Vermeidung von Fehlern, kann eine einfache Nutzung realisiert werden [Robi-2016].

Fehler in der Nutzung bei einem einwandfrei funktionierenden Produkt kommen dadurch zustande, wenn das mentale Nutzungsmodell des Nutzers nicht mit dem mentalen Modell des Entwicklers übereinstimmt. Dieses mentale Modell (Abbildung 22) ist dabei definiert durch Schemen, welche Relationen, Begriffe, Annahmen und kognitive Karten⁵⁸ enthalten, mithilfe derer ein strukturiertes Nachdenken über Systeme ermöglicht wird [Norm-2013]. Durch dieses Nutzungsmodell werden dem System vom Nutzer konkrete Erwartungen entgegengebracht. Sind diese Erwartungen identisch mit der realen Bedienung des Produktes, wird das Modell des Nutzers verstärkt⁵⁹. Sind die Erwartungen fehlerhaft, führt dies zu einer Störung bzw. Fehlbedienung des Produktes und der Nutzer überdenkt das mentale Modell des Produktes. Je ähnlicher das mentale Modell des Nutzers mit dem mentalen Modell des Entwicklers ist, desto fehlerfreier und einfacher ist die Bedienung des Produkts. Dabei sollte während der Entwicklung das

⁵⁸ Eine Kognitive Karte (engl. cognitive map) ist jede visuelle Darstellung des mentalen Modells einer Person (oder einer Gruppe) für einen bestimmten Prozess oder ein bestimmtes Konzept.

⁵⁹ Sodass dieses Modell in zukünftigen ähnlichen Anwendungsfällen erneut und mit mehr Sicherheit angewandt wird.

mentale Modell des Nutzers die maßgebende Größe sein. Über Nutzerbefragungen und Usability-Tests kann bereits während der Entwicklung darauf Rücksicht genommen werden.

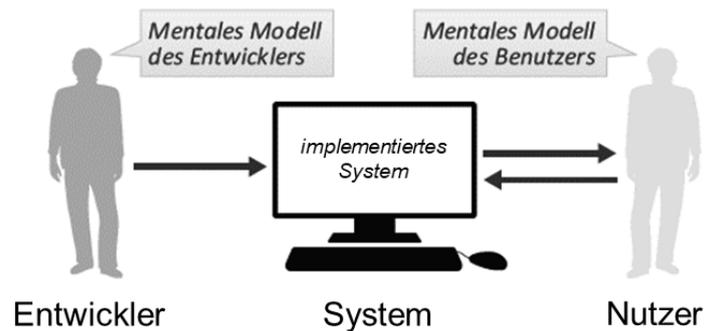


Abbildung 22: Schematische Darstellung mentaler Modelle [PrDa-2010]

Dabei haben die mentalen Modelle des Nutzers einen iterativen Charakter: Sie verändern sich mit seinen Erfahrungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich eine gute Nutzbarkeit durch eine effiziente und effektive Handhabung des Produkts auszeichnet. Dabei ist es nicht wichtig, dass die Funktion an sich einfach ist, sondern dass die Wahrnehmung der Handhabung für den Benutzer leicht zu erkennen ist.

Weiterhin ist es wichtig, dass die Handhabung den Erwartungen des Benutzers entspricht. Diese Erwartungen werden durch das Wissen und die Erfahrung des Benutzers mit dem Produkt gebildet. Daraus lässt sich schließen, dass nicht die Komplexität der Struktur des Produktes oder der Ablauf der Funktion wichtig ist, sondern die Wahrnehmung des Produktes vor, während und nach der effektiven Nutzung.

3.4.5 Unternehmensinterne und -externe Komplexitätstreiber

Neben den produktbezogenen Einflüssen sind unternehmensinterne und –externe Komplexitätstreiber zu beachten, welche bei Entwicklung und Vermarktung von Produkten auftreten können [EhMe-2017]. Eine Auflistung relevanter Größen kann Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: Steigende Komplexität in der Produktentwicklung [EhMe-2017]

Arten der Komplexität		Beispiele für Einflüsse
unternehmensinterne Komplexität	Produkt- komplexität	steigende Produkt-, Variantenvielfalt steigende Komponentenzahl und -vielfalt zunehmende externe Zulieferungen sinkende Losgröße
	Prozess- komplexität	steigende Prozessvielfalt steigende Prozessvernetzung steigender Zeitdruck
	Organisations- komplexität	wachsende Organisationsstrukturen zunehmende Vernetzung der Beteiligten
externe Komplexität	Marktkomplexität	Forderung nach individuellen Produkten Globalisierung Spezialisierung
	Gesetzes- komplexität	zunehmende nationale Gesetzesflut zunehmende relevante internationale Gesetze
	Normen- komplexität	immer mehr nationale Normen immer mehr internationale Normen immer mehr firmenspezifische Richtlinien

Nach [EhMe-2017] ist zwischen unternehmensinterner und- externer Komplexität zu unterscheiden. Dabei setzt sich die interne Komplexität aus den folgenden drei Größen zusammen:

- Produktkomplexität
- Prozesskomplexität
- Organisationskomplexität

Die Produktkomplexität beinhaltet dabei alle Einflüsse, welche sich durch das fertige, am Markt erhältliche Produkt selbst ergeben. Diese können wie in Abschnitt 3.4.1 und 3.4.3 eine steigende

Varianten- und Komponentenvielfalt sein. Aber auch sinkende Losgrößen, welche die Rüstzeiten erhöhen sowie externe Zulieferungen, welche zwar Komponenten auslagern, aber dafür logistische Schnittstellen erzeugen, fördern die Produktkomplexität. Prozesskomplexität hingegen wird durch eine steigende Prozessvielfalt, Prozessvernetzung und steigenden Zeitdruck erzeugt. Auch hier ist eine klare Verbindung zur Systemtheorie erkenntlich, in der die verschiedenen Prozesse und Teilprozesse als Elemente und die Vernetzung als Relationen fungieren. Steigender Zeitdruck zwingt Anbieter dazu, Prozesse effizienter zu gestalten und flexibler zu agieren. Organisationskomplexität wird auch mithilfe der Systemtheorie beschrieben, sodass sie als Komplexitätstreiber bei wachsenden Organisationsstrukturen (Anzahl) und zunehmender Vernetzung (Relationen) agiert. Externe Komplexität wird durch folgende drei Größen geprägt [EhMe-2017]:

- Marktkomplexität
- Gesetzeskomplexität
- Normenkomplexität

Die Marktkomplexität entspringt dabei aus der immer häufigeren Forderung nach Individualisierung von Produkten und somit einer steigenden Anzahl an Variantenvielfalt derselben Produktkategorien [OIBa-2005]. Durch diese vermehrte Nachfrage nach individualisierten Produkten bzw. den Versuchen, sich durch eine höhere Produktvielfalt von der Konkurrenz abzugrenzen, sind Anbieter gezwungen, eine Umstrukturierung vom qualitativen zum quantitativen Marktwachstum zu vollziehen. Um gesetzte Umsatzziele und Produktionsauslastungen zu erreichen, sind die Unternehmen geneigt, jedem Kunden sein individualisiertes Produkt zu liefern. Weiterhin fordert die Globalisierung von Unternehmen, verschiedene geografische und kulturelle Zielgruppen zu fokussieren, um somit weltweit wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Gesetzeskomplexität ergibt sich durch eine zunehmende Anzahl an Gesetzen und Richtlinien, sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene [Ashk-2007] [EhMe-2017]. Als kritisches Beispiel dafür dient der Abgasskandal aus dem Jahr 2015: Eine Reihe von Automobilherstellern manipulierte ihre Abgaswerte, um die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte für Autoabgase zu umgehen. Damit sollte vermieden werden, sich mit der Komplexität der Einhaltung von Grenzwerten auseinandersetzen zu müssen und möglicherweise daraus resultierend Umstrukturierungen der bestehenden Produktpalette in die Wege zu leiten. Die Normenkomplexität ergibt sich ähnlich wie die Gesetzeskomplexität durch eine wachsende Anzahl an Normen und firmeninternen Richtlinien, welche es bei der Entwicklung von Produkten zu beachten gilt [EhMe-2017].

Nach [Schu-2014] sind Komplexitätstreiber in Unternehmen vor allem auf eine hohe Anzahl an funktionsorientierten Schnittstellen, exponentiell wachsende Kosten, mangelnde Flexibilität und intransparente Abläufe zurückzuführen. Dabei beschreibt er fünf Merkmale und deren Kenngrößen:

Tabelle 12: Komplexitätstreiber im Unternehmen nach [Schu-2014]

Merkmale	Kenngrößen
Unternehmensgröße	Beschäftigtenzahl, Sortimentsbreite, Fertigungstiefe, Standorte
Pluralismus	Diversifikation in den Geschäftsbereichen
Anzahl interner und externer Schnittstellen	Organisationseinheiten, Zulieferer, Absatzkanäle
Schnittstellendichte	Abhängigkeiten, Koordinationsbedarf verschiedener Abteilungen
Sortimentsbreite und Erzeugniskomplexität	Komponentenvielzahl, Produktstrukturtiefe, Systemangebot
Dynamik, Diskontinuitäten	Kurzlebigkeit der Produkte, Änderungsintervall

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass auch oberhalb der Produktebene ein Produkt durch sein Umfeld als Komplexitätstreiber für den Anbieter fungieren kann. Auch hier ist vor allem dann von Komplexität zu sprechen, wenn die Anzahl der jeweiligen betrachteten Gebiete (vgl. Tabelle 11 und Tabelle 12) und die Beziehungen⁶⁰ nicht mehr vom Unternehmen beherrschbar sind. Durch gezieltes Komplexitätsmanagement ist es möglich und auch gewollt, dieses zu beherrschen [Schu-2014]. Nach [MiRe-2010] wird Komplexität in großen Konzernen zusätzlich als Notwendigkeit definiert. Es wird behauptet, dass nur komplexe Konzerne komplexe Probleme lösen können [MiRe-2010]. Nach [Schu-2014] gibt es ein optimales Level an Komplexität für jedes Unternehmen, welches von internen als auch externen Umständen definiert wird (vgl. Abbildung 23).

⁶⁰ Beispielsweise stehen Normen zumeist in Verbindung mit weiterführenden oder ergänzenden Normen.

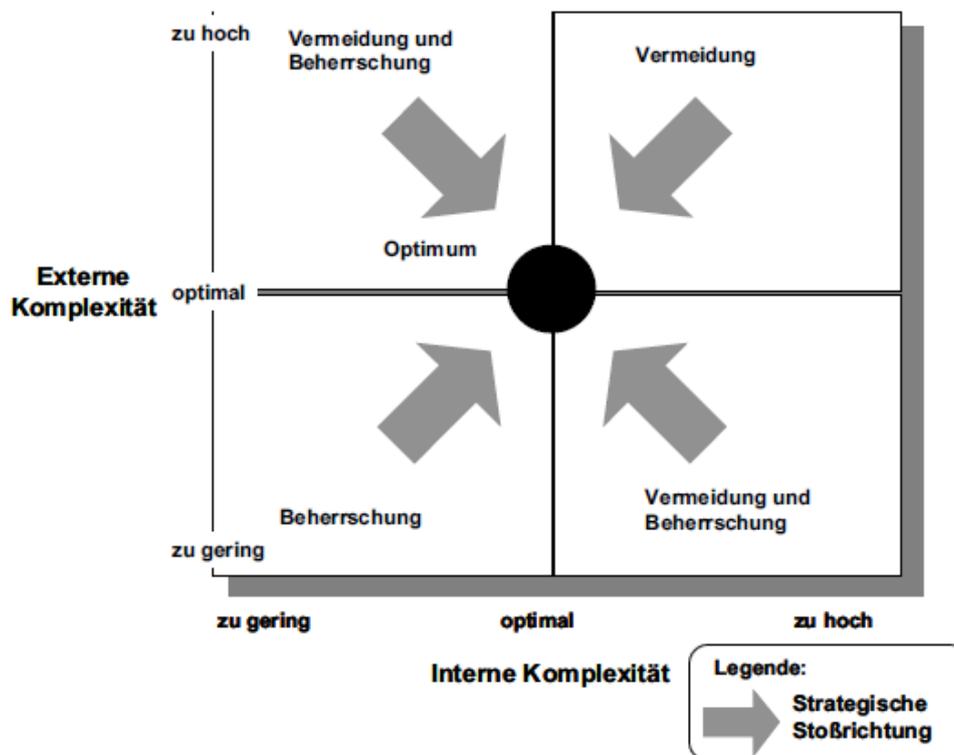


Abbildung 23: Gewichtung von Komplexität im Unternehmen [Schu-2014]

Abbildung 23 ist unterteilt in interne und externe Komplexität. Eine optimale Unternehmenskomplexität ist erreicht, wenn die interne Komplexität, welche bspw. in Abhängigkeit vom Produktangebot steht, auf derselben Höhe wie die externe Komplexität ist. In Abbildung 23 ist dies beispielhaft in der Mitte der Abbildung dargestellt. Die externe Komplexität wiederum wird primär von der Umwelt beeinflusst, wie bspw. die Nachfrage nach einer größeren Angebotsvielfalt. Ist das Gleichgewicht nicht gegeben, sind Maßnahmen zur Reduzierung, aber auch zur Steigerung der Komplexität zu wählen [Schu-2014]. Es ist jedoch fraglich, wie genau das Optimum des Komplexitätslevels definiert wird und wie dies erreicht werden kann. Es fehlen weiterhin Kennzeichen, welche das Erreichen des Optimums ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Thematik der Komplexität und deren Vereinfachung auch innerhalb des Unternehmens durch interne Einflüsse (z.B. Produkt-, Prozess oder Organisationskomplexität⁶¹) als auch externe Einflüsse aus der Umwelt (Nachfrage, Gesetze, Normen) eine große Rolle spielt. Unternehmensinterne Einfachheit ist jedoch nicht die oberste Priorität. Es wird ein Gleichgewicht aus interner Komplexität mit der externen Komplexität, welche von jeweiligem Produkt abhängig ist, angestrebt. Gleichzeitig beeinflussen

⁶¹ Vgl. Tabelle 11

unternehmensinterne- und externe Komplexitäten alle Phasen des Produktlebenszyklus. Diese beeinflussen zwar nicht direkt die Produkteinfachheit, können aber durch unternehmensinterne Entscheidungen, einzuhaltende Gesetze oder etablierte Standards und Normen indirekt Einfluss auf die Produkteinfachheit nehmen. Wird die Beziehung zwischen Produkt und Unternehmen betrachtet kann vor allem die Variantenvielfalt eines Produktes für eine Erhöhung der internen Komplexität verantwortlich sein.

3.4.6 Entsorgung und Verwertung

„Nachhaltigkeit ist eine Strategie zur gegenseitigen Verklammerung von Gesellschaft, Ökologie und Ökonomie mit dem Ziel, eine Entwicklung zu fördern, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht und dabei die Möglichkeiten zukünftiger Generation nicht einschränkt“ [Haas-2020][Beys-2012]. Daraus ergeben sich drei Dimensionen, aus denen die Nachhaltigkeit zusammengesetzt wird [Enqu-1998]:

- Ökologische Nachhaltigkeit – setzt auf den Erhalt der natürlichen Ressourcen sowie einem Gleichgewicht zwischen Regeneration und Beanspruchung von Lebensgrundlagen.
- Ökonomische Nachhaltigkeit – wird durch die Aufrechterhaltung wirtschaftlicher Errungenschaften beschreiben. Damit einher gehen ein Höchstmaß des ökonomischen Ertrags bei gleichbleibend langfristiger Sicherung der verwendeten Ressourcen sowie ein generationsübergreifendes Wirtschaftssystem.
- Soziale Nachhaltigkeit – beschreibt die Sicherung einer menschenwürdigen Existenz durch Erfüllung materieller und immaterieller Grundbedürfnisse sowie demokratische Strukturen und eine gerechte Einkommensverteilung.

Da in dieser Arbeit die Produkteinfachheit behandelt wird, ist vor allem die Ökologische Nachhaltigkeit von Interesse. Hierbei kommen Anbieter und Nutzer während des Produktlebenszyklus durchgehend mit dem Ziel einer nachhaltigen Produktentwicklung in Berührung. Zum einen äußern sich dadurch resultierende Effekte in Gesetzen und Normen, welche eine nachhaltige Entwicklung in einem gewissen Grenzwert vorgeben (vgl. Abschnitt 3.4.5), zum anderen im aktiven Engagement des Anbieters⁶². Diese damit einhergehenden Veränderungen innerhalb von Produktentstehung, Produktion, Nutzung und Produktverwertung, welche sukzessiv mehr

⁶² Nachhaltigkeit in Form des Umweltbewusstseins ist bei 63% der Nutzer als wichtige Zukunftsaufgabe ausgeprägt wie nie zuvor und bietet damit für den Anbieter Marktvorteile [SGHS-2016].

Einfluss nehmen in Verlauf der letzten sowie kommenden Jahre, resultieren in Anpassungen von Strukturen, Produkten und Verhaltensweisen, welche (analog zu Abschnitt 3.4.5) zu Komplexitätstreiber werden können.

Von einer einfachen Nachhaltigkeit kann somit aus Anbietersicht nur dann gesprochen werden, wenn der zu tätigende Aufwand zur Umsetzung der bestehenden Richtlinien oder nachhaltigen Ziele vergleichsweise gering ist. Das bedeutet beispielhaft, dass große Änderungen hinsichtlich einer nachhaltigen Fertigung in großen Komplexitätstreiber resultieren können, während ein Produkt, an dem nur geringe Änderungen im Entwicklungsprozess getätigt werden müssen, einfacher nachhaltiger zu gestalten sind. Hierbei ist wieder eine Verbindung zu Systemtheorie zu ziehen. Je mehr Bereiche und Elemente durch ein angestrebtes nachhaltiges Produkt verändert werden müssen, weil sie miteinander in Relationen stehen, desto aufwändiger und komplizierter/komplexer resultiert die nachhaltige Entwicklung. Gleichsam ist es möglich, dass neue, nachhaltige Prozesse und Produktparameter, welche große Veränderungen im aktuellen Prozess verursachen, insgesamt das Produkt in seiner Herstellung vereinfachen. Ein nachhaltiges Produkt an sich kann sowohl einfach als auch komplex sein, jedoch ist Nachhaltigkeit ein stetig zu optimierendes Attribut und es benötigt für dessen Verbesserung stetige Anpassung an sich dynamisch verändernde Umstände⁶³. Somit ist ein nachhaltiges Produkt nicht automatisch komplex und ein komplexes Produkt nicht gleichzeitig nachhaltig.

⁶³ Hervorgerufen durch z.B. neue Technologien, Gesetze, Normen oder gesellschaftlichen Druck.

Aus Nutzersicht ist eine nachhaltige Produktnutzung dann einfach, wenn sie durch so wenig zusätzlichen Aufwand wie möglich durchgeführt werden kann. Dies wird dem Nutzer dann ermöglicht, wenn:

- Die Verfügbarkeit nachhaltiger Alternativen für den Nutzer im Produktsortiment vorhanden sind.
- Die für die nachhaltige Verwendung benötigten Ressourcen ohne Mehraufwand des Nutzers zur Verfügung stehen.
- Entsorgung und Verwertung des Produktes ohne zusätzliche Bemühungen des Nutzers vollzogen werden können.

Ist einer dieser Punkte nicht für den Nutzer zutreffend, so bedeutet dies ein gewisses Maß an Mehraufwand zur Erzielung eines nachhaltigen Konsums⁶⁴. Beispielsweise wird die Entsorgung von Sondermüll durch die jeweiligen Gemeinden unterschiedlich geregelt. Diese bieten häufig Sammelstellen zur Entsorgung an, welche je nach Distanz und Öffnungszeiten unterschiedlich gut für den Nutzer erreichbar sind. Die Entsorgung von Produkten im Hausmüll (wie bspw. Plastik, Papier und Restmüll) hingegen bedarf eines geringeren Aufwands und resultiert in einer einfachen Entsorgung. Ein weiteres Beispiel ist die Zugänglichkeit für nachhaltigen Konsum im Sinne von unverpackt Läden, welche das Konsumgut ohne zusätzliche Verpackung verkaufen. Diese ist nur dann eine einfache Lösung, wenn das Angebot entsprechend für den Nutzer erreichbar ist.

Insgesamt ist festzustellen, dass nachhaltige Produkte weder einen generellen Einfluss auf die Einfachheit noch auf die Komplexität eines Produktes haben, sondern dies nur im Einzelfall beurteilt werden kann. Hierbei sind vor allem Größen wie Zugänglichkeit, Verfügbarkeit des Produktes und Veränderung der bestehenden Entwicklungs-, Produktions- und Nutzungsparameter von Bedeutung. Weiterhin kommen die bereits in Abschnitt 3.4.1, 3.4.2 und 3.4.3 genannte Größen, welche durch eine nachhaltige Produktentwicklung beeinflusst werden, zum Tragen. Die in der Produktentstehung angesprochenen Einflussfaktoren⁶⁵ (siehe Abschnitt 3.4.1) sowie Produktdesign, Produktion und Instandhaltung stehen in stetiger Wechselwirkung

⁶⁴ Die Größe des Mehraufwands hängt dabei von der Differenz des Ist-Zustandes zum Soll-Zustand einer der drei genannten Punkte ab.

⁶⁵ Bauteilanzahl und -vielfalt, Funktionsanzahl und -vielfalt, Schnittstellenanzahl, Fertigungsschritte und Montageschritte.

mit der Nachhaltigkeit und beeinflussen sich gegenseitig. So erfordert eine nachhaltige Entsorgung ein leicht zu demontierendes Produkt. Weiterhin geben diverse Wirkprinzipien unter aktuellen Gesichtspunkten eine Maximalgrenze für die Nachhaltigkeit vor⁶⁶. Weiterhin ist die Nachhaltigkeit in ihren drei Dimensionen (ökologisch, ökonomisch und sozial) durch den gesamten Produktlebenszyklus hinweg präsent und steht in ständigen Wechselwirkungen mit allen Aktivitäten. Somit ist sie (bezogen auf die Produkteinfachheit) allen Phasen des Produktlebenszyklus übergeordnet. Eine Diskussion der einzelnen Einflüsse der Nachhaltigkeit auf den Produktlebenszyklus würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Für weitere Informationen hinsichtlich dieser Thematik wird auf [Vajn-2020] (Kapitel 5) verwiesen.

3.5 Beschreibung einfacher Produkte

Werden die unterschiedlichen Ziele für ein einfaches Produkt aus Abschnitt 3.4 betrachtet, kann daraus geschlossen werden, dass einfache Produkte je nach Phase des Produktlebenszyklus unterschiedlich definiert werden können. Während in der Systemtheorie ein System aufgrund der Anzahl seiner Komponenten und der Anzahl der Beziehungen zwischen ihnen als „einfach“ definiert wird (vgl. Abschnitt 3.4.1), wird die Nutzbarkeit von Produkten hauptsächlich durch die Qualität der Schnittstelle zwischen Benutzer und Produkt beeinflusst. Der Fokus liegt auf der einfachen Handhabung eines Produktes und einer geeigneten Produktgestalt. Der Anbieter erwartet ein wirtschaftlich herstellbares Produkt, das ohne größere Veränderungen in der Produktion hohe Umsätze erzielt.

Tabelle 13: Einfachheit in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus [PiVS-2018b]

Forschungsfeld	Kernthema	Quellen (Auswahl)
Produktentwicklung	Systemtheorie: Anzahl von Elementen des Systems, deren Beziehungen und ihre Randbedingungen	[BeGe-2020] [EhMe-2017] [Roth-2000] [Hubk-1984]
Produktgestalt	Anzahl und Vielfalt der einzelnen Gestaltungselemente, Wahrnehmungsvermögen des Betrachters	[Zeh-2010] [Schn-2005] [Seeg-2005]

⁶⁶ Beispielsweise kann Energiegewinnung mit fossilen Brennstoffen zwar hinsichtlich ihres Wirkungsgrades effizienter und somit nachhaltiger gestaltet werden, jedoch gibt der verwendete Rohstoff an sich ein Maximum an zu erzielender Nachhaltigkeit vor.

Forschungsfeld	Kernthema	Quellen (Auswahl)
Produktion	Schlanke Produktion: Mitarbeiterschulung, Kundenbindung, niedrige Hierarchien, geeignete Fertigungsverfahren und Montageschritte	[DoMi-2015] [BeGe-2020]
Baugruppenmanagement	Standardisierung, Fragmentierung und Modularisierung	[WoJR-1992]
Modularisierung	Demontage, Montageaufbau, Anschlussarten	[BeGe-2020] [EhMe-2017]
Gebrauchstauglichkeit (Usability)	Art der Funktionsausführung, Wirksamkeit der Ausführung, Effizienz der Ausführung, Zufriedenheit der Ausführung	[Robi-2016] [GeJo-2015] [ChLe-2012]
User Experience	Arten der Produktwahrnehmung, Zusammenspiel von Erwartungskonformität und dem mentalen Model	[PrDa-2010] [Norm-2016] [Quir-2013]
Management	Strukturwandel, Produkterweiterungen, Komplexität als Know-how-Schutz	[OIBa-2005]
Allgemeine Vereinfachung	Die zehn Gesetze der Einfachheit, 13 Prinzipien der Einfachheit	[Maed-2006], [Helf-2015], [BrHS-2013]

Die verschiedenen Arten der Einfachheit lassen sich am Beispiel eines Automobils erklären. Ein modernes Auto verfügt über eine Vielzahl von Bedienelementen, die von der Fahrsteuerung wie Pedal, Lenkrad und Schaltung bis hin zu optionalen Einstellungen wie Radio, Heizung und Lüftung reichen. Gleichzeitig besteht es aus einer Vielzahl von Komponenten und Baugruppen (bis zu 10.000), die miteinander verbunden sind. Nur in seltenen Fällen⁶⁷ ist es notwendig, die Bedienungsanleitung zu lesen, um die Grundfunktionen nutzen zu können. Das liegt unter anderem an der Fahrerlaubnis, den jeder Nutzer vor Verwendung eines Fahrzeuges erhalten muss. Hierbei wird Schritt für Schritt und unter Anweisung der Umgang mit dem Auto gelehrt, wodurch der Aspekt der Lernförderlichkeit, wie in Abschnitt 3.4.4, unterstützt wird. Darüber hinaus trägt das Fahrzeugdesign wesentlich zur eindeutigen und fehlerfreien Nutzung bei. In den meisten Fahrzeugen unterliegen die Bedienelemente einer einheitlichen Bedienlogik, die dem Wissen und der Erfahrung des Anwenders angepasst sind. Sie sind häufig so organisiert, dass Gruppen

⁶⁷ Seltene Fälle können dabei Situationen sein, welche nicht im alltäglichen Gebrauch des Produktes auftreten. Dazu zählen unter anderem Fehlermeldungen, Wartungsintervalle, oder wenig verwendete Funktionen (der Ordnungsgemäße Anschluss von Stromkabeln an der Autobatterie im Falle einer Starthilfe).

mit gleichen Funktionen eindeutig identifizierbar sind. Zudem sind sie bei vielen Anbietern nahezu identisch⁶⁸. Die Konstruktion der Komponenten und deren räumliche Anordnung reduziert das Risiko von Fehlbedienungen. Weitere Hilfsmittel zur einfachen und eindeutigen Bedienung sind Rückmeldungen wie das Richtungssignal oder Informationsanzeigen, z.B. der Füllstand oder die Geschwindigkeitsanzeige. Trotz der Produktkomplexität der Komponenten und der Montage wurde das Handling so weit vereinfacht, dass es jeder erlernen kann [PrDa-2010]. Ein weiterer essenzieller Einfluss auf ein einfaches Produkt ist die Häufigkeit an Störquellen, welche den Nutzer von der Nutzung des Leistungsvermögens des Produktes abhalten. Störquellen sind dabei alle Aktivitäten, welche vorhergesehen und auch unvorhergesehen auftreten. Beispiele hierfür sind Wartungsintervalle, Fehlermeldungen, Reparaturen. Bezogen auf das Auto kann bspw. die Anzeige eines Warnsymbols, dessen Ursprung nicht eindeutig für den Nutzer nachvollziehbar ist (bspw. die Motorkontrollleuchte) einen Teilaspekt zur Verkomplizierung der Nutzung beitragen.

Im Gegensatz zum Nutzer, für den die Einfachheit der Nutzung des Produktes im Fokus steht, müssen aus Sicht des Anbieters sowohl die Herstellbarkeit als auch die Wirtschaftlichkeit eines Automobils im Mittelpunkt stehen [Vajn-2020]. In der Vergangenheit wurden komplette Automodelle mit einer bescheidenen Anzahl verschiedener Technologien hergestellt. Effiziente Montagelinien waren in der Lage, das gleiche Modell in der Massenproduktion durch optimierte Produktionsprozesse herzustellen. Diese Art der Produktion ist auch heute noch vorhanden, aber die Autos wurden erweitert, um sowohl der wachsenden Nachfrage nach Individualisierung als auch den Wettbewerbsbedingungen gerecht zu werden [WoJR-1992].

Die meisten Automobilserien haben Varianten. Das Originalmodell kann modifiziert werden, sodass ein ähnliches Produkt mit der gleichen Grundarchitektur auf den Markt gebracht werden kann. Gleichzeitig hat es andere Eigenschaften und Verkaufsargumente als das Original. Um diese neuen Modelle herzustellen, ist es in der Regel notwendig, neue Technologien und Prozesse zu implementieren, die organisiert werden müssen.

In den kommenden Jahren wird die Variantenvielfalt insbesondere in der Automobilindustrie durch die Entwicklung neuer und alternativer Antriebskonzepte wie Elektro- und Hybridantriebe weiter zunehmen. Die Vielfalt neuer Antriebe in Kombination mit verschiedenen

⁶⁸ Ausnahmen sind bspw. bei der Marke Mercedes (bei der die Schaltung am Lenkrad befestigt ist) und der Marke Mini erkenntlich.

Modellvarianten stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen (Abbildung 24) [Volk-2015].

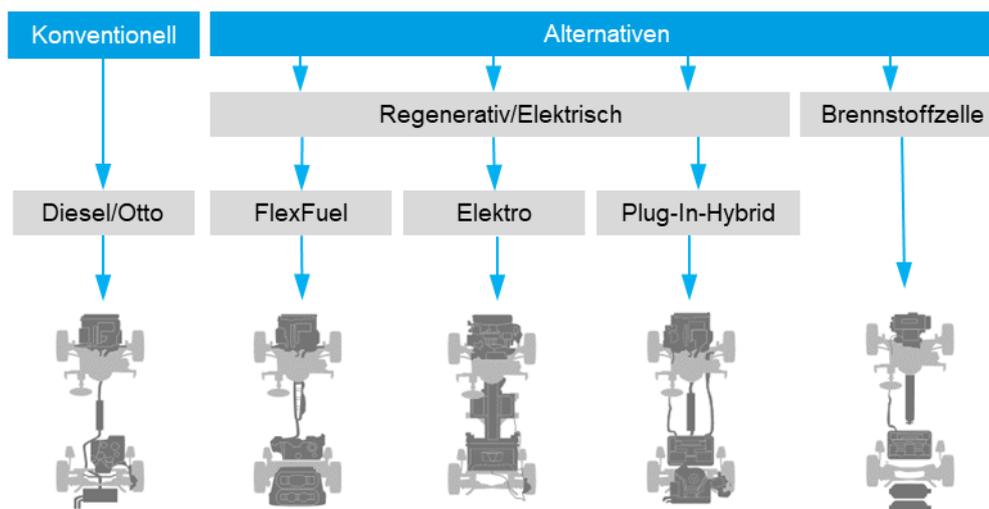


Abbildung 24: Komplexitätssteigerung durch Variantenvielfalt [Volk-2015]

Es ist fraglich, ob die Produktion eines einzelnen Wagens allein schon wegen seiner großen Anzahl von Einzelteilen als komplex definiert werden kann. Vielmehr scheint es möglich zu sein, dass diese Komplexität aus Sicht des Anbieters nur einen geringen Anteil ausmacht. Hinzu kommt die Komplexität, die sich aus dem Prozessablauf ergibt. Die hohe Anzahl von Interaktionen zwischen den Abteilungen im Unternehmen führt zu mangelnder Flexibilität, exponentiell steigenden Kosten und intransparenten Prozessen [Schu-2014]. Diese Art der organisatorischen Komplexität findet sich auch in jeder Produktentwicklung wieder, unabhängig davon, ob das Produkt selbst als einfach oder komplex definiert ist. Zum Beispiel sind die Zubereitung und das Servieren von Kaffee auf den ersten Blick ein einfacher Prozess. Treten jedoch zusätzliche Anforderungen auf, wie z.B. der Wunsch nach Zucker und Milch oder eine Auswahl an Größen, steigt die Anzahl der Varianten. Besteht auch der Wunsch nach weiteren Modifikationen wie Cappuccino, Latte Macchiato, Karamellaroma, als Eiskaffee oder entkoffeiniert, steigt die organisatorische Komplexität. Daraus schlussfolgernd kann sich auch ein einfaches Produkt in seiner Produktpalette als komplex erweisen.

Darüber hinaus führen Fertigungstechnologien auch zu unterschiedlicher Komplexität für den Anbieter. Die meisten konventionellen Fertigungstechnologien verwenden unterschiedliche Werkzeugmaschinen, Programmier- und Spannwerkzeuge für jedes Bauteil, während die additive Fertigung nichts dergleichen verwendet. Dennoch ist die Additive Fertigung bezogen auf das Preis/Leistungsverhältnis des Herstellungsprozesses nur bei Prototypen oder geringen Stückzahlen dem der konventionellen Fertigungsmethoden in vielen Fällen überlegen [RoDH-

2014]. Einige Technologien verursachen gefährliche Abfälle, andere benötigen viel Wasser und wieder andere haben einen hohen Materialverschleiß. Es liegt auf der Hand, dass bei der Beschreibung eines einfachen Produktes alle Aspekte eines Produktes berücksichtigt werden müssen. Auch Wartung und Service können die internen Prozesse des Anbieters erschweren. Geänderte Gesetze wie neue CO₂-Emissionsgrenzwerte für die Automobilindustrie, zwingen Unternehmen zu ungeplanten Maßnahmen zur CO₂ Reduzierung.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass bei der Definition eines einfachen Produkts eine Unterscheidung der unterschiedlichen Betrachtungswinkel auf das Produkts getroffen werden sollte, wie bspw. der Anzahl der Komponenten und Beziehungen und der Perspektive der jeweiligen Gruppen, die mit dem Produkt interagieren.

3.6 Definition einfacher Produkte

Werden die in Abschnitt 3.4 genannten Erkenntnisse zusammengefasst, so ist zu erkennen, dass Einfachheit im Produktkontext je nach betrachtetem Bereich unterschiedliche Einflussgrößen aufweist. Während in der Produktentstehung, Produktion und Instandhaltung die meisten Ansätze auf Grundlage der Systemtheorie beruhen, wodurch die Anzahl und Vielfalt der zutragenden Elemente entscheidend ist, wird sich innerhalb der Produktgestaltung und Produktnutzung auf die Wahrnehmung des Produktes vor, während und nach der Nutzung fokussiert. Die Unternehmensinterne- und externe Betrachtung hingegen sieht Komplexität als gegebene Größe, welche durch unterschiedliche interne und externe Unternehmensgrößen verursacht und beherrscht werden muss.

Dabei ist besonders der Unterschied der Perspektiven der entwickelnden und produzierenden Seite, also der des Anbieters, und der erwerbenden und nutzenden Seite, also der des Nutzers, auffällig. Während der Anbieter ein Interesse daran hat, dass seine Entwicklungsprozesse planbar, beherrschbar und effizient sind, ist die Sichtweise des Nutzers mehr von der subjektiven Wahrnehmung und der damit einhergehenden, erwarteten Nutzerfreundlichkeit geprägt. Wird der Wertschöpfungsprozess zwischen Kunde und Anbieter betrachtet (vgl. Abbildung 25), ist erkenntlich, dass auf der Seite des Nutzers der Mehrwert eines Produktes durch die Differenz des Produktnutzens mit dem Produktpreis erzeugt wird [Besa-2013].

$$\text{Wertschöpfung} = \underbrace{(\text{Nutzen} - \text{Produktpreis})}_{\substack{\text{Mehrwert} \\ \text{(Nutzersicht)}}} + \underbrace{(\text{Produktpreis} - \text{Herstellungskosten})}_{\substack{\text{Rentabilität} \\ \text{(Anbietersicht)}}$$

Abbildung 25: Wertschöpfungsprozess aus Nutzer und Anbietersicht [Besa-2013]

Aufseiten des Anbieters wird die Rentabilität durch die Differenz des Produktpreises und der Herstellungskosten erzielt. Da der Produktpreis auf beiden Seiten gleich ist, kann gefolgert werden, dass die Wertschöpfung die Differenz des Produktnutzens und der Produktkosten ist [Besas 2013]. Dabei erfüllt der Produktnutzen die Wünsche und Bedürfnisse des Nutzers an das Produkt zufriedenstellend. Er ergibt sich durch die Anwendung des Produktes⁶⁹. Werden die Ergebnisse aus Abschnitt 3.4 betrachtet, kann festgestellt werden, dass in mehreren nutzerzentrierten Disziplinen, wie der Produktnutzung und Produktgestaltung eine zufriedenstellende Wahrnehmung maßgeblich das Gefühl einer einfachen Bedienung verstärken.

Herstellungskosten auf der anderen Seite sind alle Kosten, welche über den gesamten Entwicklungs- und Herstellungsprozess für das Produkt anfallen. Sie werden bestimmt von Funktionsweise, Form, Technologie und Material. Ihre Kenngrößen sind im Vergleich zum Produktnutzen schärfer zu erfassen, da eine ihre Größen von objektiven Kriterien beschrieben werden können⁷⁰.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Ausprägungen einfacher Produkte in zwei Definitionen aus Nutzer- und Anbietersicht zusammengefasst.

3.6.1 Einfachheit aus Nutzersicht

Einfachheit wird in der Nutzung innerhalb eines Wahrnehmungsdialogs gebildet, welche sowohl produkt- als auch nutzerabhängig ist. Somit ist zwischen Einflussgrößen zu unterscheiden, welche durch die Eigenschaften und Merkmale des Produktes vordefiniert werden (produktbezogene Einfachheit) sowie den Einflussgrößen, welche vom Nutzer selbst gebildet werden (nutzerbezogene Einfachheit).

Produkteigenschaften und -merkmale können hier, wie in Abschnitt 3.4 genannt, die Art und Weise der Darstellung der Mensch-Maschine-Schnittstelle sein oder das verwendete Prinzip des Bedienungsprozesses (und damit der Funktionsablauf). Eigenschaften und Merkmale werden vom Entwickler während der Produktentwicklung innerhalb von Gestalt und Funktionalität des Produktes festgelegt und dienen als Angebot für die Wahrnehmung des Nutzers. Dieses Angebot nimmt der Nutzer wahr und erzeugt daraus seine eigenen personenbezogenen Intentionen, wie

⁶⁹ Der Produktnutzen eines Automobils ist unter anderem die Fähigkeit, die maximale Transportlast und die Mobilität von Personen zu erhöhen.

⁷⁰ Bezogen auf das Material kann dieses über scharfe Materialkennwerte definiert werden.

das Produkt verwendet werden kann. [Norm-2013] beschreibt die Art und Weise der Interaktion innerhalb von sieben Aktionsphasen (Abbildung 26).

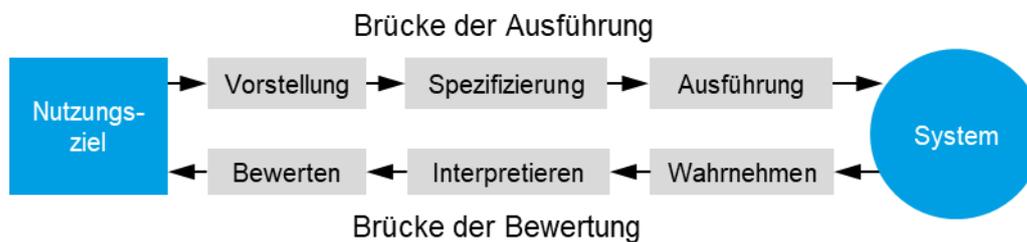


Abbildung 26: Die "Seven stages of action" [Norm-2013]

Nachdem der Nutzer eine erste Vorstellung über die Nutzung gebildet hat, wird diese vom Nutzer in einer konkreten Handlungsanweisung spezifiziert und ausgeführt. Das verwendete System (Produkt) reagiert entsprechend der Bedienung des Nutzers⁷¹ sowie entsprechend seiner vorhandenen Funktionen. Der Nutzer nimmt dieses Feedback wahr, interpretiert es und bewertet daraus das Produkt sowie seine eigene Interaktion mit dem Produkt [Norm-2013]. Bezogen auf die Produkteinfachheit sind diese sieben Schritte ausschlaggebend.

Brücke der Ausführung – Die Vorstellung des Nutzers ist dann optimal, wenn sie mit der von ihm gewollten Nutzung des Produktes⁷² identisch ist. Sie bildet also die Differenz zwischen der erahnten und der vorhergesehenen Nutzung des Produktes. Je kleiner die Differenz, desto stärker nähert sich die Intuition des Nutzers an der vorgesehenen Nutzung an.

Dabei definiert das Produkt sein Nutzungsangebot durch eine Vielzahl an Merkmalen wie Gestalt oder Formsprache. Dieses Nutzungsangebot wird in der Literatur oftmals als Angebotscharakter gekennzeichnet⁷³. Diesen Angebotscharakter des Produktes nimmt der Nutzer wahr und setzt ihn in den Kontext seines eigenen mentalen Modells (vgl. Abschnitt 3.4.4). Dieses mentale Modell wird auf der einen Seite maßgeblich durch die persönlichen Eigenschaften des Nutzers beeinflusst, auf der anderen Seite vom Angebotscharakter des Produktes. Persönlichen Eigenschaften werden durch eine Vielzahl subjektiver Einflussgrößen definiert. Hierzu zählen Fähigkeiten und Erfahrungen des Nutzers, welche er mit dem Produkt oder mit ähnlichen Produkten

⁷¹ Hierbei kann die Reaktion des Systems sowohl wie vom Nutzer erwartet als auch fehlerhaft sowie nicht vorhanden sein.

⁷² Diese Bedienung legte der Entwickler in Form eines mentalen Modells fest.

⁷³ Der Angebotscharakter ist die Fähigkeit eines Produktes, sich selbst und seine Funktion zu erklären [Norm-2013].

gemacht hat sowie der kulturelle Hintergrund als auch emotionale (zumeist dynamische) Einflüsse. Ist das durch die persönlichen Einflussgrößen entstehende mentale Modell identisch mit dem Bedienungsmodell des Produktes, wird das Produkt während der Nutzung so reagieren, wie vom Nutzer erwartet. Unterscheiden sich die beiden Modelle, kann je nach Grad der Differenz ein abweichendes, nicht vom Nutzer erwartetes Produktfeedback eintreten.

Brücke der Bewertung – Während der „Brücke der Bewertung“ versucht der Nutzer das Produktfeedback zu erfassen, zu verarbeiten und daraus Rückschlüsse zu ziehen. Durch die Interaktion mit dem Produkt tritt immer eine Rückkopplung auf. Hierbei können drei grundlegende Kategorien unterschieden werden, welche fließend ineinander übergehen.

- Erwartungskonforme Rückkopplung – Das Produkt reagiert so, wie in der Vorstellung des Nutzers antizipiert, und liefert das gewünschte Ergebnis
- Ineffiziente Rückkopplung – Die Rückkopplung des Produktes weicht von der Intention des Nutzers ab. Das gewünschte Ziel konnte nicht gänzlich erreicht werden
- Fehlende Rückkopplung – Es kommt keine Produkt-Rückkopplung zustande

Durch die Rückkopplung entstehen mehrere nutzerbezogene Effekte. Zum einen bewertet der Nutzer auf Grundlage der Güte der Rückkopplung seine Handlung. Hierdurch wird entweder das aktuelle mentale Modell des Nutzers verstärkt, verändert oder gänzlich verworfen. Gegebenenfalls werden Emotionen auf Grundlage der Rückkopplung erzeugt, deren Grad und Güte unterschiedlich stark ausfallen können. Ist der Nutzer mit einer erwartungskonformen Rückkopplung konfrontiert, da seine Vorstellung mit der Funktionsweise des Produktes übereinstimmt, wird er in seiner Art und Weise der Nutzung des Produktes bekräftigt, wodurch er sein mentales Modell verstärkt und gleichzeitig eine zufriedenstellende Nutzung wahrnimmt.

Bei einer ineffizienten Rückkopplung hat der Nutzer zwar ein Teilziel seines Nutzungsziel erreicht, jedoch nicht in dem Umfang, wie er es erwartet hat, und er wird dadurch seine Spezifizierung der Handlung entsprechend der Rückkopplung anpassen. Hierbei ist es möglich, dass die Rückkopplung die Ursache der Fehlbedienung aufzeigt, sofern es sich um eine Fehlbedienung handelte. Gleichwohl ist es möglich, dass die Ergebnisse durch den Nutzer fehlinterpretiert werden und dadurch sein mentales Modell nicht optimiert, sondern verschlechtert wird. Gleichzeitig stört eine ineffiziente Bedienung den Handlungsprozess, wodurch negative Emotionen in die Handlung projiziert werden können. Diese Emotionen variieren mit der Stärke der Ineffizienz sowie mit der Anzahl der ineffizienten Ausführungen.

Bei fehlender Rückkopplung ist das System nicht in der Lage, auf die Bedienung des Nutzers zu reagieren. Eine fehlende Rückkopplung kann als Extrem der insuffizienten Rückkopplung gesehen werden und verhindert eine Interpretation der Handlung. Sie zeigt nur auf, dass das mentale Modell angepasst werden muss, aber nicht wie. Die fehlende oder insuffiziente Rückkopplung löst negative Emotionen beim Nutzer während der Interaktion mit dem Produkt aus. Beispiele hierfür können sein Frust, Unverständnis und Überforderung.

Unter Betrachtung der Annahme, dass Produkteinfachheit durch die Merkmale und Eigenschaften des Produktes (produktbezogene Einfachheit) und die Kenntnisse, Erfahrungen, Fähigkeiten und Emotionen des Nutzers geprägt werden (nutzerbezogene Einfachheit) ist zu erkennen, dass die Rückkopplung und deren Interpretation eine Reaktion der produktbezogenen Einfachheit mit der nutzerbezogenen Einfachheit ist. Beide stehen in Relation zueinander. So kann ein Produkt für einen Nutzer als kompliziert und für einen anderen als einfach erscheinen. Die Wahrnehmung des Produktes steht in der Verbindung mit den Fähigkeiten, Erfahrungen, Kenntnissen, kulturellen Hintergründen sowie den während der Nutzung aktiven Emotionen des Nutzers.

Aus Sicht eines mit dem Produkt interagierenden Nutzers kann von einem einfachen Produkt nicht nur dann gesprochen werden, wenn es Kriterien der Einfachheit bei der Gestaltung seiner Komponenten in deren Zusammensetzung und Zusammenspiel sowie in Aufbau und Struktur erfüllt, sondern auch dann, wenn dessen Nutzung erwartungsgemäß innerhalb eines definierten Zeitintervalls intuitiv störungs- und fehlerfrei mit dem erwarteten Funktionsumfang zur Verfügung steht. Dadurch steht das Leistungsvermögen des Produkts dem Nutzer ohne negative Einflüsse für den Nutzer in erwartbarer Art und Weise zur Verfügung. Durch dieses Fernbleiben von Störquellen ergibt sich für den Nutzer das Gefühl eines einfachen Produktes. Einfachheit ist somit für den Nutzer in der Regel kein aktives Empfinden, sondern wird nur durch das Fehlen von Komplexität oder einer „nicht einfachen“ Bedienung wahrgenommen [PiVS-2018b].

3.6.2 Das Komplexitätsniveau

Innerhalb von Abschnitt 3.6.1 wurde deutlich, dass Einfachheit aus Nutzersicht von Nutzer zu Nutzer anders wahrgenommen werden kann. Die nutzerbezogene Einfachheit variiert auf Grundlage der Fähigkeiten, Erfahrungen, Kenntnisse, kultureller Hintergründe sowie aktiven Emotionen des jeweiligen Nutzers.

Zur Gliederung dieser Unterschiede in der Wahrnehmung gibt es in innerhalb der markt- und sozialwissenschaftlichen Gesellschaftstypologien, welche Gesellschafts- und Zielgruppe innerhalb von Sozialer-Milieus gliedert. Beispielhaft dafür sind die vom Sinus-Institut erstellten Sinus-Milieus (siehe Abbildung 27) [Sinu-2020].

Die Sinus-Milieus[®] in Deutschland 2020

Soziale Lage und Grundorientierung

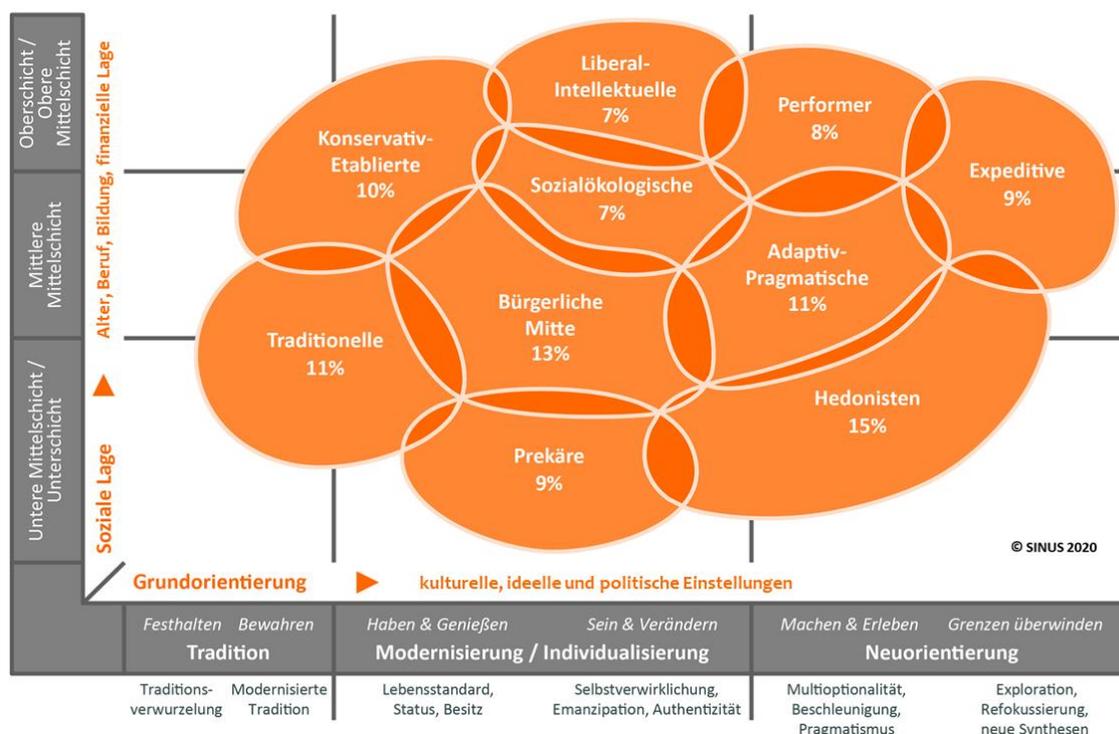


Abbildung 27: Soziale Lage und Grundorientierung in Deutschland 2020 [Sinu-2020]

Dabei unterscheidet das Sinus-Institut zehn verschiedene Milieus, welche über die Achsen „soziale Lage“ und „wertbezogene Grundorientierung“ definiert werden. Die soziale Lage umfasst dabei Kenngrößen wie Alter, Beruf, Bildung und finanzielle Lage. Innerhalb der Grundorientierung werden kulturelle, ideelle und politische Einstellungen als Merkmale verwendet. Je weiter oben ein Milieu angesiedelt, desto höher sind die Bildung und das Einkommen, je weiter rechts, desto progressiver und liberaler. Aus diesen Milieus heraus schließt das Institut Rückschlüsse sowohl auf Reaktionen zu spezifischen politischen und gesellschaftlichen Ereignissen

als auch auf das Verhalten von Nutzern mit bestimmten Produktkategorien [Sinu-2020]. Mit ihrer Hilfe kann die nutzerbezogene Einfachheit je nach Produktkategorie für die verschiedenen Milieus betrachtet werden. Bspw. ist davon auszugehen, dass Expeditiv und Performer des Milieus schneller passende mentale Modelle für neue am Markt etablierte technische Produkte aufbauen. Während Traditionelle eher Probleme beim Auseinandersetzen mit neuen Technologien und Produkten aufzeigen.

Nach [Zeh-2010] erlaubt diese ganzheitliche Darstellung der Lebensumstände der einzelnen Milieus eine differenzierte Sichtweise auf spezifische subjektive Größen, wie bspw. das ästhetische Wertgefüge (siehe dafür [Zeh-2010]) oder, wie in diesem Fall, die Wahrnehmung von Einfachheit. Es ist anzunehmen, dass Individuen innerhalb eines Milieus, welche dieselben Interessen, Lebensumstände und Einstellungen besitzen, ähnliche Präferenzen bei der Wahrnehmung von subjektiven Größen, wie Ästhetik oder auch Einfachheit aufzeigen [Zeh-2010].

Unter der Annahme, dass die Wahrnehmung von Einfachheit, Kompliziertheit und Komplexität wie in Abschnitt 3.4.2 beschrieben bei jedem Menschen in unterschiedlichen Ausprägungen erfolgt, ist Einfachheit als einer von drei Zustände der Wahrnehmung zu beschreiben (einfach, kompliziert und komplex), welcher ein fließendes Übergangsverhalten aufzeigt. Somit besitzt jedes Individuum ein eigenes Komplexitätsniveau⁷⁴, welches in Abhängigkeit der „Fluency Theorie“ (Abschnitt 3.4.2) als Kenngröße für die Verarbeitung von Reizen agiert. Je mehr dieses Niveau ausgeprägt ist, desto höher ist die Anzahl an Reizen, welche ohne die Wahrnehmung von Komplexität aufgenommen werden können. Dieser Umstand ist schematisch in Abbildung 28 dargestellt.

⁷⁴ Das Komplexitätsniveau dient als Zusammenfassung der nutzerspezifischen Kenngrößen, welche durch soziale, kulturelle, demografische, emotionale und bildungsspezifische Parameter beeinflusst wird. Es stellt eine schematische Beschreibung der unterschiedlichen nutzerbezogenen Einfachheit da. Das Komplexitätsniveau symbolisiert die Schwelle, bis zu welcher die Komplexität eines Produktes von einem Nutzer noch beherrschbar ist.

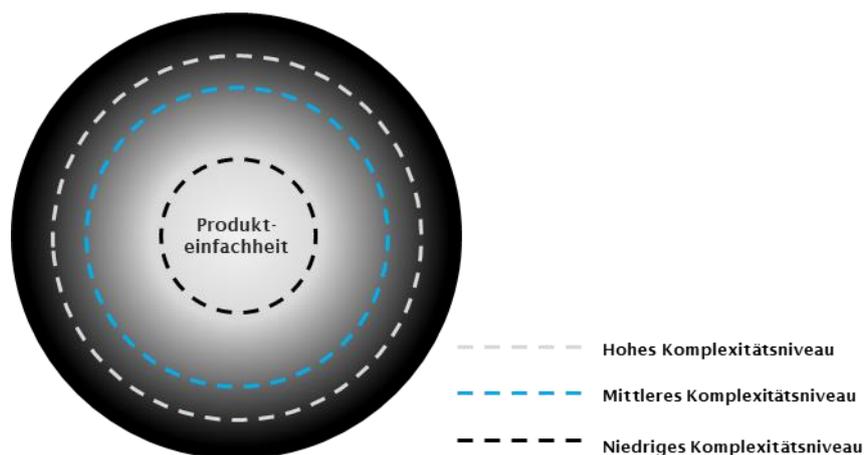


Abbildung 28: Schematische Darstellung zwischen Produkteinfachheit und Komplexitätsniveau

Im Zentrum von Abbildung 28 steht die Produkteinfachheit, welche als produktbezogene Abhängigkeit hier als so einfach wie möglich angenommen wird. In idealisierter Weise spiegelt dieser ein fiktives Produkt wider, dem für den Nutzer eine maximal einfache Interaktion innerhalb der für den Nutzer relevanten Phasen des Produktlebenszyklus zugrunde liegt. Dieser idealisierte Parameter wird zum Kreisrand hin stetig schlechter bis zu einem idealisierten Maximum an Produktkomplexität. Auf Grundlage verschiedener Komplexitätsniveaus ist nun die Wahrnehmung des Produktes – ob es sich um ein einfaches Produkt handelt oder nicht – unterschiedlich. Während ein Individuum mit einem niedrigen Komplexitätsniveau ein stark einfach ausgeprägtes Produkt benötigt, kann ein Individuum mit einem hohen Komplexitätsniveau ein sehr viel höheres Maß an Produktreizen wahrnehmen und dies dennoch als einfach bewerten. Dies deckt sich auch mit den Aussagen der Verarbeitungsflüssigkeit aus Abschnitt 3.4.2.

Somit ist es auch möglich, dass ein identisches Produkt für nahezu gleich ausgeprägte Komplexitätsniveaus dennoch unterschiedlich wahrgenommen wird. Als Beispiel dafür dient der Links- und Rechtsverkehr. Hierbei handelt es sich um dieselbe Funktionalität, der Unterschied besteht ausschließlich in der Spiegelsymmetrie des Aufbaus. Während in Deutschland das Lenkrad auf der linken Seite ist und auf der rechten Straßenseite gefahren wird, befährt der Linksverkehr die linke Straßenseite und das Lenkrad befindet sich beim rechten Fahrersitz. Prinzipiell sind dies zwei gleich effiziente, effektive und fehlertolerante Funktionsweisen (ohne hier den Grad der genannten Parameter bestimmen zu wollen), dennoch erscheinen beide Varianten je nach Nutzer unterschiedlich komplex.

Ein Produkt, das aus Sicht der produktabhängigen Einfachheit optimal gestaltet ist, kann in den Augen des Nutzers dennoch als kompliziert oder sogar komplex wahrgenommen werden, wenn es nicht die Kenntnisse und die Kultur des Nutzers trifft. Methoden zur Marktanalyse wie bspw.

der Sinus-Milieus bieten einen Ansatz, um die Komplexitätsniveaus der gesetzten Zielgruppe zu analysieren und auf deren Grundlage die Größe der produktbezogenen Komplexität zu bestimmen.

3.6.3 Einfachheit aus Anbietersicht

Während Einfachheit innerhalb der Nutzung zu einem großen Teil von subjektiven Wahrnehmungen gebildet wird, welche durch eine nutzerbezogene Einfachheit entsteht, können aus Anbietersicht objektive Größen herangezogen werden. Anders als aus Nutzersicht ist aus Anbietersicht ein komplizierter Prozess kein negativer Zustand. Komplizierte Prozesse können analog zur Definition aus Abschnitt 3.3.2 durch entsprechende Schulungen erlernt und beherrscht werden. Komplexität hingegen ist eine sich dynamisch verändernde Größe, welche aus systemtheoretischer Sicht die Verknüpfung und Vielschichtigkeit und somit den Organisationsaufwand darstellt. Somit ist ein komplizierter, aber erlernbarer Prozess für ein Unternehmen kein unmögliches Hindernis und somit resultiert daraus auch kein für den Anbieter komplexes Produkt. Vielmehr stellt ein einfaches Produkt einen optimalen Produktlebenszyklus mit so wenig Organisationsaufwand wie möglich dar.

Wird die Literaturrecherche aus Abschnitt 3.4 betrachtet, so ist erkenntlich, dass vor allem Rentabilität und Instandhaltbarkeit als Benchmarks für ein einfaches Produkt in mit dem Organisationsaufwand gegenübergestellt werden können. Dabei steht die Rentabilität in Abhängigkeit der Herstellungskosten und dem später angesetzten Produktpreis. Sind die Herstellungskosten vom Anbieter vorhersagbar, kann ein solcher Produktpreis angesetzt werden (sofern dies der Absatzmarkt erlaubt), welcher die Rentabilität des Produktes ermöglicht. Die Herstellungskosten sind dabei unter anderem von der Art und der Anzahl der Fertigungsprozesse, der Bauteilanzahl und deren Vielfalt sowie der Funktions- und Schnittstellenanzahl des Produktes abhängig. Es ist möglich die Herstellungskosten beliebig weit aufzuteilen und noch weitere Größen (wie bspw. Personal- und Betriebskosten) mit aufzunehmen. Diese werden aus Gründen der Übersichtlichkeit an dieser Stelle vernachlässigt.

Sind für alle Phasen des Produktlebenszyklus die zu tätigen Aufgaben und Investitionen planbar sowie effizient und effektiv erzielbar, ermöglicht dies die Entwicklung eines einfachen Produktes. Gleichwohl ist das Fernbleiben von Komplexitätstreibern während der Entwicklung essenziell, um eine Planungstreue zu gewährleisten. Komplexitätstreiber sind dabei Störquellen,

welche die geplante Rentabilität negativ beeinflussen können. Diese Störquellen können durch verschiedene Ursachen auftreten. Einige darunter sind bspw.:

- Neue Gesetze und Standards, welche die Produktentstehung und -herstellung beeinflussen
- Neue Richtlinien, welche die Produktentstehung und -herstellung beeinflussen
- Prozessverzögerungen

Somit wird aus Anbietersicht ein einfaches Produkt vor allem über die Rentabilität des Produktes für den Anbieter definiert, wodurch eine Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus notwendig ist. Für den Anbieter erscheint ein Produkt dann einfach, wenn seine Rentabilität effizient, effektiv, planbar und ohne Störungen innerhalb der geplanten Organisation erreicht werden kann [PiVS-2018a].

3.6.4 Definition einfacher Produkte

Zusammenfassend wurden in Kapitel 3 mehrere Beschreibungen und Definitionen von Einfachheit und Komplexität im Kontext des Produktlebenszyklus aufgenommen und diskutiert. Dabei wurde ersichtlich, dass die in Abschnitt 2.2 getroffene Einteilung von beteiligten Menschen im Produktlebenszyklus auch für die Definition einfacher Produkte anwendbar ist. Damit kann auf die eingangs genannte erste Forschungsfrage Bezug genommen werden:

- 1.) *Wie ist Einfachheit unter der Betrachtung der verschiedenen Gruppen des Produktlebenszyklus zu bewerten?*

Eine Beschreibung, Definition und Bewertung von Einfachheit sind nur möglich, wenn zwischen der Perspektive des Nutzers und der des Anbieters (als übergeordnete Rolle aller am Entwicklungsprozess beteiligten Gruppen) unterschieden wird. Somit kann ein für den Anbieter einfaches Produkt für den Nutzer komplex sein und andersherum⁷⁵. Eine Kombination der Betrachtungsweisen beider Gruppen kann in Teile somit die Bewertung von Produkteinfachheit durch dieses (mögliche) inverse Verhalten erschweren und das Ergebnis der Bewertung verzerren. So wäre es möglich, dass ein Produkt als einfach bewertet wird, weil die Entwicklung, Herstellung und der Vertrieb als einfach bewertet werden kann, aber die Nutzung des Produktes

⁷⁵ So ist das Auto für den Nutzer einfach zu bedienen, sodass es von jedem erlernt werden kann, während es für den Anbieter durch die große Vielzahl an Funktionalitäten, Organisation verschiedener Zulieferer und ihres dynamischen Einsatzumfelds als ein komplexes Produkt resultiert.

für den Nutzer nicht. Dies würde der Bewertung eines einfachen Produktes aus der Sicht des Nutzers nicht entsprechen.

Um dies noch weiter zu verhindern, kann es sinnvoll sein eine weitere Aufteilung der definierten Gruppen für eine noch präzisere Beschreibung von Einfachheit zu erhalten. Besonders die Gruppe des Anbieters ist durch ihre Festlegung über den gesamten Entwicklungs-, Herstellungs- und Vertriebsprozess sehr breit definiert.

Weiterhin konnten verschiedenste Einflüsse und Abhängigkeiten für die Produkteinfachheit herausgestellt und miteinander in Verbindung gebracht werden. Diese Erkenntnisse ermöglichen eine Beantwortung der zweiten Forschungsfrage:

2.) *Inwiefern und gegebenenfalls mit Hilfe welcher Einflussgrößen kann Einfachheit innerhalb der Produktentwicklung definiert werden?*

Darauf aufbauend konnten eine Beschreibung einfacher Produkte sowie zwei Definitionen aus Nutzer- und Anbietersicht aufgestellt werden.

Für beide Definitionen gilt, dass der Status „einfach“ sowie die Stati „kompliziert“ oder „komplex“ nie als feste Größe festgelegt werden können, sondern das Empfinden der Bewertenden Person (in dieser Arbeit Nutzer und Anbieter) zwischen diesen Extremen liegt. Der Grad der Einfachheit ist immer zu einem Teil (siehe Abschnitt 3.6.1) vom Betrachter abhängig und somit subjektiver Natur. Dadurch kann ein Produkt niemals maximal Einfachheit sein, vielmehr kann nur so weit wie möglich versucht werden, es zu vereinfachen.

Für die vorliegende Arbeit wird im für die Produkteinfachheit aus Nutzersicht folgende Definition verwendet:

Für den Nutzer ist ein Produkt einfach, wenn es Kriterien der Einfachheit bei der Gestaltung seiner Komponenten in deren Zusammensetzung und Zusammenspiel sowie in Aufbau und Struktur erfüllt sowie dessen Nutzung erwartungsgemäß innerhalb eines definierten Zeitintervalls intuitiv störungs- und fehlerfrei mit dem erwarteten Funktionsumfang zur Verfügung steht. Für die Perspektive des Anbieters ergibt sich analog zu Abschnitt 3.6.3 für die Produkteinfachheit folgende Definition:

Für den Anbieter erscheint ein Produkt dann einfach, wenn seine Rentabilität effizient, effektiv, planbar und ohne Störungen innerhalb der geplanten Organisation erreicht werden kann.

4. Bewertungbarkeit einfacher Produkte

Wie in Kapitel 3 festgestellt wurde, kann Einfachheit nicht ausschließlich durch objektive Kenngrößen beschrieben und definiert werden, sondern wird auch durch subjektive Parameter definiert, welche vom jeweils bewertenden Individuum abhängig sind. Subjektive bewertbare Produkteigenschaften werden jedoch vom Bewertenden in der Regel mit einer sprachlichen oder auch linguistischen Aussage bewertet. Beispiele hierfür sind Ausdrücke wie „gut“ oder „schlecht“ oder auch Aussagen, die zwischen zwei Extremen liegen, wie „weniger gut“. Diese Aussagen lassen sich mit der Zielsetzung eines Einfachheitsindex nur schwer in deterministische Bewertungsgrößen umwandeln und bieten daher eine besondere Herausforderung innerhalb der Evaluation von Einfachheit.

Aus diesem Grund ist es sinnvoll, vor der Einführung eines Bewertungsverfahrens für einen Einfachheitsindex, Bewertungsgrößen zu definieren, welche sowohl die in Kapitel 3 genannten Einflussgrößen einfacher Produkte widerspiegeln als auch einen geordneten und vordefinierten Grundrahmen innerhalb der Produktentwicklung bieten.

Während bisher Einfachheit innerhalb verschiedener Bereiche betrachtet und innerhalb dieser Bereiche mit den jeweiligen Bewertungsgrößen beschrieben wurde, bieten die Attribute des Integrated Design Engineering einen konstanten Definitionsrahmen mit Ursprüngen aus der Produktentwicklung, in welchem die gesammelten Einflussgrößen wiedergegeben werden können.

4.1 Attribute des Integrated Design Engineering

Zur Bewertung der Einflussgrößen eines Produktes, die helfen sollen, eine Beschreibung über die Einfachheit zu erstellen, ist es notwendig, eine geeignete Beschreibungsform der Leistungsmerkmale des Produktes zu finden, welche alle Aspekte zur Definition von einfachen Produkten beinhaltet. Hierbei ist sowohl eine konsistente Beschreibung der Nutzer- als auch Anbietersichtweise notwendig. Im Integrated Design Engineering werden die Merkmale, Eigenschaften, Kennzeichen und Wesensarten eines Produktes unter Verwendung von elf Attributen beschrieben. Sie dienen zur neutralen, vollständigen, ganzheitlichen und multikriteriellen Beschreibung des Leistungsangebots des Produktes. Sie sind unterteilt in sechs Produktattribute, drei Erfüllungsattribute sowie zwei Wirtschaftlichkeitsattribute [Vajn-2020].

4.1.1 Produktattribute

Die Produktattribute definieren das Leistungsvermögen und die Leistungsfähigkeit sowie das Verhalten des Produkts. Sie beschreiben aus Nutzersicht die Brauchbarkeit des Produktes sowie aus Anbietersicht die Herstellbarkeit [Vajn-2020]:

- Die Produktgestalt definiert die äußere Form sowie Produktkultur, -identität und -präsenz. Sie spiegelt die visuellen und emotionalen Eigenschaften des Produkts wider und präsentiert dem Nutzer damit sowohl die Produktfähigkeit als auch dessen Leistungsverhalten.
- Die *Funktionalität* beschreibt die Fähigkeit des Produkts, eine Reihe von diskreten Anforderungen zu erfüllen. Es muss zwischen Art, Niveau und Qualität einer Funktion und den gegenseitigen Einflüssen zwischen den Funktionen eines Produkts unterschieden werden.
- Die *Gebrauchstauglichkeit* beschreibt im weiteren Sinne Leistungsfähigkeit, Nutzbarkeit und Qualität der Schnittstellen zum Nutzer. Sie ist gekennzeichnet durch Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit des Benutzers.
- Die *Produzierbarkeit* (aus Anbietersicht) liefert alle Informationen, die für die Herstellung des Produkts erforderlich sind. Sie ist ein kosten- und technologieorientiertes Attribut. Sie definiert, unter welchen logistischen, technischen und organisatorischen Bedingungen ein Produkt erzeugt werden kann.
- Die *Verfügbarkeit* (aus Nutzersicht) beschreibt zum einen die Zugänglichkeit des Produktes am Markt. Dies bedeutet, dass für den Nutzer ein Produkt innerhalb eines bestimmten Zeitfensters verfügbar und zur Nutzung bereit ist. Zum anderen beschreibt es die Einsatzbereitschaft des Produktes während seiner Nutzungsphase⁷⁶.
- Die *Instandhaltbarkeit* beschreibt die Leichtigkeit, mit der ein Produkt gewartet, angepasst oder an neue Randbedingungen angepasst werden kann. Weiterhin definiert sie die Fähigkeit des Produkts, auf Fehlerzustände zu reagieren. Sie ist maßgebend für die Verfügbarkeit des Produktes.

⁷⁶ So benötigt beispielsweise ein Tintenstrahldrucker mehrere Arten von Ressourcen (Tinte, Papier, Strom) um seinen Mehrwert dem Nutzer bereitzustellen. Je häufiger der Toner des Druckers gewechselt werden muss (möglicherweise durch eine zu kleine Kartusche) oder austrocknet, desto weniger ausgeprägt ist die Einsatzbereitschaft des Druckers und somit seine Verfügbarkeit.

- Die *Nachhaltigkeit* wird über die Einhaltung aller ökologischen Anforderungen definiert, welche gleichsam mit den technischen, sozialen und wirtschaftlichen Anforderungen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg betrachtet werden müssen.

4.1.2 Erfüllungsattribute

Die Erfüllungsattribute beschreiben die unterschiedlichen Ausprägungen der Erfüllung der Produktattribute. Dies erfolgt durch Sicherheit, Zuverlässigkeit und Qualität. Diese dienen als Bewertungsmaßstab der Produktattribute und beschreiben die Soll-Sicht des Nutzers sowie die Ist-Sicht des Anbieters:

- *Sicherheit* bildet das Mindestmaß der Erfüllung eines Produktattributs und beschreibt eine schadenfreie Verwendung des Produktes für den Nutzer. Genauso definiert sie ein Mindestmaß an Robustheit gegenüber Fehlbedienungen. Sie gilt als Fest- oder Ausschlusskriterium.
- *Zuverlässigkeit* ist diejenige Erfüllungshöhe, bei der das Produkt über die vorgegebene oder erwartete Lebensdauer verlässlich und bestimmungsgemäß sowie mit einer gewissen Robustheit (Toleranz gegen Fehlbedienung oder Missbrauch) verwendet und aufbewahrt werden kann [DIN-40041]. Zuverlässigkeit stellt das Mindestkriterium der Leistungsfähigkeit des Produktes dar.
- *Qualität* spiegelt die Höhe und Güte der Erfüllung des aktuellen Leistungsvermögens des Produktes wieder sowie die Güte des Verhaltens in Verbindung zu den subjektiven Erwartungen des Nutzers [Garv-1988]. Sie bezieht sich auf die Summe aller Merkmale und Eigenschaften aus Sicht des Nutzers.

4.1.3 Wirtschaftlichkeitsattribute

Die Wirtschaftlichkeitsattribute beschreiben aus Nutzersicht den Mehrwert und aus Anbietersicht die Rentabilität des Produktes. Diese beiden Attribute stehen sich immer ergänzend gegenüber und sind bei jedem Produkt vorhanden. Nur durch eine voraussichtliche Rentabilität erhält der Anbieter den Impuls zur Entwicklung, und nur durch einen Mehrwert für den Nutzer entsteht ein Kaufbedürfnis.

- Der Mehrwert ist ein nutzerbezogenes Attribut und beschreibt das Verhältnis des Leistungsangebots des Produktes mit dem aus Nutzung, Beschaffung, Wartung und Entsorgung verbundenen Aufwand des Produktes für den Nutzer. Dabei sind die im Mehrwert enthaltenen
-

Größen nicht nur objektiver Natur, sondern können auch aus ideellen Wertsteigerungen⁷⁷ bestehen.

- Die *Rentabilität* wird über den Quotienten des erzielten Gewinns aus dem aktuellen Entwicklungsstand des Produktes im Vergleich zum Aufwand für die Realisierung des Produktes innerhalb eines Abrechnungszeitraums errechnet. Dabei ist die Rentabilität das maßgeblich Entscheidungskriterium für den Anbieter, um mit der Entwicklung und Herstellung des Produktes zu beginnen

Das Zusammenspiel von Mehrwert und Rentabilität ergibt die prinzipielle Größe der Wertschöpfung (vgl. Abschnitt 3.6.3).

4.1.4 Bewertungsprofil der Attribute

Aus der in Abschnitt 3.6 aufgeführten Definition einfacher Produkte folgt, dass acht der elf im IDE verwendeten Attribute zu einer neutralen Beschreibung des Leistungsangebots des Produkts (bestehend aus Leistungsvermögen und Verhalten beim Erbringen der Leistung) maßgeblich den Zustand „einfach“ beeinflussen können. Dabei handelt es sich um die sechs Produktattribute, das Erfüllungsattribut *Zuverlässigkeit* (aus der Sicht des Kunden beziehungsweise Nutzers) und das Wirtschaftlichkeitsattribut *Rentabilität* (aus der Sicht des Anbieters). Die *Sicherheit* als Erfüllungsattribut ist als Mindestmaß zu verstehen und somit ein Ausschlusskriterium, sofern sie nicht gegeben ist. Sie ist Grundvoraussetzung, damit der Nutzer in Kontakt mit dem Produkt kommt. Somit kann eine Beurteilung von Einfachheit nur zustande kommen, sofern die Sicherheit gegeben ist. Damit wird sie für das Zustandekommen von Einfachheit als gegebene Notwendigkeit betrachtet, sie hat jedoch keine Bedeutung für die Güte der wahrgenommenen Einfachheit. *Qualität* steht für die vom Nutzer als Wunschkriterium geforderte Güte der Ausprägung der Attribute. Sie steht für die Erwartungen, welche der Nutzer an das Produkt, bzw. der Anbieter an den Produktentwicklungsprozess des Produktes hat und welche bei einer Nichterfüllung als Komplexitätstreiber agieren. Die Produktattribute stehen dabei in Verbindung zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Beispielsweise hat die Produktgestalt einen starken Einfluss auf die Wahrnehmung des Produktes und somit auch auf die Gebrauchstauglichkeit.

⁷⁷ Beispiele hierfür sind Prestige, Status, Lebensgefühl und emotionale Bindung



Abbildung 29: Attribute des IDE zur Definition des Leistungsangebots einfacher Produkte mit Erweiterung von Unterkriterien nach [PiVS-2018a]

Entsprechend der in Abschnitt 3.6 aufgestellten Definition von Einfachheit beschreibt Abbildung 29 die relevanten Attribute für Nutzer und Anbieter. Auf Basis der Definition der einzelnen Attribute wurden Unterkriterien bestimmt, welche die Attribute in ihrer Eigenart beschreiben. Dabei ist diese Aufstellung an Unterkriterien nicht zwingend vollständig, um das Attribut gänzlich zu beschreiben, jedoch so weit wiedergegeben, dass die Einflüsse auf die Produkteinfachheit von ihm widerspiegelt werden. Die Auswahl der Unterkriterien bezieht sich auf die Definition der Attribute nach [Vajn-2020] sowie Ergebnisse eines auf der DESIGN 2018 Konferenz in Kroatien ausgeführten Workshops zum Thema „Einflussfaktoren von Einfachheit“, an dem 27 internationale Mitglieder der Design Society teilnahmen.

Die IDE-Attribute bilden einzelne Bewertungsgrößen, welche in ihrer jeweiligen Ausprägung und den Kombinationen untereinander die Einfachheit eines Produktes beschreiben können. Werden einzelne Attribute in ihrer Ausprägung verändert, sei es durch leichte Anpassungen oder radikale Änderungen, hat dies Einfluss auf das gesamte System. Durch die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Attribute sind diese Änderungen zumeist schwer vorhersagbar. Je weiter ausgeprägt die Güte der Attribute aus Abbildung 29 ist, desto mehr wird das Produkt vom Nutzer als „einfach“ wahrgenommen.

4.2 Attribute einfacher Produkte

Um die in Abschnitt 3.5 ermittelten Einflussgrößen von Einfachheit auf die Attribute des Integrated Design Engineering zu übertragen und somit den jeweiligen Einfluss der einzelnen Attribute auf die Einfachheit zu bestimmen, ist es notwendig, die Einflussgröße den Attributen gegenüberzustellen. Dabei sind die einzelnen Einflussgrößen häufig auf mehrere Attribute zu beziehen. Das liegt daran, dass die Attribute des IDE sich untereinander beeinflussen. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit und Zuweisung der Einflussgrößen auf die Attribute ist in Abbildung 30 ein Sankey-Diagramm dargestellt, welches die Charakterzüge der Attribute und der Einflussgrößen übereinanderlegt. Durch die jeweilige Anzahl der verschiedenen Einflussgrößen ist es möglich ein Verhältnis, bezogen auf die Anzahl der aufgestellten Integrationen, aufzustellen, um somit eine Gewichtung der Attribute in Bezug auf Produkteinfachheit zu erhalten. Eine Unterscheidung des Sankey Diagramms aus Nutzer und Anbietersicht ist in Anhang 0 abgebildet.

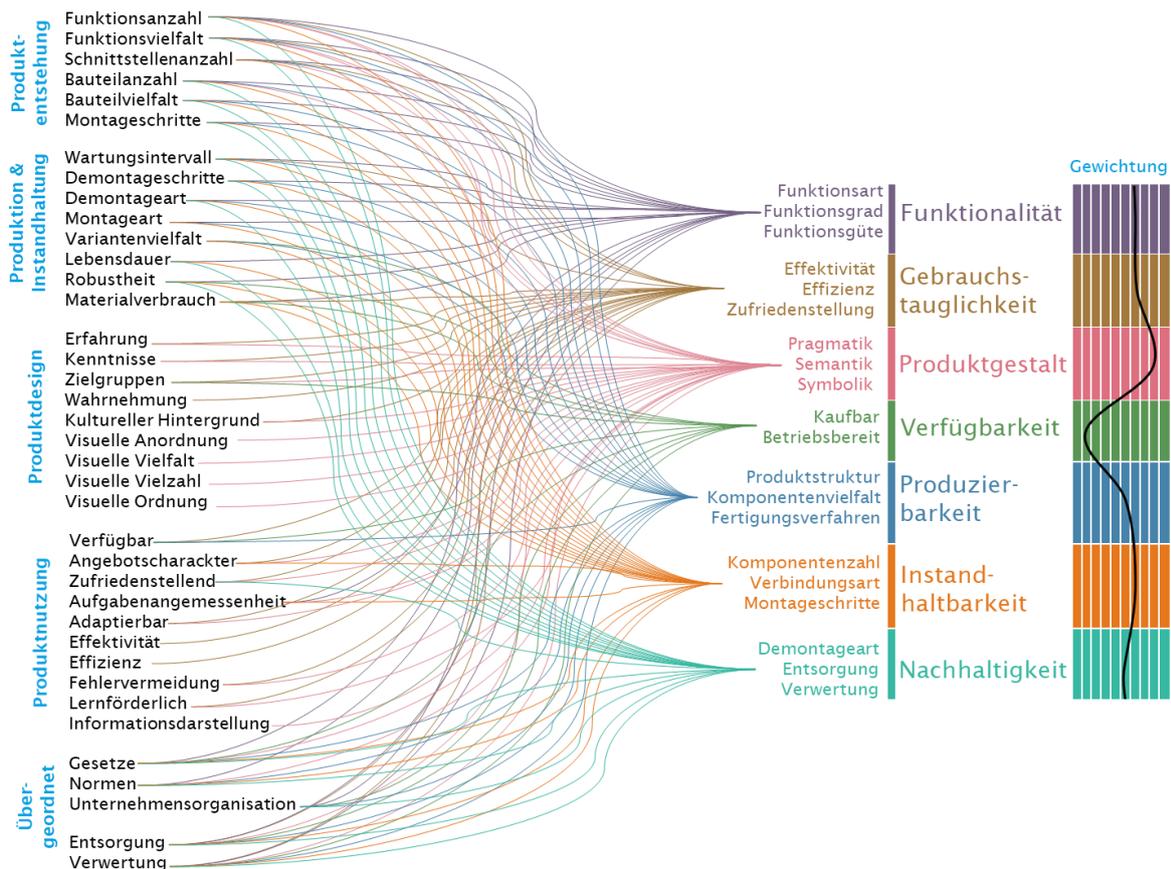


Abbildung 30: Sankey-Diagramm der Übertragbarkeit der Einflussgrößen auf die Attribute des IDE

Im linken Teil der schematischen Darstellung sind die Einflussgrößen aus Abschnitt 3.5, welche als Resultat der Literaturrecherche über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg hinsichtlich Einfachheit gesammelt wurden (vgl. Abschnitt 3.4). Lediglich die Ergebnisse aus der

unternehmensinternen und -externen Komplexität sowie der Entsorgung und Verwertung wurden zusammengefasst, da diese übergeordnet auf alle Attribute Einfluss nehmen. Im rechten Teil befindet sich die Liste der Produktattribute, welche das Leistungsvermögen des Produktes beschreiben. Die einzelnen Übertragungslinien sind farblich den jeweils erreichten Attributen zugeordnet. Die resultierende Gewichtung, welche sich durch die Anzahl der Verbindungen auf die einzelnen Attribute ergibt, ist rechts grafisch dargestellt. Dabei ist die Produktgestalt das Attribut, welchem die meisten Einflussgrößen zugeordnet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Produktgestalt ein durch den Entwickler direkt beeinflussbares Merkmal ist [Webe-2011], zu dessen Ausprägungen weitere Attribute in Abhängigkeit stehen. Funktionalität, Instandhaltbarkeit und Produzierbarkeit haben eine fast gleiche Verteilung. Dies liegt daran, dass vor allem Einflussgrößen der Produktentstehung, wie z.B. Bauteilanzahl und Bauteilvielfalt sowie die Funktionsvielfalt in allen Attributen wiedergefunden werden können. Gleiches gilt für Bereiche aus der Produktion, welche sowohl Einfluss auf die Instandhaltung als auch auf die Produzierbarkeit nehmen. Beispiele hierfür sind Montageart und -schritte. Auch zwischen der Produktgestalt, der Gebrauchstauglichkeit und der Funktionalität sind Einflüsse festzustellen. So sind Funktionsart und Funktionsgrad sowie Effektivität und pragmatische Qualität (vgl. Abschnitt 3.4.2) des Produktes abhängig von Erfahrungen, Kenntnissen und Wahrnehmung des Nutzers. Die Verfügbarkeit, welche aus Anbietersicht gleichzeitig die Produzierbarkeit ist⁷⁸, hat den geringsten Einfluss, da diese für den Nutzer nur beim Erwerb sowie hinsichtlich der dauerhaften Nutzung von Relevanz ist.

⁷⁸ Es sei denn, das Produkt wird durch Drittanbieter hergestellt, dann ist auch hier für den Anbieter die Verfügbarkeit das relevante Attribut.

5. Ein unscharfes Bewertungssystem

Nachdem im vorherigen Kapitel Kenngrößen einfacher Produkte Bewertungsattributen zugewiesen wurden und darauf aufbauend bewertbare Unterkriterien definiert wurden, ist im nächsten Schritt die Frage nach dem geeigneten Bewertungsmodell zu klären. Wie die Beantwortung der ersten und zweiten Forschungsfrage in Abschnitt 3.6.4 ergab, ist Einfachheit keine feste Größe, sondern kann nur als Wahrnehmungen zwischen definierten Randbereichen festgelegt werden. Der Grad der Einfachheit eines Produktes ist immer von der subjektiven Perspektive des Betrachters abhängig, welche sich durch seine Kenntnisse, Vorstellungen, Ziele und Erfahrungen bildet.

Ziel dieses Kapitels ist es zu prüfen, welches Bewertungsmodell diese Eigenschaft aufnehmen sowie möglichst realitätsnah verarbeitet und wiedergeben werden kann.

5.1 Grundlagen der Bewertung

Die Bewertung eines technischen Systems ist im Grundsatz klar definiert. Laut [BrKn-1997] werden dabei für eine endliche Menge an Lösungen beliebiger Art gemeinsame Bewertungskriterien aufgestellt, diese mit einheitlich erfassbaren und vergleichbaren Werten versehen sowie deren Summen als Wertvergleich gegenübergestellt. Dadurch kann über den höchsten Wert die beste und über den niedrigsten Wert die schlechteste Lösung ermittelt werden. Dabei kann die endliche Anzahl an Lösungen, welche in dieser Dissertation verschiedene zu bewertende Produkte widerspiegelt, aus beliebigen Fachgebieten und aus beliebigen Reifegraden stammen, jedoch aus demselben Pool an Messgrößen schöpfen [BrKn-1997].

Die Bewertungskriterien und deren zugeordnete Werte benötigen daher möglichst objektiv erfassbare Kriterien. Laut Definition sind dies nur Werte, welche quantitativ erfassbar sind. Somit sind alle Werte, welche zähl-, mess-, wäg oder berechenbar sind, geeignet als Werte zur Bestimmung der Güte der Bewertungskriterien⁷⁹ zu fungieren [BrKn-1997].

Bei einer Vielzahl von Bewertungen kann aber nicht ausschließlich auf diese Art von Werten zurückgegriffen werden, weil sie einen subjektiven Charakter aufweisen. Im engeren Sinne sind dies jede Art von Bewertungsgrößen, welche qualitativ erfassbar sind. Dazu gehören

⁷⁹ Beispiele dafür sind Schadstoffmesswerte, Temperaturen oder Messwertdiagramme.

Meinungen, Beobachtungen, Schätzungen, rangmäßig bewertbare oder unscharf modellierte Eigenschaften⁸⁰.

Insgesamt ist zwischen drei verschiedenen Unterarten von Kriterien zu unterscheiden [BrKn-1997]:

- Deterministische Kriterien – quantitativ scharf erfassbare Werte
- Linguistische Werte – qualitativ unscharf erfassbare Werte
- Probabilistische Werte – auf Wahrscheinlichkeit beruhende scharfe und unscharfe Werte

Diese drei Unterarten resultieren insgesamt in zwei verschiedenen Charaktereigenschaften von Werten, welche bei der Evaluation eines technischen Systems verwendet werden. Es entstehen Werte und Eigenschaften mit einem scharfen und unscharfen Charakter. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 31 verdeutlicht.

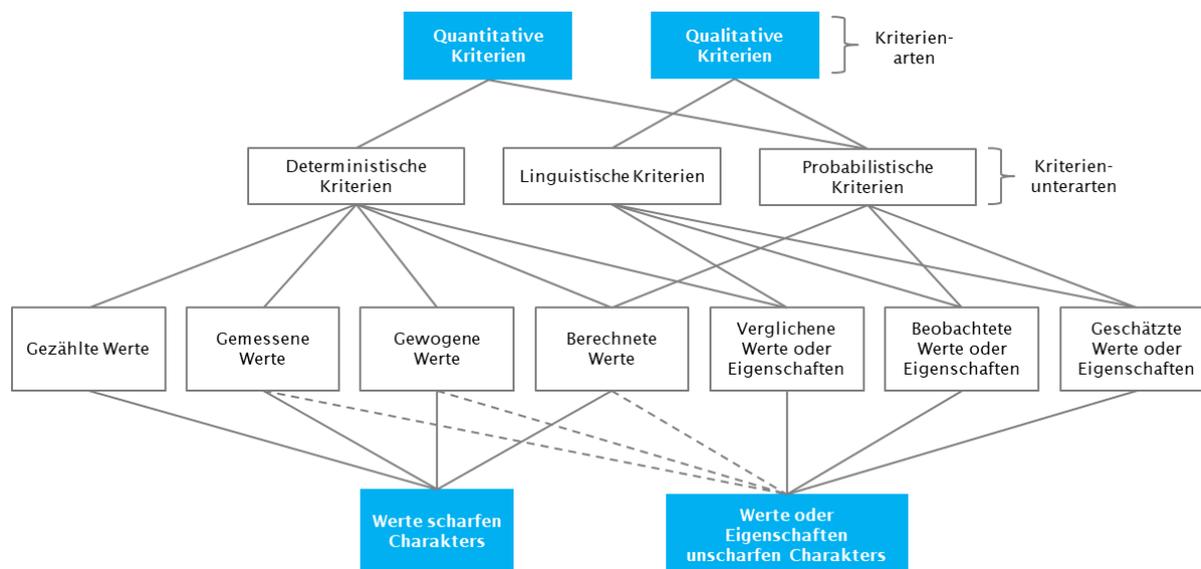


Abbildung 31: Kriterienarten und -unterarten und ihre charakteristischen Werte [BrKn-1997]

Bezogen auf die Produkteinfachheit und die für sie verantwortlichen Attribute, welche innerhalb dieser Dissertation als Bewertungskriterien dienen sollen, ist festzustellen, dass sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien zum Einsatz kommen. Somit werden analog zu Abbildung 31 sowohl Werte scharfen Charakters als auch Werte und Eigenschaften unscharfen Charakters zum Einsatz kommen.

⁸⁰ Beispiele hierfür sind Marktanalysen, Umfrageergebnisse oder Trendaussagen.

Während die Anzahl der Montageschritte oder der verwendeten Komponenten durch scharfe, quantitative, deterministische Werte beschrieben werden können, sind die Attribute wie die Produktgestalt sowie die Gebrauchstauglichkeit hauptsächlich durch subjektive und unscharfe Größen zu beschreiben. Die Gebrauchstauglichkeit wird unter anderem durch eine zufriedenstellende Nutzung definiert, welche in Abhängigkeit des Bewertenden und dessen Nutzerkontext steht und somit größtenteils auf verglichene Eigenschaften zurückzuführen ist. Somit ist bei der Bewertung für Einfachheit zwischen diesen beiden Arten zu unterscheiden. Eine Auflistung der deterministischen (scharfen) und linguistischen (unscharfen) Attribute ist in Abbildung 32 dargestellt.

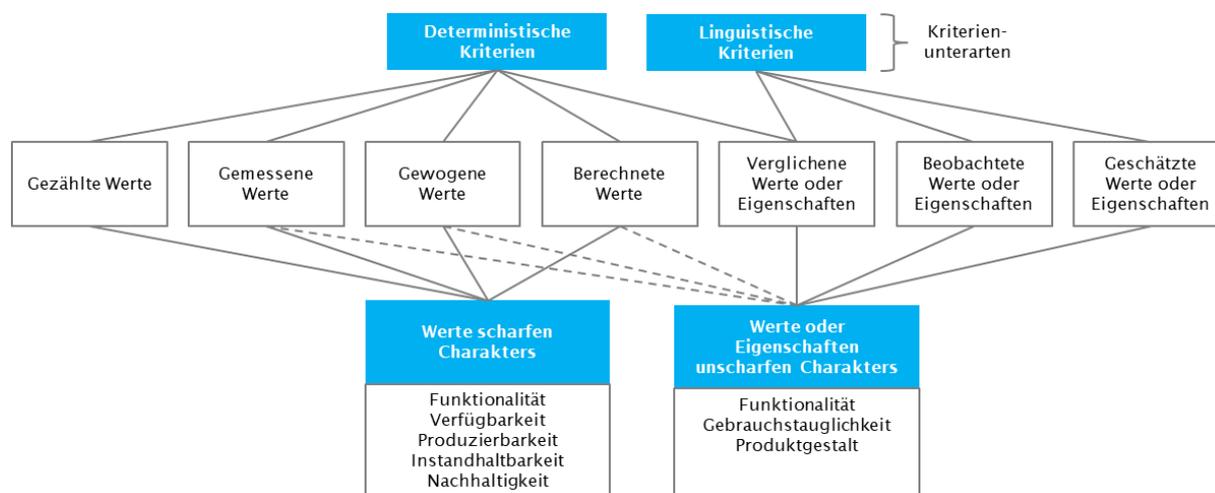


Abbildung 32: Deterministische und linguistische Attribute

Die Attribute Verfügbarkeit, Produzierbarkeit, Instandhaltbarkeit und Nachhaltigkeit sind durch deterministische Werte ausreichend gut zu beschreiben. So kann Verfügbarkeit durch das Lieferungsdatum oder die verfügbare Produktmenge beschrieben werden. Produzierbarkeit wird analog zu Abbildung 30 durch die Produktstruktur, die Komponentenvielfalt und die gewählten Fertigungsverfahren definiert. Auch hierbei sind alle Kategorien durch zählbare, gemessene oder berechnete Werte beschreibbar. Das gleiche gilt für die Instandhaltbarkeit und die Nachhaltigkeit. Die Funktionalität ist je nach Perspektive als deterministisches oder linguistisches Attribut zu betrachten. Einerseits kann die Funktionalität anhand der Funktionsvielfalt und Funktionsanzahl durch natürliche Zahlen beschrieben werden, andererseits ist eine gute Funktionalität aus der Perspektive des Nutzers geprägt durch seine Erwartungen an das Produkt. Diese Erwartungen werden durch seine Kenntnisse, Erfahrungen, seinen kulturellen Hintergrund sowie seine aktuelle emotionale Situation beeinflusst. Dieser Einfluss ist auch bei der Gebrauchstauglichkeit (bspw. bei der Bewertung der Zufriedenstellung) und der Produktgestalt

(bspw. Ästhetik) wiederzufinden, weshalb diese Kategorien nur durch linguistische Werte beschreiben werden sollten.

Es stellt sich die Frage, durch welche Methoden qualitative und quantitative Kriterien in geeigneter Weise zu bewerten sind. Hierfür wird im Folgenden eine Auflistung der relevanten Methoden sowie eine Beurteilung ihrer Eignung zur Bewertung der Produkteinfachheit erfolgen. Insgesamt werden fünf verschiedene Methoden aufgelistet und diskutiert. Die Auswahl der Methoden erfolgte hierbei durch das von [BrKn-1997] dargestellte Spektrum an Bewertungsmethoden technischer Systeme:

- Nutzwertanalyse
- Rangfolgeverfahren
- Technisch-wirtschaftliche Bewertung
- Unscharfe Expertensysteme
- Conjoint-Analyse

Weiterhin findet eine Bewertung der Autogenetischen Konstruktionstheorie [VCJB-2005] statt (vgl. Abschnitt 5.1.6), welche besonders bei multikriteriellen Problemen durch ihren evolutionären Charakter Anwendung findet.

5.1.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse kann besonders dann angewandt werden, wenn es notwendig ist, zwischen mehreren ähnlichen Lösungsansätzen zu unterscheiden. Hierbei ist das Grundprinzip, dass die zu bewertende Haupteigenschaft in mehrere Unterkriterien zerlegt werden kann und diese wiederum innerhalb einer Struktur untereinander gewichtet und bewertet werden können. Grundvoraussetzung dafür sind eine vollständige Auflistung aller relevanten Bewertungsgrößen, Unabhängigkeit zwischen diesen sowie größtenteils quantitativ erfassbare Werte [Zang-2014].

Die Idee dahinter ist es, die zu bewertende Größe in Unterkategorien aufzugliedern und diese Unterkategorien ihrer jeweiligen Gliederungsebene nach zu gewichten. Durch die verschiedenen Gliederungsebenen ergeben sich zwei Gewichtungsstufen. Das Knotengewicht wird innerhalb einer Gliederungsebene im Intervall 0-1 vergeben und muss in Summe der Gliederungsebene 1,0 ergeben. Das Stufengewicht ist die für die Nutzwertanalyse maßgebende Gewichtung und ergibt sich aus dem Produkt der Knotengewichtung eines Kriteriums und der Stufengewichtung des übergeordneten Zielkette. Es muss in Summe auf der niedrigsten Gliederungsebene

sowie das Knotengewicht 1,0 ergeben [Zang-2014]. Das Prinzip ist beispielhaft in Abbildung 33 dargestellt.

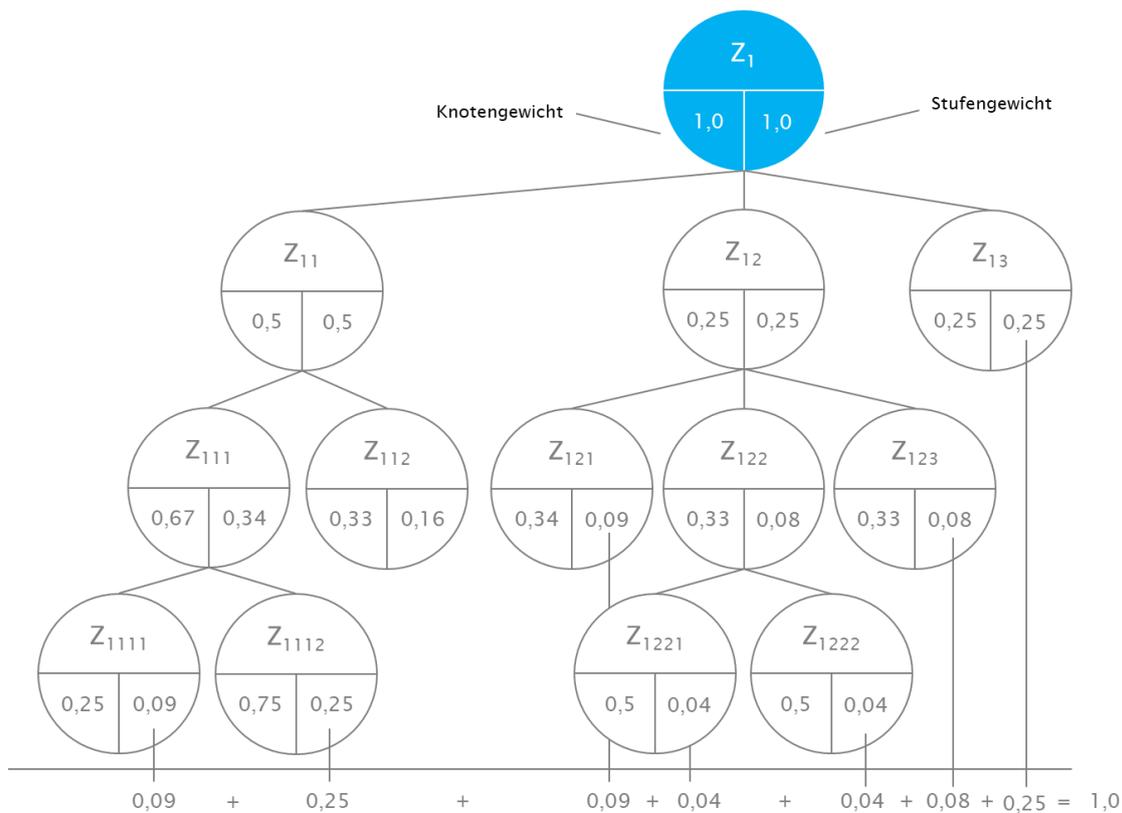


Abbildung 33: Beispiel zur stufenweisen Bestimmung der Gewichtung nach [BrKn-1997]

So ergibt sich beispielhaft das Stufengewicht für Stufe Z_{111} durch die Multiplikation des eigenen Knotengewichts von 0,67 mit der Stufenkomplexität von Z_{11} , welche 0,5 beträgt und resultiert in einer Stufengewichtung von gerundet 0,34. Die Rechnung der untersten Zeile in Abbildung 33 summiert die Stufengewichtungen der jeweiligen Ebene auf und muss immer in Summe 1,0 ergeben.

Die entsprechenden Bewertungsgrößen werden innerhalb eines Wertespektrums von 0-10 bewertet, wobei 0 als „absolut mangelhaft“ gilt und 10 als „Ideallösung“. Wird der Wert der Stufengewichtung mit dem Bewertungswert multipliziert, ergibt sich ein aussagekräftiger, gewichteter Wert, der dessen Stellenwert im Vergleich zu allen anderen Bewertungskriterien aufzeigt [BrKn-1997].

Vorteile der Nutzwertanalyse bestehen vor allem darin, dass [BrKn-1997]:

- Entscheidungen transparent getroffen werden,
- Alle relevanten Kriterien mit in den Bewertungsprozess einbezogen werden können und
- Komplexe Bewertungen durch das Erstellen von Teilkriterien überschaubarer werden.

Nachteile der Nutzwertanalyse sind vor allem Folgende:

- Es besteht die Notwendigkeit von vollständig unabhängigen Kriterien, um eine Doppelgewichtung zu vermeiden.
- Benötigtes Fachwissen wird vorausgesetzt.
- Die Analyse ist zeit- und arbeitsintensiv.

5.1.2 Rangfolgeverfahren

Das Rangfolgeverfahren ist besonders für Produkte innerhalb der frühen Phasen der Entwicklung ein geeignetes und schnelles Bewertungsverfahren. Bei diesem Verfahren wird durch jeweils zwei ausgewählte Kriterien eine Bewertung erstellt, die ein Kriterium entweder als besser „+“, schlechter „-“ oder gleichwertig „0“ definiert. Diese werden in tabellarischer Form ausgewertet, sodass jedes Kriterium im Binär-Vergleich mit einem jeweils anderen Kriterium eine Wertung erhält. Im darauffolgenden Schritt werden zeilenweise die Summen der besser bewerteten Kriterien gezählt (vgl. Tabelle 14). Diese Summen definieren untereinander eine Rangfolge, welche die Kriterien der Wichtigkeit nach anordnet. Die Gewichtungssumme ergibt sich daraufhin durch das Verhältnis von der Anzahl der „+“ mit der Anzahl der insgesamt verteilten „+“. Dadurch erhält im Beispiel in Tabelle 14 Kriterium A eine Gewichtung von 0,5, während Kriterium B und D eine Gewichtung von 0,25 erhalten. Kriterium C fällt aufgrund der Bewertung, resultierend aus den Binär-Vergleichen, heraus. Daraus lässt sich schließen, dass es innerhalb der beispielhaften Bewertung von Tabelle 14 innerhalb des Binär-Vergleiches mit anderen Kriterien schlechter abgeschlossen hat. Als Resultat wird Kriterium C mit einer Gewichtung von 0 gewichtet und fällt somit heraus. Es ist fraglich, inwiefern das Rangfolgeverfahren dadurch alle Entscheidungsträger mitberücksichtigt, da auch gering gewichtete Kriterien innerhalb der späteren Bewertung eine ausschlaggebende Rolle einnehmen können.

Tabelle 14: Rangfolgeermittlung der Kriterien nach dem Rangfolgeverfahren [BrKn-1997]

Kriterium	A	B	C	D	Anzahl der „+“	Rangfolge	Gewichtung
A		+	+	0	2	1	0,5
B	-		+	-	1	2	0,25
C	-	-		0	0	3	0
D	0	+	0		1	2	0,25

Im nächsten Schritt werden analog zur Nutzwertanalyse die Kriterien bewertet und mithilfe eines Wertintervalls (bspw. 0-4) evaluiert, woraus sich durch Multiplikation mit der Gewichtung eine Aussagekraft über den Erfüllungsgrad der möglichen Lösungen ergibt. Das Rangfolgeverfahren ist vor allem sinnvoll, um einen ersten Überblick über alle möglichen Varianten zu erlangen. Für komplexe Bewertungen werden jedoch auf Grundlage der relativen Abstufungen der einzelnen Kriterien sowie des Umstands, dass die schlechteste Rangfolge aus der Bewertung fällt, keine geeigneten Ergebnisse erzielt. Die Vorteile des Rangfolgeverfahrens sind:

- Seine einfache Handhabung
- Leichte Verständlichkeit
- Geringer Aufwand

Nachteile des Rangfolgeverfahrens sind vor allem Folgende:

- Die Abstände der einzelnen Ränge sind nicht bekannt
- Keine Gewichtung der Kriterien

5.1.3 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Die Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach Kesselring bietet sich besonders bei überschaubaren technischen Systemen an [Kess-1951]. Hierbei erfolgt die Bewertung getrennt zwischen der Wertigkeit der technischen und der Wertigkeit der wirtschaftlichen Aspekte. Dabei stellen Letztere aber ausschließlich Größen des Herstellungsaufwands dar. Andere wirtschaftliche Größen, welche als Nebenprodukt auftreten, wie bspw. höherer Wirkungsgrad oder geringere Wartung, werden innerhalb der technischen Wertigkeit bewertet [BrKn-1997]. Die zu bewertenden Kriterien werden, um den Bewertungsaufwand gering zu halten, ohne Gewichtung mit einem Wertespektrum von 0-4 bewertet. Ausnahme besteht nach Kesselring bei einer Bewertung, bei dem die Lösungen sehr ähnliche Bewertungsergebnisse erhalten haben [Kess-1951].

Zur Darstellung der technischen und wirtschaftlichen Bewertungsergebnisse ist es sinnvoll, ein Wertigkeitsdiagramm zu verwenden (Abbildung 34). Hierbei können Zonen identifiziert werden, in denen das Produkt als „preisgünstig“, „gut“ oder „luxuriös“ bewertet werden kann. Das Ideal bildet dabei die obere rechte Ecke. Die schlechteste mögliche Lösung wird in der unteren linken Ecke des Diagramms abgebildet [VDI-2225].

Der Vorteil dieses Verfahrens ist die einfache und schnelle Anwendbarkeit sowie das überschaubare Wertespektrum.

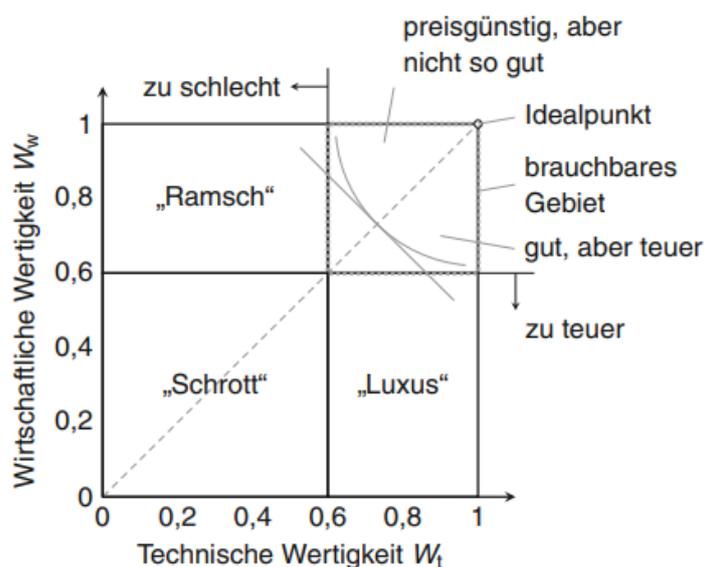


Abbildung 34: Wertigkeitsdiagramm nach [VDI-2225]

Die in Abbildung 34 dargestellten Werte in den Quadranten sind Wertedefinitionen auf Grundlage ihrer Achsenposition. „Schrott“ symbolisiert dabei eine schlechte technische und wirtschaftliche Wertigkeit. „Ramsch“ bezeichnet [VDI-2225] als Produkte, welche zwar günstig sind (gute wirtschaftliche Wertigkeit), aber dessen technische Wertigkeit schlecht ist. „Luxus“ Produkte hingegen haben eine gute technische Wertigkeit, sind aber vergleichsweise teuer. Den optimalen Punkt kann ein Produkt durch Maximierung beider Achsen erreichen.

Gleichzeitig ist die Anwendung aber besonders bei komplexen und detaillierten Produkten und Bewertungskriterien nicht sinnvoll, da weder eine Untergliederung der einzelnen Bewertungsgrößen als auch keine Gewichtung stattfindet. Insgesamt ergeben sich folgende Vorteile aus der Technisch-wirtschaftlichen Bewertung:

- Schnelle und einfache Anwendbarkeit
- Überschaubares Wertespektrum

Gleichzeitig ergeben sich folgende Nachteile:

- Benötigtes Fachwissen zur Bewertung wird vorausgesetzt
- Keine Untergliederung der Bewertungsgrößen

5.1.4 Unscharfe Expertensysteme

Wie bereits in Abschnitt 5.1 erläutert, besteht die Bewertung von Einfachheit aus sowohl quantitativen als auch qualitativen Größen, welche gemeinsam eine Aussage über den Grad der Einfachheit eines Produktes geben. Dabei werden Einfachheit an sich, welche selbst zu der Menge der qualitativen Eigenschaften gehört, sowie alle subjektiven Bewertungskriterien durch linguistische Aussagendefiniert. Der Bewertende wird zur Validierung der Daten häufig gedrängt, subjektive Aussagen wie „gut“, „mittel“ und „schlecht“ in bestimmte und quantifizierbare Ist-Ausprägungen von Bewertungskriterien festzulegen. Während die maschinelle Informationsverarbeitung nicht im Stande ist, unpräzise und komplizierte Sachverhalte direkt zu erkennen, besitzt der Mensch das charakteristische Merkmal, solche Informationen abzuleiten und entsprechende Interpretationen herzuleiten. Die Theorie der Fuzzy-Logik bietet hierbei die Methode des Unscharfen Expertensystems an, durch die eine formale Darstellung unscharfer Informationen und Meinungen ermöglicht wird. Damit bildet sie das menschliche Vorgehen des Entscheidungsprozesses ab [Güll-1997].

Es fällt Menschen sehr leicht, eine linguistische Bewertung eines Zustandes zu geben, ohne dabei klare Grenzen aufzustellen. Diese Aussagen sind im Allgemeinen nicht auf ein umfassendes theoretisches Wissen zurückzuführen, sondern eine Zusammenfassung von Regeln, welche der Bewertende bei seiner Entscheidung unterbewusst beachtet. Es ist jedoch schwierig, diese unscharfen Bewertungen wie „schön“ oder „gut“ zurück in deterministische Größen zu führen. Abhilfe schaffen hierbei Fuzzy-Expertensysteme, welche nicht auf solch klare Grenzen innerhalb von Bewertungsgrößen angewiesen sind [Romm-1993].

Die generelle Vorgehensweise dabei ist, die zu bewertende Größe in beliebig viele Unterarten zu unterteilen, ähnlich wie bei der Nutzwertanalyse. Für jedes Bewertungskriterium der untersten Ebene wird nun eine Zugehörigkeitsfunktion definiert, welche Bewertungsgrößen in Abhängigkeit von quantifizierbaren Werten unterschiedlichen Mengen zuordnet. Dabei kann ein Produkt bspw. zu einer Teilmenge intuitiv sein, aber gleichzeitig zu einer Teilmenge unintuitiv. Eine detaillierte Beschreibung unscharfer Expertensysteme erfolgt in Abschnitt 5.3.1.

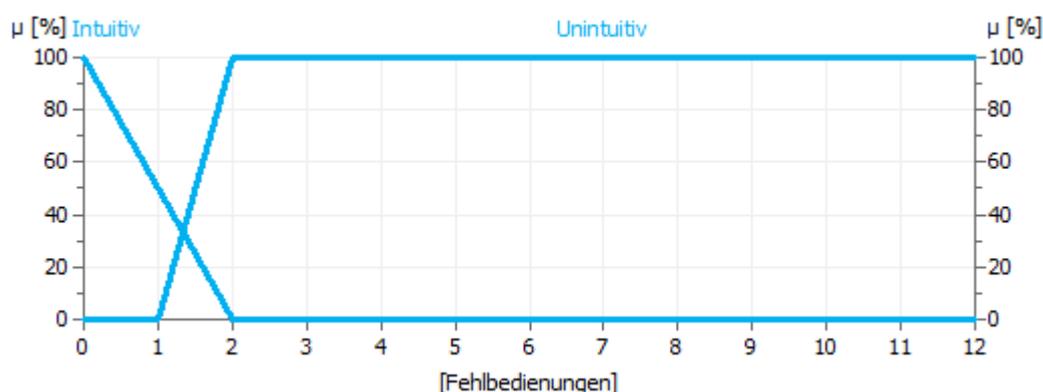


Abbildung 35: Zugehörigkeitsfunktion eines Fuzzy-Expertensystems

Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre versuchen unscharfe Mengen eine Merkmalausprägung eines bestimmten Bewertungskriteriums nur zu einem gewissen Grad zuzuordnen, welches durch die Zugehörigkeitswerte (ein Wert im Intervall 0 bis 1) beschrieben wird [Güll-1997]. Dadurch ist es möglich, dass bei der Bewertung von subjektiven Bewertungsgrößen auch unscharfe Kenngrößen definiert werden können. (bspw. kann durch unscharfe Mengen das Bewertungskriterium „Fehleranfälligkeit“ zum einen zur Merkmalsausprägung „intuitiv“ zugeordnet werden als auch zu einem Teil zu „unintuitiv“. Abbildung 35 stellt diesen Zustand beispielhaft dar. In Abbildung 35 wird die intuitive Bedienbarkeit eines Produktes anhand der Anzahl der Fehlbedienungen (x-Achse) beschrieben. Dabei gibt die y-Achse die Zugehörigkeit der einzelnen Merkmalsausprägungen (intuitiv und unintuitiv) an. So wird in diesem schematischen Beispiel die Bedienung eines spezifischen Produktes als intuitiv empfunden, sofern weniger als 2 Fehlbedienungen bis zum Erreichen des gewünschten Produktnutzens auftreten. Gleichzeitig ist es aber auch möglich das Produkt ab der ersten Fehlbedienung zu einer gewissen Zugehörigkeit als unintuitiv wahrzunehmen. Unscharfe Zugehörigkeitsfunktionen bilden so die unterschiedlichen Verteilungen unscharfer Mengen ab.

Vorteile dieser Methode sind:

- Realitätsnahe Erfassung subjektiver unscharfer Größen
- Kein Informationsverlust durch künstliche Mittelwertbildung
- Rückverfolgbarkeit der kritischen Bereiche für die Zielkriterien

Nachteile der unscharfen Expertensysteme sind:

- Aufwändige Erstellung
- Eine Vielzahl an Bewertungskriterien resultiert in einem exponentiellen Anstieg der Regeln innerhalb der Regelmatrix

5.1.5 Conjoint-Analyse

Die Conjoint-Analyse ist eine im Zuge der Marktforschung sowie Kundenanalyse häufig eingesetzte Methode, um Kundenwünsche genauer zu erfassen und Kaufverhalten zu prognostizieren. Insbesondere lassen sich damit einzelne Produktmerkmale mit einem quantitativen Nutzwert für den Kunden verknüpfen, die Preis-Absatz-Funktion für ein Produkt ermitteln sowie Zahlungsbereitschaft und Preiselastizität bestimmen. Kunden erhalten im Rahmen einer Befragung Produkte zur Auswahl, die sich in einzelnen Merkmalen und im Preis unterscheiden [Flei-2021]. Dabei werden diese Produkte verglichen und die Bewertenden äußern sich, welches Produkt sie kaufen würden. Aufbauend auf diesen Aussagen lassen sich für alle Eigenschaften des Produktes Teilnutzen bestimmen, welchen ihren indirekten Einfluss (in diesem Fall die Kaufbereitschaft) ausüben und somit die Wertigkeit einzelner Produkteigenschaften beziffern. Hierbei werden alle einzelnen Lösungen ähnlich zum Rangfolgeverfahren auf Grundlage der bevorzugten einzelnen Eigenschaften bewertet und dementsprechend geordnet. Die Grundidee dabei ist, dass im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Methoden auf Grundlage der Bewertungsgröße⁸¹ Rückschlüsse auf die Wertigkeiten der Teilkriterien gezogen werden können.

⁸¹ Beispielhaft in der vorliegenden Arbeit die Produkteigenschaft „Einfachheit“.

Das Prinzip wird hier durch die Bewertung eines Fernsehers mit drei verschiedenen Ausprägungen mit jeweils verschiedenen Eigenschaften dargestellt.

Tabelle 15: Beispielhafte Ausprägungen und Eigenschaften der Conjoint-Analyse [Baie-2009]

Ausprägung	A - Bildschirmgröße	B - Bildschirmart	C - Gehäusefarbe
Eigenschaft 1	32"	Plasma	Silber
Eigenschaft 2	37"	LCD	Schwarz
Eigenschaft 3	42"	-	Anthrazit

Aus diesen Ausprägungen und Eigenschaften resultieren insgesamt 18 verschiedene mögliche Varianten, welche nun vom Nutzer bewertet werden müssen. Dabei erhält die am meisten bevorzugte Lösung den höchsten Rang, während die schlechteste Lösung den niedrigsten Rang erhält. So ist in Tabelle 16 beispielhaft der Fernseher mit der den Ausprägungen 32", Plasma und in der Farbe Anthrazit das bestbewertete Produkt. Somit ist die Kombination A1B1C3 auf Rang 1.

Tabelle 16: Rangbewertung für alle möglichen Lösungen [Baie-2009]

Lösung	Rang	Lösung	Rang	Lösung	Rang
A1B1C1	2	A2B1C1	8	A3B1C1	14
A1B1C2	3	A2B1C2	9	A3B1C2	15
A1B1C3	1	A2B1C3	7	A3B1C3	13
A1B2C4	5	A2B2C1	11	A3B2C1	17
A1B2C5	6	A2B2C2	12	A3B2C2	18
A1B2C6	4	A2B2C3	10	A3B2C3	16

Unter der Annahme, dass der Gesamtnutzen aus der Addition der Teilnutzen resultiert, kann über den mittleren Rang-Wert für jede Ausprägung der Teilnutzen bestimmt werden. Hierzu wird der Durchschnitt des Rang-Werts einer Ausprägung gebildet, in dem der Dividend der summierten Rangwerte mit der verwendeten Anzahl errechnet wird. In Tabelle 17 ist dies beispielhaft auf Grundlage der Bewertung aus Tabelle 16 dargestellt. Die Fernseher, in denen Ausprägung A1 vorkam, haben insgesamt eine Rangbewertung von 21 Punkten bekommen (2,3,1,5,6,4) und wurde in 6 Produkten verwendet. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Rangwert von 3,50.

Tabelle 17: Berechnung der Teilnutzenwerte

Ausprägung	Durchschnittlicher Rang-Wert
A1	$21/6 = 3,50$
A2	$57/6 = 9,50$
A3	$93/6 = 15,50$
B1	$72/9 = 9,50$
B2	$99/9 = 11,00$
C1	$57/6 = 9,50$
C2	$63/6 = 10,50$
C3	$51/6 = 8,50$

Aus den ermittelten Teilnutzenwerten wird ersichtlich, welcher Beitrag (Teilnutzen) jedes Teilkriterium zum empfundenen Gesamtnutzen beiträgt. In diesem Beispiel haben Ausprägung A3 (15,50), B2 (11,00) und C2 (10,50) den größten Einfluss auf das Kaufverhalten und sind somit zu bevorzugen [Baie-2009].

Betrachtet auf die Produkteinfachheit ist die Conjoint-Analyse vor allem dann interessant, wenn nicht der Grad der Einfachheit systematisch anhand von Produktkriterien ermittelt werden soll, sondern andersherum die Produkteinfachheit als Richtwert für die Güte der einzelnen, in Beziehung stehenden Unterkriterien angewandt wird.

Vorteile der Conjoint-Analyse sind dabei vor allem:

- Vielseitiger Einsatz in unterschiedlichen Anwendungsfeldern
- Ermittlung von subjektiven Nutzenbeiträge und Quantifizierung derer

Nachteilig an der Conjoint-Analyse sind:

- Einsatz nur bei begrenzter Anzahl der Ausprägungen und Eigenschaften möglich
- Keine Differenzierung der Einflüsse der Eigenschaften innerhalb unterschiedlicher Ausprägungen

5.1.6 Autogenetische Konstruktionstheorie

Ein alternativer Ansatz der Bewertung kann die Anwendung der Autogenetischen Konstruktionstheorie (AKT) darstellen. Wie in Abschnitt 4.2 aufgezeigt, wird Einfachheit durch eine Vielzahl an Kriterien, welche sich gegenseitig beeinflussen, gebildet. Dabei können diese sich sowohl gegenseitig vergrößern als auch verringern.

Um dieses Problem der gegenseitigen Beeinflussung zu lösen, bieten sich stochastische Optimierungsmethoden an. Die Autogenetische Konstruktionstheorie bedient sich solcher Methoden und bietet die Grundlage für die Erstellung eines Bewertungssystems mit impliziter Definition der Designvariablen mithilfe Genetischer Algorithmen [WüPV-2016].

Die AKT ist ein Ansatz, die Verfahren aus der natürlichen Evolution in die Produktentwicklung überträgt, um eine umfassende Beschreibung der Produktentwicklung und ihrer Prozesse, Anforderungen, Randbedingungen und Objekte (einschließlich ihrer Eigenschaften) zu erreichen [VCJB-2005]. Die Hauptthese der AKT ist, dass die natürliche Evolution und der Prozess der Produktentwicklung sehr ähnlich sind. Ein Hauptmerkmal der natürlichen Evolution ist die kontinuierliche Entwicklung und permanente Anpassung von Individuen mit minimalem Ressourceneinsatz an sich verändernde Ziele, die aufgrund von sich ändernden Anforderungen, Bedingungen und Zwängen dynamisch sein können. Die sich ändernden Anforderungen, Bedingungen und Zwänge können einander widersprechen und sich im Laufe der Zeit verändern. Dies legt nahe, dass die Evolution als ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess oder als eine Art Optimierung beschrieben werden kann.

In der Evolution werden die Methoden zur Erzeugung von Individuen durch folgende evolutionäre Operatoren bestimmt: Selektion, Rekombination und Mutation. Selektion ist der Operator zur Auswahl geeigneter Lösungen aus einer gegebenen Menge von Alternativen. Rekombination ist die Kombination von meist zwei verschiedenen bereits bekannten Prinzipien zu einer neuen Lösung. Insbesondere die Mutation der Individuen führt zu neuen Ideen, Erkenntnissen oder unerwarteten Lösungen, da das Ergebnis und das Auftreten nicht vorhersehbar sind.

Eine evolutionäre Produktentwicklung kann als ein komplexes, dynamisches Netzwerk über mehrere Ebenen der Produkt- und Prozesskomplexität beschrieben werden. Diese Entwicklung ist durch die evolutionären Operatoren auf allen Komplexitätsebenen gekennzeichnet. Dabei werden nur die Eigenschaften an die nachfolgenden Lösungen weitergegeben, die zu einem bestimmten Zeitpunkt die vorherrschenden Anforderungen am besten erfüllen. Diese sogenannte Autogenese (Selbstenwicklung) ist bei der Entstehung jeder (Teil-) Lösung erkennbar, da jede Lösung diesen Prozess durchlaufen muss.

Durch die Verwendung von Partialmodellen wird die komplexe Gesamtaufgabe der Entwicklung eines Produktes in weniger komplexe und somit beherrschbare Teilprobleme zerlegt. Die Zerlegung (Dekomposition) und Auswahl der benötigten Partialmodelle erfolgt durch den

Produktentwickler. Dabei werden in einem Partialmodell⁸² die Produktparameter zusammengefasst, die für die Beschreibung und zur Lösung eines einfachen Produktes relevant sind. Analog zu einer multidisziplinären Optimierungsstrategie, bei der verschiedene Evaluationsmodelle zum Einsatz kommen, besteht auch das Produktmodell der AKT aus verschiedenen Partialmodellen [Wüns-2016]. Auch die Produkteinfachheit kann innerhalb der verschiedenen Partialmodelle eines Produktes wiedergefunden werden.

Daraus ist zu schließen, dass Attribute und Partialmodelle der Einfachheit als Produktparameter definiert werden können, um diese mit Hilfe genetischer Operatoren iterativ zu bewerten. Anders als beim regulären Einsatz von Genetischen Algorithmen, die durch die laufende Bewertung der Unterschiede zwischen der Zielfunktion und den intermediären Fitnessfunktionen selbst getrieben ist, erfolgt hier die Bewertung der Individuen interaktiv durch ein interdisziplinäres Entwicklungsteam. Hierbei werden die Kriterien der Bewertung gewichtet und innerhalb der Zielfunktion repräsentiert. Dies entspricht der konventionellen Bewertung von Varianten auf Basis von Gewichtungsfaktoren und Bewertungskriterien in der Produktentwicklung [PBFG-2007]. Weiterhin stellen Lösungen multikriterieller Optimierungsaufgaben auch die Basis von Entscheidungsmodellen dar [Geld-2021]. Bei diesem Vorgehen entsteht eine Reihe von gleichwertigen, aber verschiedenartigen Lösungen. Eine Betrachtung der Bewertbarkeit konzeptioneller Produkte wurde in [WüPV-2016] untersucht. Dabei zeigte sich, dass vor allem bei nicht quantifizierbaren Bewertungsgrößen das Bewertungsteam Probleme mit der objektiven Evaluation hatte. Aus den Ergebnissen aus [WüPV-2016] lässt sich schließen, dass sich für die Bewertung unscharfer Mengen mittels der AKT folgende Vorteile ergeben:

- Aufgrund des stochastischen Umgangs mit unscharfen Lösungsräumen findet die Anwendung vor allem in der konzeptionellen Phase der Produktentwicklung statt
- Die Aufstellung einer kontinuierlichen Zielfunktion ist nicht notwendig
- Liefert als Ergebnis globale und lokale Optima

Folgende Punkte sind nachteilig an der AKT bei der Bewertung unscharfer Mengen zu betrachten:

⁸² Beispiele für Partialmodelle sind: Variantenmodell, Produktstrukturmodell, Fertigungsmodell, Montagemodell, Übergabemodell, Servicemodell, Instandhaltungsmodell und Recyclingmodell [Hart-2013].

- Kann in einem langwierigen Bewertungsprozess resultieren, sofern keine Konvergenz der Ergebnisse erreicht wird

5.2 Auswahl des Bewertungsverfahrens

In den vorherigen Abschnitten wurden verschiedene Verfahren zur Bewertung technischer Systeme vorgestellt, welche eine Bewertung unterschiedlicher Produktattribute ermöglichen. Auf Grund der in Abschnitt 3.4 und Kapitel 4 aufgezeigten unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Produkteinfachheit ist es notwendig ein Bewertungsverfahren auszuwählen, welches eine Verwertung vielseitiger Bewertungskriterien ermöglicht. Weiterhin ist nach [BrKn-1997] zur detaillierten Bewertung die Möglichkeit der Untergliederung der Bewertungskriterien notwendig, um so unscharfe Kriterien soweit wie möglich zu quantifizieren. Dadurch ist das Rangfolgeverfahren durch seinen nicht untergliederten Bewertungsablauf ungeeignet für die Bewertung der Produkteigenschaft Einfachheit. Auch die technisch-wirtschaftliche Bewertung nach [Kess-1951] ist durch die fehlende Unterteilung der Bewertungskriterien für das weitere Vorgehen ungeeignet.

Die Conjoint-Analyse bietet besonders durch ihren Ansatz, die Produkteigenschaft direkt zu bewerten und daraus die Teilnutzen der einzelnen Unterkriterien zu bestimmen, einen passenden Ansatz. Mit dieser ist es denkbar, die in Kapitel 4 aufgestellten Attribute einfacher Produkte zu überprüfen und ihre Gewichtung untereinander herauszustellen. Ziel dieser Arbeit ist es jedoch, Produkteinfachheit auf der Grundlage des Zusammenspiels der Produktattribute zu bewerten und darauf aufbauend einen Einfachheitsindex zu generieren. Die Conjoint-Analyse bietet sich vor allem an, um herauszufinden, welche einzelnen Produktparameter den größten Einfluss auf Einfachheit haben. Sie gibt aber keine Möglichkeit von der Bewertung der Produktparameter auf eine gesamte Produkteinfachheit zu schließen. Somit ist die Conjoint-Analyse für die nächsten Schritte nicht die optimale Methode.

Die Nutzwertanalyse stellt durch die Untergliederung der Bewertungskriterien und der Gewichtung zwischen diesen eine passende Methode dar. Besonders bei quantifizierbaren Größen ist die Nutzwertanalyse eine zu bevorzugende Bewertungsmethode. Laut [BrKn-1997] ist es notwendig, dass bei der Verwendung der Nutzwertanalyse soweit wie möglich alle qualitativen Größen durch Abstrahierung in quantitative Größen umgewandelt werden. Dies ist nur bedingt bei der Bewertung von Produkteinfachheit möglich. Besonders die Produktattribute, welche den

Nutzer betreffen⁸³, sind durch subjektive Wahrnehmungen geprägt, welche nicht innerhalb quantifizierbarer Zahlenwerte, sondern innerhalb linguistischer und probabilistischer Aussagen evaluiert werden. Dies kann den Nachteil haben, dass der Bewertende ein Bewertungskriterium nicht anhand einer festen Skala evaluieren kann, sondern zwischen mehreren Zuständen schwankt. Dies tritt vor allem dann auf, wenn eine Bewertungsgröße zu viele Aspekte mit in Betracht zieht. So zeigte ein Workshop auf der DESIGN 2018 Konferenz in Dubrovnik (Ergebnisse dazu wurden in [PiVS-2018b] zusammengefasst, dass es Bewertenden schwerfällt, ein Produkt als einfach einzuordnen, wenn hierbei mehrere Aspekte des Produktes betrachtet werden müssen. Es kam bei der Bewertung verschiedener Produkte bspw. vor, dass zwar die Nutzung eines Beispielproduktes als einfach empfunden wurde, das Design und die Funktionalität jedoch gleichermaßen als kompliziert. Dieser Umstand lässt sich auch bei den subjektiven linguistischen Unterkriterien wie Gebrauchstauglichkeit wiederfinden. Eine Nutzung mag effizient und effektiv sein, dennoch stellt sie den Nutzer nicht zufrieden. Diese Art von Bewertung auszudrücken, fällt dem Menschen im Sprachgebrauch recht einfach, innerhalb von festen quantifizierbaren Größen jedoch nicht [RoEi-2002].

Ein ähnliches Resultat konnte bei der Anwendung der Autogenetischen Konstruktionstheorie innerhalb der Bewertung von unscharfen Konzepten in den frühen Phasen der Produktentwicklung beobachtet werden [WüPV-2016]. In der AKT kann zwar ein optimales Ergebnis mit Hilfe einer Zielfunktion bestimmt werden, ohne im Vorhinein das optimale Ergebnis wissen zu müssen, jedoch ist gerade bei unscharfen Größen die Evaluation der entsprechenden Bewertenden maßgeblich. Während die Zielfindung gleichwertiger, aber verschiedenartiger Lösungen mit der AKT optimal erfüllt werden kann, gibt sie keine Unterstützung bei der Findung der Bewertungswerte, welche als Input für die Zielfunktion notwendig sind. Auch hier tritt das Problem der Bewertbarkeit linguistischer Variablen in einem deterministischen Bewertungsraum auf.

Zur Bewertung solcher unscharfen Mengen eignen sich Unscharfe Expertensysteme, welche mit „fuzzy“ Mengen – im Gegensatz zur normalen Mengenlehre – einem Bewertungszustand mehrere Werte zuordnen kann (siehe Abschnitt 5.3). Zusammenfassend bietet sich für die Bewertung der Sichtweise des Nutzers die Anwendung eines unscharfes Expertensystem an, da hier mehrheitlich linguistische Bewertungsgrößen zum Einsatz kommen. Für die Sichtweise des Anbieters wird auf die Nutzwertanalyse (analog zu [Hart-2013]) verwiesen. Hierbei wurde die

⁸³ Allem voran die Gebrauchstauglichkeit, die Produktgestalt und in Teilen die Funktionalität.

Nutzwertanalyse zur Bewertung einfacher Produkte unter der Betrachtung von ausschließlich numerischen und objektiv erfassbaren Kriterien durchgeführt [Hart-2013].

5.3 Modellierung des Einfachheitsindex

Zur Bestimmung eines Einfachheitsindex wird in diesem Abschnitt ein unscharfes Expertensystem erstellt und beschrieben, mit dem es möglich ist, alle Facetten eines einfachen Produktes darzustellen. Der prinzipielle Ablauf beim Aufbau eines solchen Expertensystems ist Abbildung 36 zu entnehmen [Romm-1993].



Abbildung 36: Struktur eines Fuzzy-Expertensystems

Bei der Anwendung von unscharfen Expertensystemen werden fünf Prozessschritte getätigt (vgl. Abbildung 36). Der erste Schritt hierbei ist die Definition der gewünschten Bewertungsgröße. Eine entsprechende Definition einfacher Produkte erfolgte bereits in Abschnitt 3.6. In Schritt zwei erfolgt die Erstellung eines Prüfungsschemas, sodass die häufig abstrakten und unscharfen Variablen in leichter verständliche Unterkategorien unterteilt werden. Hierfür eignen sich die Eigenschaften und/oder Merkmale, welche die zu bewertende Größe beschreiben. Dabei muss auf Grund des unscharfen Charakters meist auch auf unscharfe Teilaspekte zurückgegriffen werden. Die in Abschnitt 4.2 aufgestellten Attribute einfacher Produkte werden im Folgenden für die Bewertung als Teilaspekte verwendet. Um diese Attribute für den Nutzer leichter erfassbar zu gestalten, werden diese nochmals zur besseren Differenzierung in Unterkategorien unterteilt.

In Schritt drei wird zur weiteren Verwendung für jede Unterkategorie eine Zugehörigkeitsfunktion definiert. Im Gegensatz zur klassischen Mengendefinition, bei der jedes Element eine eindeutige Zugehörigkeit zu einer Menge hat, können Fuzzy-Elemente auch nur bis zu einem gewissen Grad zu einer Menge gehören [RoEi-2002]. Diese Zugehörigkeitsfunktionen stellen den Wert einer linguistischen Bewertung gegenüber einem deterministischen Wert dar. Die Zugehörigkeitsfunktionen sind von Experten formulierte Regeln, die den Sachverhalt der Beurteilung beschreiben [Romm-1993].

Um aus diesen Regeln eine Gesamtaussage über die Anwendbarkeit ableiten zu können, ist als Schritt vier eine Regelmatrix erforderlich, die die einzelnen Bewertungsoptionen interpretiert.

Diese Regelmatrix ist aufgrund der zunehmenden kombinatorischen Möglichkeiten je nach Anzahl der möglichen Antworten und der Anzahl der untersuchten Bereiche unterschiedlich groß. Die erstellten Zugehörigkeitsfunktionen müssen dabei so definiert werden, dass sie die subjektive Wahrnehmung korrekt widerspiegeln. Da es sich hierbei um Erfahrungswissen handelt, ist für die Modellierung der Funktionen nur eine ungefähre Darstellung möglich. Dies drückt sich auch darin aus, dass meist einfache Funktionsformen verwendet werden und dasselbe Beschreibungsmuster verwendet wird [Romm-1993].

Der letzte und fünfte Schritt bildet die Aggregation der verschiedenen evaluierten Mengen. Hierbei werden die unterschiedlichen Verteilungen mittels mathematischer Operatoren zu einem Bewertungsindex zurückgeführt. Dies geschieht jedoch erst bei der gesuchten Zielgröße. Da Schritt eins und Schritt zwei bereits in vorherigen Abschnitten behandelt wurden, behandeln die folgenden Abschnitte die Aufstellung der Zugehörigkeitsfunktionen, das Erstellen der Regelmatrizen sowie abschließend die Herleitung des Einfachheitsindex.

5.3.1 Unscharfe Menge und die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen

In deterministischen Bewertungen sind die Bewertenden gezwungen, eine zumeist eindeutige, jedoch gleichzeitig willkürliche Abgrenzung zwischen bestimmten Ausprägungen wie bspw. „gering“, „mittel“ oder „viel“ zu definieren. Es entspricht nicht der menschlichen Wahrnehmung, anhand der aktuellen Ausprägung eine eindeutige Zuordnung zu einer Bewertungsklasse zu treffen. Bewertende haben bei der Evaluierung von Einfachheit (wie auch bei vielen weiteren unscharfen Begriffen), ohne zugrundeliegende quantitative Daten, nur eine unscharfe Vorstellung, welche Funktionalität oder Gebrauchstauglichkeit zu einer „guten“ Einfachheit führt. Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre können Fuzzy-Mengen nur einen gewissen Grad einer Merkmalsausprägung annehmen. Dies ist beispielhaft in Abbildung 37 dargestellt in der die Merkmalsausprägung „einfach“ anhand der Funktionsanzahl eines Produktes bewertet wird.

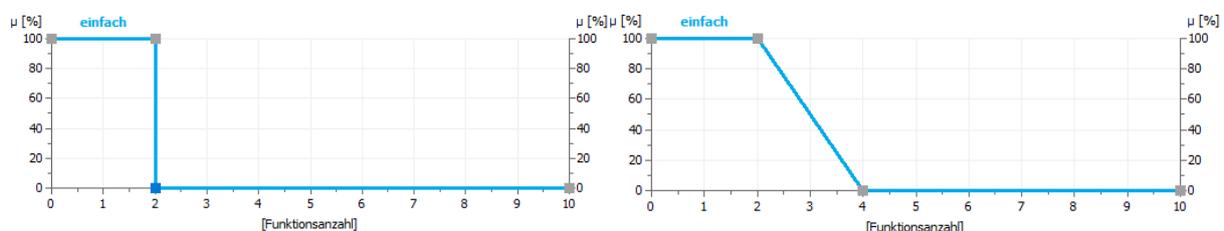


Abbildung 37: Eindeutige (links) und unscharfe (rechts) Beschreibung der Funktionalität anhand der Funktionsanzahl

Abbildung 37 (links) stellt die Ausprägung des Attributs „Funktionalität“, welche durch die Funktionsanzahl beschrieben wird, innerhalb eines scharfen Wertes als „einfach“ dar (die

verwendeten Werte sind dabei beispielhaft). Es ist an diesem Beispiel zu erkennen, dass unter „einfach“ eine maximale Anzahl an Funktionen von zwei verstanden werden kann. Alle darüber liegenden Werte werden von Abbildung 37 automatisch als „nicht einfach“. Das bedeutet für jedes Produkt, dass nur dann eine einfache Funktionalität vorliegt, wenn weniger oder gleich zwei Funktionen verwendet werden. Da Einfachheit jedoch eine subjektive Größe ist, welche von jedem Menschen anders wahrgenommen werden kann, ist davon auszugehen, dass eine Beschreibung von Einfachheit über scharfe, deterministische Werte, Einfachheit als Produkteigenschaft nicht ausreichen abbildet.

Abbildung 37 (rechts) zeigt die Aufstellung einer einfachen Funktionalität innerhalb einer unscharfen Menge. Für alle Bewertungsmöglichkeiten des Attributs „Funktionalität“ ist die Zugehörigkeit zur Menge der „einfachen“ Funktionalität durch eine stetige Abnahme gekennzeichnet. Mathematisch wird die Menge aller Zugehörigkeitswerte durch die Zugehörigkeitsfunktion wie folgt beschrieben [Romm-1993]:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \text{ mit } \mu_A: X \rightarrow [0: 1]$$

Nach dieser Beschreibung wird jedem Element x aus einer Grundmenge X durch den Grad der Zugehörigkeit zu einer unscharfen Teilmenge A durch einen reellen Zahlenwert $\mu_A(x)$ zugeordnet. μ_A ist dabei die Zugehörigkeitsfunktion und vergibt zu jedem Element x innerhalb von X den Wert 1, welche definitiv zu der Teilmenge der einfachen Funktionalität gehört. Innerhalb des Intervalls von 0 bis 1 wird die graduelle Zugehörigkeit beschrieben. In dem Beispiel aus Abbildung 38 wird eine Funktionsanzahl von eins eines beliebigen Produktes (Element x aus der zu bewertenden Grundmenge X) zur Menge der einfachen Funktionalität gezählt ($\mu_{A_{\text{einfach}}}(\text{Produkt mit Funktionsanzahl } 1) = 1$), während eine Funktionsanzahl von drei nur zu ungefähr 50 % zur Teilmenge „einfach“ (Teilmenge A) der einfachen Funktionalität gehört: $\mu_{\text{einfach}}(\text{Produkt mit Funktionsanzahl } 3) = 0,50$).

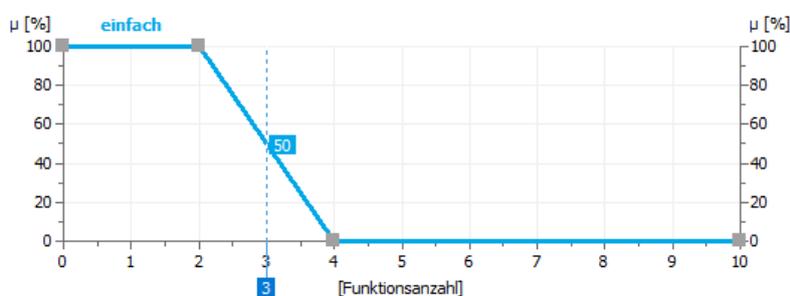


Abbildung 38: Beispiel einer Zugehörigkeitsfunktion

Entscheidend für die Darstellung der Bewertungen mit unscharfen Variablen sind die linguistischen Bewertungsgrößen, welche durch verbale Äußerungen die Ausprägung eines Kriteriums

beschreiben. Um diese linguistischen Bewertungsgrößen zu verarbeiten, wird eine quantitative Beschreibung auf der Basis der möglichen, erfassbaren Kenngrößen des Produktes benötigt. Über eine Festlegung der linguistischen Werte über die unscharfen Mengen kann so die Zugehörigkeitsfunktion definiert werden [ZALW-1993].

So können für eine beispielhafte Produktkategorie die vollständigen Zugehörigkeitsfunktionen des Unterkriteriums „Funktionalität“ in Abhängigkeit der Funktionsanzahl dargestellt werden⁸⁴, wie in Abbildung 39 beschrieben.

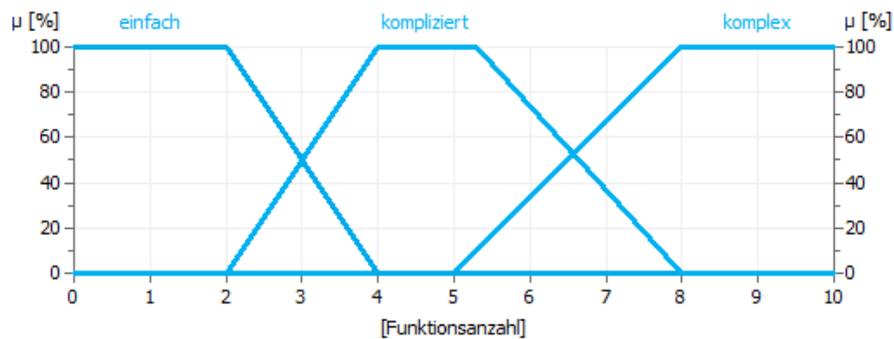


Abbildung 39: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktionen der Funktionalität

Der Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen für das Kriterium und dessen jeweilige Ausprägung ist dabei in Zusammenarbeit mit einem Experten oder mit einem Expertenteam abzustimmen. Alternativ ist es auch möglich, über eine entsprechende Marktanalyse und Nutzerbefragung, welcher die Werte der Zugehörigkeitsfunktion definiert, die notwendigen Bewertungsdaten zu erfassen. Jeder Verlauf kann je nach betrachteter Produktkategorie⁸⁵ stark von der Meinung der Erstellenden – in den meisten Fällen den Experten – beeinflusst werden. Um diese Einflüsse so gering wie möglich zu halten, ist es sinnvoll, dabei folgende Schritte zu beachten [Altr-1995]:

⁸⁴ Dabei bildet die Funktionsanzahl nicht das komplette Attribut der Funktionalität ab, sondern wurde hier beispielhaft als Unterkriterium verwendet.

⁸⁵ Dabei ist es ein wesentlicher Unterschied, ob ein Fahrzeug oder bspw. ein Toaster betrachtet wird. Diese Produkte können im Detail nicht dieselben Maßstäbe bei der Bewertung besitzen. Während ein Fahrzeug ein Multifunktionelles Produkt ist, deren Nutzung angelernt wird, wird bei der Verwendung eines Toasters einer sehr viel geringerer Gedankenprozess bei der Auseinandersetzung mit dem Produkt erwartet. Folglich haben unterschiedliche Produktkategorien verschiedene Bewertungsrandbedingungen.

1. Für jeden Term der linguistischen Variablen ist zuerst der Wert der Basisvariablen⁸⁶ festzulegen, welcher die verbale Bedeutung am besten wiedergibt. Dieser Wert wird mit einem Zugehörigkeitswert von $\mu = 1$ festgelegt.
2. Anschließend werden für jeden Term die Bereiche bestimmt, in dem dieser überhaupt nicht wiederzufinden ist⁸⁷. Hierbei erhält der Term für diese Bereiche einen Zugehörigkeitswert von $\mu = 0$. Analog erhält einer der weiteren linguistischen Terme an dieser Stelle zumeist eine Zugehörigkeit von $\mu = 1$.
3. Die stetige Steigung der Zugehörigkeitsfunktionen ergibt sich nun aus der Verbindung der Punkte der Zugehörigkeit von $\mu = 1$ mit dem nächsten Zugehörigkeitswert von $\mu = 0$.⁸⁸
4. Für die linguistischen Terme mit jeweils der minimalen und maximalen Ausprägung wird ein Zugehörigkeitswert von $\mu = 1$ definiert.

Die Auswahl der Anzahl der verwendeten linguistischen Variablen kann dabei beliebig groß sein. Aufgrund der Differenzierungsfähigkeit zwischen verschiedenen Bewertungstermen und der Komplexität der aus der Vielzahl an verwendeten Termen entstehenden Bewertung sollte jedoch auf ein Intervall von zwei bis sieben linguistischen Termen zurückgegriffen werden. Eine größere Anzahl an linguistischen Variablen steigert zum einen die Komplexität des unscharfen Bewertungssystems als auch die für den bewertenden Nutzer. Es ist empfehlenswert, besonders für die hierarchisch niedrigen Unterkriterien, welche die Attribute bilden, wenige linguistische Terme (ein Maximum von drei) zu verwenden, da dies die Zusammenführung des Bewertungssystem überschaubar macht.

Die in Abbildung 39 dargestellte Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads bildet nach Abschnitt 4.2 jedoch nur einen Teil der Funktionalität ab. Neben diesem ist zur Beschreibung der Funktionalität – als Teilattribut der Produkteinfachheit – die Funktionsart (in Abhängigkeit der

⁸⁶ Im Falle von Abbildung 39 stellt die Funktionsanzahl von 0 – 2 eine einfache Funktionalität dar ($\mu = 1$). Diese entsprechen den Basisvariablen.

⁸⁷ Beispielhaft für das Ausprägungsmerkmal „einfach“ ab einer Funktionsanzahl von 4.

⁸⁸ Neben einem linearen Verlauf ist es unterdes möglich weitere Typen von Beschreibungen der Zugehörigkeitsfunktionen zu verwenden. Dabei kommen vor allem progressiv und degressiv steigende Kurven in Frage [Romm-1993]. Es hat sich aber in der Praxis bisher gezeigt, dass lineare Steigungen als annähernd ausreichend zur Bewertung von linguistischen Variablen sind [Güll-1997].

Funktionsvielfalt) und die Funktionsgüte (in Abhängigkeit der Zufriedenstellung des Nutzers) notwendig. Die beispielhaften Zugehörigkeitsfunktionen der beiden Kriterien sind in Abbildung 40 dargestellt. Zusammen ergeben in diesem Betrachtungsfall diese drei Unterkriterien die Funktionalität.

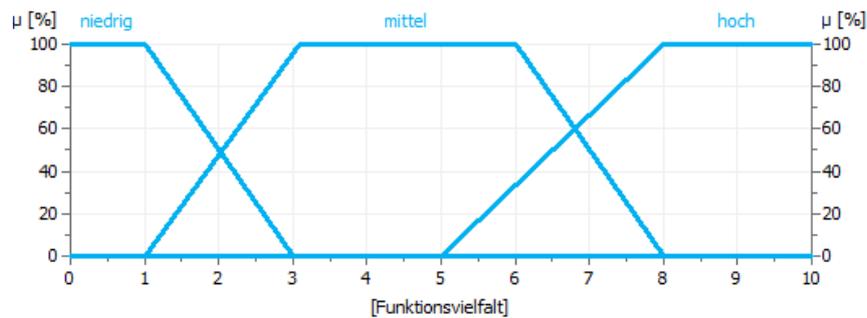


Abbildung 40: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart

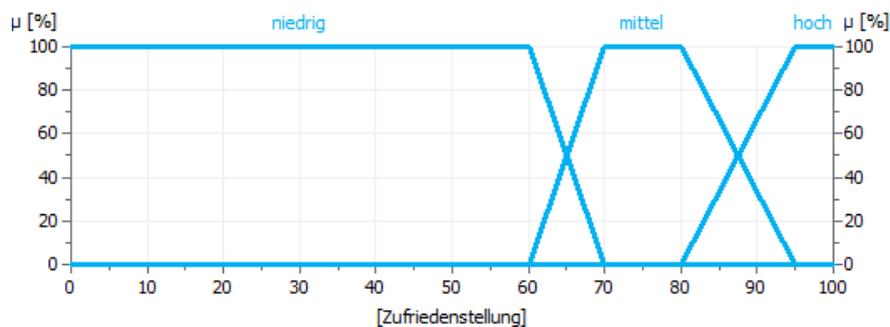


Abbildung 41: Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte

Es ist zu beachten, dass das Attribut Funktionalität beliebig weit in zusätzliche Unterkriterien gegliedert werden kann. Jedoch erhöht dies den Aufwand des Bewertungsprozesses (vgl. 5.3.2).

5.3.2 Definieren des Regelblocks eines unscharfen Bewertungssystems

Werden Abbildung 40 und Abbildung 41 betrachtet, so ergeben sich für jede Zugehörigkeitsfunktion in diesem Beispiel jeweils drei verschiedene linguistische Bewertungsgrößen (niedrig, mittel hoch). Werden diese innerhalb eines Regelblocks kombiniert, ergeben sich daraus eine Variation der möglichen Lösungen, deren Anzahl mit den Parametern $n = \text{Anzahl der Bewertungskriterien}$ und $k = \text{Anzahl der Antworten pro Kriterium}$ berechnet wird:

$$\prod_{i=1}^n k_i = k_1 * k_2 * k_3$$

Bei k_1 , k_2 und k_3 resultiert eine mögliche Anzahl an Lösungskombinationen von insgesamt 27. Die aus den Zugehörigkeitsfunktionen verbalen Bewertungen der untersten Kriterienebene

werden im nächsten Schritt durch einen Regelblock verknüpft. Dabei wird eine geordnete Bewertung durch das Aufstellen aller möglichen Lösungskombinationen und deren Resultat ermöglicht. Da eine Einschätzung der Funktionalität aus Sichtweise des Nutzers nicht durch die isolierte Betrachtung der Unterkriterien „Funktionsart“, „-grad“ und „-güte“ erfolgt, sondern erst durch eine Berücksichtigung der Wirkzusammenhänge zwischen diesen erfolgen kann, wird für jede mögliche Lösung der verschiedenen Ausprägungen eine Urteilshypothese festgelegt (vgl. Abbildung 43).

Dabei sind die Bewertungen der Unterkriterien die Eingangsgrößen, während als Resultat die Mengenverteilung der Funktionalität entsteht. Auf diese Weise entsteht ein ganzheitlicher Regelblock, der den Urteilsfindungsprozess in transparenter Form abbildet. Der Prozess ist für die Funktionalität beispielhaft in Abbildung 42 abgebildet.



Abbildung 42: Prozessdiagramm einer Fuzzy-Aggregation am Beispiel der Funktionalität

Hierbei wird das Attribut Funktionalität über die Bewertung von Funktionsanzahl, Funktionsvielfalt und die Bewertung des Anwenders hinsichtlich Zufriedenheit evaluiert. Die Eingangsvariablen werden links in der mittleren Box dargestellt und über deren Aggregation zur Ausgangsvariable (hier Funktionalität) zusammengefasst. Diese Aggregation wird mit Hilfe eines Regelblocks durchgeführt, welche für jede mögliche Bewertungskombination eine entsprechende, resultierende Gesamtbewertung definiert. Im Folgenden ist beispielhaft ein Regelblock für die Einfachheit der Funktionalität in Abhängigkeit der drei ausgewählten Unterkriterien abgebildet (Abbildung 43).

Name	Wenn	und	und	Operatoren	Dann
B1 Funktionalitaet	1	2	3	Min / Max	1
B1.G1	*XX Funktionsanzahl	*XX Funktionsvielfalt	*XX Zufriedenstellung		Funktionalitaet
B1.G1.R1	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.niedrig
B1.G1.R2	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.niedrig
B1.G1.R3	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R4	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.niedrig
B1.G1.R5	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R6	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R7	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.niedrig
B1.G1.R8	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R9	⚠ Funktionsanzahl.einfach	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R10	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.niedrig
B1.G1.R11	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R12	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R13	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R14	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R15	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R16	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R17	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R18	⚠ Funktionsanzahl.kompliziert	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R19	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R20	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R21	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.niedrig	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R22	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R23	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R24	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.mittel	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R25	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.niedrig	→	⚠ Funktionalitaet.mittel
B1.G1.R26	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.mittel	→	⚠ Funktionalitaet.hoch
B1.G1.R27	⚠ Funktionsanzahl.komplex	⚠ Funktionsvielfalt.hoch	⚠ Zufriedenstellung.hoch	→	⚠ Funktionalitaet.hoch

Abbildung 43: Regelblock der Funktionalität

Der Regelblock stellt die einzelnen Aggregationsregeln für die Funktionalität dar. Dabei sind in Abbildung 43 die drei Unterkriterien (Funktionsanzahl, Funktionsvielfalt und Zufriedenstellung des Nutzers) durch eine kumulierte „wenn – dann“ Logik beschrieben. Für jede mögliche Bewertung der einzelnen Unterkriterien (niedrig, mittel, hoch) resultiert so eine Regel, welche Bewertung der Funktionalität daraus resultiert. Werden alle drei Unterkriterien für sich als „hoch“ bewertet, so definiert Zeile 27 (B1.G1.R27) die resultierende Funktionalität auch als hoch. Zeile 24 (B1.G1.R24) hingegen definiert, dass wenn die Funktionsanzahl eines Beispielproduktes vom Bewertenden als komplex wahrgenommen wird, die Funktionsvielfalt ist durchschnittlich empfunden wird, aber die generelle Zufriedenheit der gebotenen Funktionalitäten hoch ist, von einer insgesamt mittleren Funktionalität auszugehen ist. In Abschnitt 5.4 wird dieses Verfahren anhand eines konkreten Produktbeispiels vorgestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Größe des Regelblocks immer in Abhängigkeit der Anzahl der möglichen Lösungen steht. Somit sollte auf einer niedrigen Bewertungsebene die Anzahl der Bewertungskriterien sowie die Anzahl der Antwortmöglichkeiten pro Kriterium möglichst klein gehalten werden. Andernfalls steigt bei weiterer Aggregation die Anzahl der folgenden Bewertungen und somit wird eine Einschätzung der einzelnen kombinatorischen Ergebnisse erschwert.

5.3.3 Zusammenführung und Aggregation unscharfer Mengen

Mit Hilfe des in Abbildung 43 dargestellten Regelblocks werden die unterschiedlichen Zugehörigkeiten zu einer Bewertungsgröße anteilig zugeordnet. Dabei können verschiedene Operatoren zum Einsatz kommen, welche diese Aggregation definieren⁸⁹. Je nach Bewertung und Ausprägung der einzelnen Kriterien können diese mit einem Zugehörigkeitswert von 1 oder geringer bewertet sein. Dadurch werden mehrere Regeln der Regelmatrix gleichzeitig zu einem gewissen Anteil erfüllt, jedoch mit geringerer Stringenz. Bei Übergang in eine resultierende Bewertungsgröße wie im oberen Beispiel Funktionalität, wird nun der jeweilige Erfüllungsgrad (DoF – Degree of Fulfillment) einer Bewertung über die Schnittmenge der in dieser Bewertung enthaltenen unscharfen Mengen gebildet [Güll-1997]. Dabei kann die Schnittmenge über verschiedene Operatoren dargestellt werden:

- MIN – Minimum aller Zugehörigkeiten der Bewertungsgrößen
- MAX – Maximum aller Zugehörigkeiten der Bewertungsgrößen
- PROD – Produkt aller Zugehörigkeiten der Bewertungsgrößen
- AVG – Mittelwert aller Zugehörigkeiten der Bewertungsgrößen

Die Minimumbildung ist nach [Romm-1993] und [Altr-1995] das Verknüpfungsverfahren, welche das menschliche Verknüpfungsverhalten am besten beschreibt⁹⁰. Durch den Minimum Operator lässt sich bei unscharfen Expertensystemen eine sachadäquate Verknüpfung der beobachteten Werte und der damit einhergehenden linguistischen Bewertungen realisieren, um somit die menschliche Verknüpfung von Informationen zu einer Gesamtbewertung nachzuempfinden.

⁸⁹ Wird bspw. die Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsanzahl in Abbildung 39 betrachtet, so resultiert für eine Funktionsanzahl von drei eine Zugehörigkeit zur Bewertungsgröße „einfach“ zu 50 % sowie eine Zugehörigkeit zur Bewertungsgröße „komplex“ zu 50 %. Dadurch erfüllt die Funktionsanzahl mehrere mögliche Regeln innerhalb der Regelmatrix (sowohl Pfade mit der Bewertung „einfach“ als auch Pfade mit der Bewertung „komplex“).

⁹⁰ Der Mensch bewertet unterbewusst verschiedene Merkmale und Eigenschaften eines Produktes umso zu einer Gesamteinschätzung des Produktes zu gelangen. Es fällt einem Menschen leicht, ein Produkt im Ganzen als einfach oder komplex zu bewerten, in dem er unterbewusst alle wahrgenommenen Eindrücke der Eigenschaften und Merkmale des Produktes evaluiert, ohne aktiv über die einzelnen Größen nachzudenken. Um dieses Verknüpfungsverfahren von einzelnen Bewertungsgrößen mit Hilfe unscharfe Mengen nachzubilden, bietet sich der Minimumoperator an.

Weiterhin werden nach der Bildung der Zugehörigkeitsfunktionen und der Ableitung der Ausgangsgrößen mit Hilfe des Regelblocks die Eingangsgrößen in ein Fuzzy-Ausgangs-Set transportiert. Dieser Vorgang nennt sich Inferenz. Die Inferenz transformiert die verschiedenen Zugehörigkeitsfunktionen (bspw. Funktionsart in Abbildung 40 und Funktionsgrad in Abbildung 41), deren Bewertung mit Hilfe eines Regelblocks zusammengefasst wurde, in eine resultierende Zugehörigkeitsfunktion (in diesem Fall die Funktionalität).

In der klassischen Mengenlehre wird nach [Güll-1997] die Erfüllung einer Bewertung bestimmt, indem die dafür aufgestellte Regel und die daraus abgeleitete Schlussfolgerung eindeutig zur Lösung des Entscheidungsproblems passen. Innerhalb der Fuzzy-Mengen kommt der Prozess des unscharfen Schließens hinzu, welche diese klassische Vorgehensweise erweitert⁹¹. Dies geschieht, indem eine Schlussfolgerung über den eigentlichen Erfüllungsgrad hinaus definiert wird und nur zu dem Grad zutrifft wie auch die zugehörige Bewertung. Dadurch wird das Zutreffen einer Bewertungsgröße über die Zugehörigkeit ihrer untergliederten Bewertungen beschrieben, d.h. der Grad, zu dem sie in einem konkreten Fall zutrifft. Hierdurch werden innerhalb des Regelblocks durch eine eingehende, unscharfe Zugehörigkeitsfunktion automatisch die Bedingungen mehrerer Regeln erfüllt, sofern die eingehende Zugehörigkeitsfunktion auch mehrere Zugehörigkeiten aufweist. Im Kontrast zur klassischen Vorgehensweise bei Expertensystemen wird das Auswerten eines Regelblocks nicht beendet, wenn eine Regel und deren Bedingung erfüllt sind. Für jede Zugehörigkeitsfunktion muss der gesamte Regelblock untersucht und somit aufgelistet werden, welche Zugehörigkeitsanteile und welche Schlussfolgerungen demnach zu welchem Grad zutreffen [Güll-1997].

⁹¹ Da unscharfe Mengen innerhalb einer Bewertung mehrere resultierende Bewertungsgrößen abbilden können (bspw.: Die Funktionsanzahl ist mit einer Zugehörigkeit von 30% einfach zu erfassen und zu 70% kompliziert, aber beides gleichzeitig) muss die aus der Funktionsanzahl, der Funktionsvielfalt und Zufriedenstellung resultierende Funktionalität ebenso diese Unschärfe des Unterkriteriums abbilden. Dies wird durch das sog. Unschärfe Schließen erreicht.

Treffen mehr als eine Regel auf eine resultierende Bewertungsgröße zu sind diese miteinander zu verknüpfen. Auch hier gibt es drei mögliche Ansätze [Romm-1993]:

- MAX – Verwendung der größten Zugehörigkeit
- SUMME – Addition der einzelnen Zugehörigkeiten
- ALGEBRAISCHE SUMME – Bildung einer begrenzten Summe unter 1

MAX ist bei Fuzzy Control Anwendungen⁹² die meistverbreitete Variante und betrachtet ausschließlich den höchsten Wert. Bei unscharfen Bewertungssystemen, wie sie in der vorliegenden Arbeit angewendet werden, wird dadurch das allgemeine Bewertungsbild jedoch verzerrt, da automatisch das am besten bewertete Unterkriterium die Zugehörigkeit der resultierenden Bewertungsgröße festlegt. SUMME betrachtet jede auftretende Regel, ermöglicht aber auch gleichzeitig, dass eine theoretische Möglichkeit besteht, DoF Werte größer 1 zu erhalten. Die ALGEBRAISCHE SUMME dient als Mittelweg. Sie nimmt jede resultierende Regel mit in Betrachtung, bleibt aber dennoch unter einem DoF von 1. Sie wird wie folgt gebildet [RoEi-2002]:

$$DoF_{Gesamt} = \left[1 - \prod_{i=1} 1 - DOF(Regel\ i) \right]$$

Der letzte Schritt der Aggregation beschreibt am Ende der Bewertung die Defuzzifizierung⁹³. Hierbei wird die Fuzzy-Bewertung und ihre Zugehörigkeitsfunktionen auf eine reelle Zahl „verdichtet“. Es kommen üblicherweise entweder die Schwerpunktmethod (Center of Gravity Method) oder die Flächenhalbierungsmethod (Center of Area Method) zum Einsatz [RoEi-2002]. Eine Defuzzifizierung ist jedoch nicht im Bewertungsvorgang notwendig. Während der Regelverarbeitung ist es sinnvoller, die resultierende Fuzzy-Bewertung direkt als neuen Input für die folgende Bewertungs- oder Aggregationsstufe zu verwenden, wobei die resultierenden Erfüllungsgrade für die folgende Verarbeitung als Zugehörigkeitsfunktionen resultieren [RoEi-2002]. Somit ist der Output eines unscharfen Bewertungssystem vor einer Defuzzifizierung immer auch selbst ein unscharfes Ergebnis. Dieser Umstand ist vor allem dadurch vorteilhaft, als dass in der resultierenden Zugehörigkeitsfunktion visuell sichtbar wird, wenn unterschiedliche Bewertungen und hierarchisch tiefere Bewertungsebenen vorliegen.

⁹² Regelungstechnische Anwendung unscharfer Größen.

⁹³ Das Generieren einer statischen Bewertungszahl aus einem unscharfen Bewertungsergebnisses (Bewertungsintervall).

5.4 Beispielhafte Bewertung einer unscharfen Einfachheit

Nachdem im vorherigen Abschnitt der grundlegende Aufbau eines Fuzzy-Expertensystems erfolgte, wird für eine erste Verifizierung des Systems die Bewertung von Einfachheit am Beispiel zweier Produkte durchgeführt. Diese Verifizierung entstand im Zuge der DESIGN 2020 [PiVS-2020] in Kroatien. Hierbei wird sich im Folgenden auf die Sichtweise des Nutzers beschränkt, um die resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen und Regelblöcke in diesem Beispiel auf die Bewertungen von linguistischen Bewertungsgrößen zu fokussieren. Als erste beispielhafte Fallstudie zur Überprüfung des Bewertungssystems wurden zwei Kaffeemaschinen ausgewählt. Nach [Tsch-2021] sind 62,8 % der deutschen Bevölkerung Kaffeetrinker, wodurch davon auszugehen ist, dass die Bedienung einer Kaffeemaschine eine übliche Tätigkeit darstellt.



Abbildung 44: Beispielprodukte einer ersten Fallstudie (links P1, rechts P2)

18 Studierende aus dem Integrated Design Engineering in Magdeburg⁹⁴ wurden innerhalb eines quantitativen Fragebogens hinsichtlich Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Produktgestalt und Verfügbarkeit der in Abbildung 44 dargestellten Kaffeemaschinen befragt. Grundlage der Befragung waren Produktbilder sowie die Produktbeschreibungen⁹⁵ der jeweiligen Anbieter der Kaffeemaschinen. Insgesamt wurden vier Bewertungsgrößen mit elf Unterkriterien abgefragt (vgl. Tabelle 18). Dabei bilden die vier Bewertungsgrößen die Kernelemente für Produkteinfachheit aus Nutzersicht nach der in Abschnitt 3.6.1 aufgestellten Definition. Diese vier Attribute wurden auf Grund Ihrer Abstraktheit in weitere Unterkriterien aufgeteilt, um den befragten

⁹⁴ Ein interdisziplinäres und humanzentriertes Maschinenbau Studium mit dem Schwerpunkt der Produktentwicklung.

⁹⁵ Die Produktbeschreibungen der jeweiligen Kaffeemaschinen können unter [Klar-2021] und [Phil-2021] eingesehen werden.

Studierenden eine Bewertung zu erleichtern⁹⁶. Dabei kamen die aus der in Abschnitt 4.2 aufgestellten Unterkriterien der Attribute einfacher Produkte zum Einsatz. Um das Verständnis für die Bewertungsgrößen noch weiter zu erleichtern, wurden die Kriterien zusätzlich mit Abhängigkeiten versehen, um somit den Befragten ein Bewertungsintervall vorzugeben. Um die Komplexität für eine erste beispielhafte Evaluation geringzuhalten, wurde jedes Kriterium innerhalb einer Skala von 0 - 10 bewertet. 0 stand dabei für ein völlig unzufriedenes Resultat der bewerteten Eigenschaft, während 10 als optimal bewertet wurde. Das durch den Mittelwert zusammengefasste Ergebnis der Befragung ist in Tabelle 18 dargestellt und analog zu dem Vorgehen aus [PiVS-2020] durchgeführt worden:

Tabelle 18: Umfrageergebnis zweier Kaffeemaschinen

Attribut	Unterkriterium	bewertet über	P1	P2
Funktionalität	Funktionsart	Funktionsvielfalt	8	7
	Funktionsgrad	Funktionsanzahl	6	5
	Funktionsgüte	Zufriedenstellung	5	7
Gebrauchstauglichkeit	Effektiv	Wirksamkeit	8	7
	Effizient	Aufwand	9	7
	Zufriedenstellung		6	8
Produktgestalt	Pragmatik	klare Produktgestalt	4	9
	Semantik	selbsterklärende Produktgestalt	6	9
	Symbolfunktion	emotionale Einstellung	5	7
Verfügbarkeit	Kaufbar	Lieferzeit	6	8
	Betriebsbereit	Inbetriebnahme & Instandhaltung	9	7
Summe:			72	81

Zusätzlich zu der Bewertung der Unterkriterien auf diesem Intervall wurde eine Einschätzung zur Einfachheit jeder Bewertungsgröße abgefragt, welche mit einfach, kompliziert oder komplex evaluiert wurde. So sollte für jede Bewertungsgröße eine Einschätzung der Skalenbreite in Bezug auf Produkteinfachheit stattfinden. Aus diesen Aussagen ist es möglich, die Grenzen der einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen zu bestimmen (Abbildung 45). So bewerteten 14 der 18 Befragten eine Bewertungsgröße von 6 oder höher für die Zufriedenheit als „einfach“, während vier Teilnehmer eine 8 bereits als „kompliziert“ wahrnahmen. Gleichzeitig wurde eine Zufriedenheit bis 2 als eindeutig „komplex“ festgelegt (15 von 18) während sie von 3 Teilnehmer noch weiter hoch bis zu einer 5 empfunden wurde. Eine „komplizierte“ Anzahl an Bedienelementen

⁹⁶ Hierbei haben die verwendeten Unterkriterien keinen Anspruch auf eine vollständige und gänzliche Abbildung der verwendeten Attribute des Integrated Design Engineerings.

nahmen die Teilnehmer vereinzelt bereits ab 2 wahr, während die höchste komplizierte Wahrnehmung des Funktionsgrads bei 8 lag.

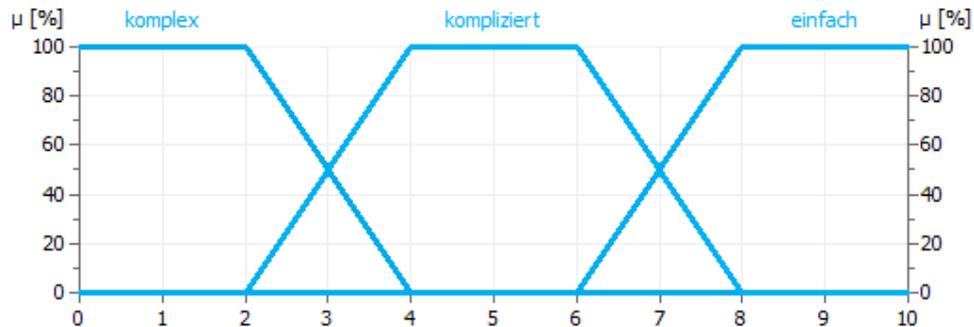


Abbildung 45: Resultierende Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads

Auf Grundlage dieser Einschätzungen wurden die Zugehörigkeitsfunktionen jedes einzelnen Unterkriteriums bestimmt. Ein vollständiger Einblick aller Zugehörigkeitsfunktionen ist in Anhang B.1 abgebildet.

Da in diesem Beispiel nur zwei Produkte bewertet wurden, wird die resultierende Kombination der Regelmatrix so gering wie möglich gehalten. Für Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit und Produktgestalt ergibt sich bei drei Unterkriterien mit einer Skala von drei Bewertungsgrößen jeweils eine theoretische, kombinatorische Anzahl an Zugehörigkeiten von 27 (siehe Abschnitt 5.3.2). Für die Verfügbarkeit hingegen entsteht eine theoretische, kombinatorische Anzahl an Zugehörigkeiten von neun. Diese Anzahl steht in Abhängigkeit der vorgegebenen Skala und der Anzahl der miteinander zu aggregierenden Kriterien. Für die Aggregation zur Produkteinfachheit resultieren demnach vier Attribute mit jeweils mindestens drei Bewertungsskalen, wodurch eine Regelmatrix mit einer kombinatorischen Vielzahl von 81 entsteht.

5.4.1 Der Bewertungsablauf mit einem unscharfen Bewertungssystem

Zur Erklärung des Ablaufs einer unscharfen Bewertung wird an dieser Stelle die Bewertung der Funktionalität bezogen auf die zweite Kaffeemaschine P2⁹⁷ beschrieben. Insgesamt wurden folgende drei Unterkriterien, wie in Tabelle 19 aufgezeigt, bewertet:

Tabelle 19: Beispielhafte Bewertung der Funktionalität (P1)

Unterkriterium	Bewertung	Zugehörigkeitsfunktion
Funktionsart	7	50 % einfach 50 % kompliziert
Funktionsgrad	5	100 % kompliziert
Funktionsgüte	7	33 % einfach 66 % kompliziert

Aus dieser Bewertung ergeben sich drei Zugehörigkeitsfunktionen, in denen jeweils die Position der Bewertung eingetragen werden kann (Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48). Diese Ergebnisse resultierend aus der Bewertung aus Tabelle 19 wurden in die Spalte „Zugehörigkeitsfunktionen“ in dieser Tabelle festgehalten.

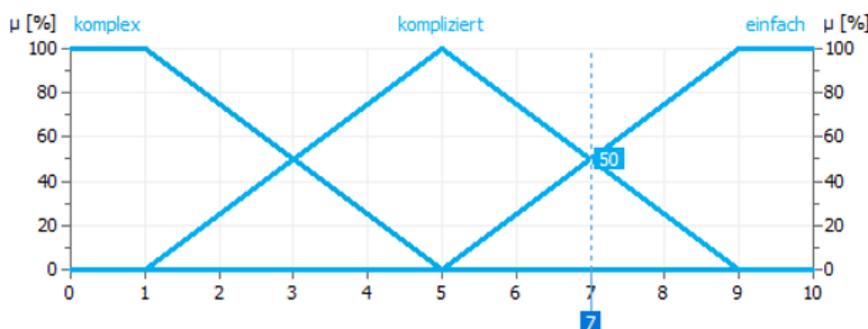


Abbildung 46: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart mit Bewertung

⁹⁷ Dies hat den Grund, dass das Bewertungsergebnis der Umfrage durch die Verteilung der resultierten Werte zu einer komplizierteren Aufstellung der Zugehörigkeitsfunktionen führt. An dieser heterogeneren Bewertung kann das Vorgehen eines unscharfen Bewertungsmodells zum Zweck der Verdeutlichung besser beschrieben werden. Die Bewertung von P1 erfolgt daraufhin in kürzerer Fassung.

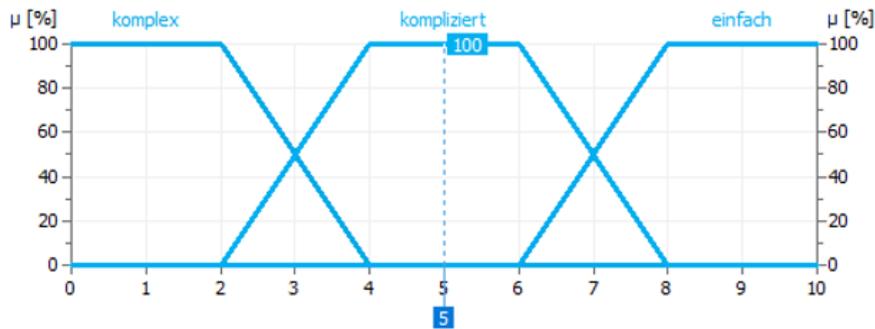


Abbildung 47: Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads mit Bewertung

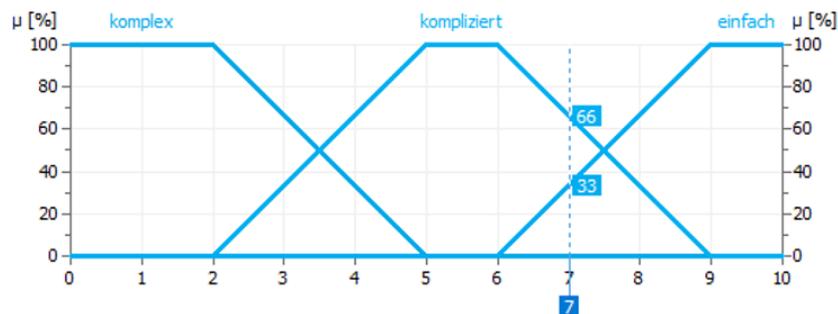


Abbildung 48: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte mit Bewertung

Das bedeutet, dass die Funktionsart (nach Abbildung 46) mit einer Bewertung von 7 sowohl eine Zugehörigkeit von 50 % zu einfach hat, als auch eine Zugehörigkeit von 50 % zu kompliziert.

Um aus diesen Bewertungen eine Gesamtaussage über die Funktionalität abzuleiten, ist eine Regelmatrix notwendig, die die einzelnen Bewertungsmöglichkeiten interpretiert. Die Experten, welche das Regelwerk erstellen, müssen die Zugehörigkeitsfunktionen so definieren, dass sie deren subjektive Wahrnehmung richtig wiedergeben. Da es sich hierbei um Erfahrungswissen handelt, ist nur die Aufstellung einer subjektiven Beschreibung möglich, welche dieses Wissen widerspiegelt. Dies drückt sich auch darin aus, dass meist einfache Funktionsformen bei der Beschreibung der Regeln verwendet werden und das gleiche Beschreibungsmuster wieder auftritt [Romm-1993]. In dem in Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellten Beispiel ergeben sich insgesamt 27 Kombinationsmöglichkeiten, welche als Teilmenge für die Funktionalität stehen. Die vollständige Auflistung des Regelblocks kann Abbildung Anhang 14 entnommen werden. Ein relevanter Auszug der vier sich anhand der Bewertung ergebenden Kombinationen ist in Tabelle 20 dargestellt:

Tabelle 20: Auszug aus Regelblock der Funktionalität (P2)

Funktionsart	Funktionsgrad	Funktionsgüte	Zugehörigkeit der Funktionalität
kompliziert	kompliziert	kompliziert	kompliziert $MIN(0,5; 1,0; 0,66)$ $= 0,5$
kompliziert	kompliziert	einfach	kompliziert $MIN(0,5; 1,0; 0,33)$ $= 0,33$
einfach	kompliziert	kompliziert	kompliziert $MIN(0,5; 1,0; 0,66)$ $= 0,5$
einfach	kompliziert	einfach	einfach $MIN(0,5; 1,0; 0,33)$ $= 0,33$

Tabelle 20 zeigt die auftretenden Kombinationsmöglichkeiten, welche durch die Bewertung der in Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 resultierten. Für die Funktionalität ergeben sich auf Grundlage dieser Bewertung insgesamt vier verschiedene Zugehörigkeiten. Zeile 1 in Tabelle 20 zeigt den Regelfall, wenn alle drei Unterkriterien jeweils eine Bewertung von „kompliziert“ erhalten. Für die Funktionsart resultiert aus der Bewertung eine Kompliziertheit von 0,5, für den Funktionsgrad von 1,0 (also eine vollständige Zugehörigkeit) und für die Funktionsgüte zu 0,66. Wie in Abschnitt 5.3.3 genannt, ist es sinnvoll bei der Aggregation der Zugehörigkeiten als Operator das Minimum aller Zugehörigkeiten der Bewertungsgrößen zu verwenden. Somit ergibt sich für die erste Regel eine Zugehörigkeit von $MIN = 0,5$. Alle Regeln mit einer Zugehörigkeitsbewertung und daraus resultierend mit einem positiven DoF tragen zur Bewertung der jeweiligen Größe bei. Insgesamt resultieren drei verschiedene Regeln des Regelblocks als eine Zuweisung zu einer komplizierten Funktionalität. Da sich damit mehrere Möglichkeiten für eine komplizierte Funktionalität überlagern, sind diese in einem nächsten Schritt zusammenzufassen. Der Unterschied ist schematisch in Abbildung 49 dargestellt.

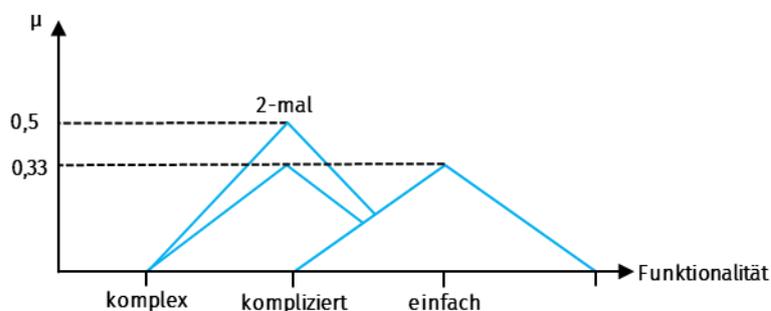


Abbildung 49: Schematische Darstellung der überlagernden DOF (resultierend aus Tabelle 20)

Wie in Abschnitt 5.3.3 beschrieben bietet sich für überlagernde Bewertungen die ALGEBRAISCHE SUMME an. Für die Bewertung der Bewertungsgröße „kompliziert“ ergibt sich folgende Zugehörigkeit:

$$[1 - (1 - 0,5) * (1 - 0,33) * (1 - 0,5)] = 0,8325$$

Somit spiegelt die Zugehörigkeit von 0,8325 den Sachverhalt „kompliziert“ wider, während 0,33 einer „einfachen“ Funktionalität entspricht. Die Funktionalität von der Kaffeemaschine P2 wird durch die in Abbildung 50 und Abbildung 51 schematisch dargestellte Zugehörigkeitsfunktion beschrieben:

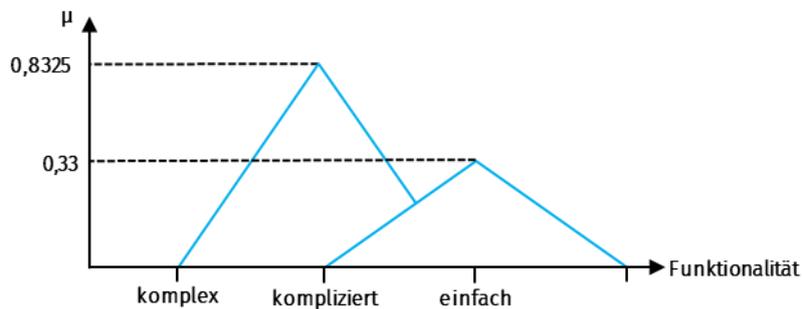


Abbildung 50: Schematische Darstellung der ALGEBRAISCHE SUMME

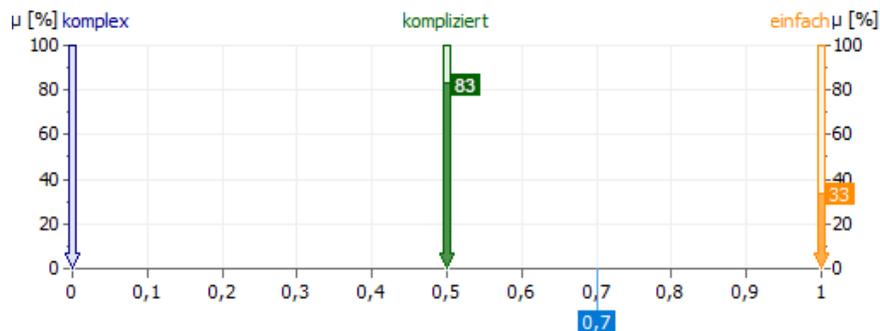


Abbildung 51: DoF der Funktionalität

An dieser Stelle ist es möglich, eine Defuzzifizierung durchzuführen (bspw. über das Bilden des Flächenschwerpunktes). Da die Funktionalität jedoch nur als Zwischengröße zur Bewertung der Einfachheit dient, ist es sinnvoller, die unscharfen Ergebnisse als Eingangsgrößen für die Regelbewertung der Einfachheit zu verwenden. Andernfalls würde das Bewertungsergebnis auf einen Bewertungsindex reduziert werden, wodurch die dargestellte Zugehörigkeitsverteilung nicht mit in die Aggregation der Einfachheit eingeht.

Für die Kaffeemaschine P1 ist das Vorgehen analog anzuwenden. Dabei ergeben sich aus der Befragung der Studierenden gemäß Tabelle 18 folgende Bewertungen und die daraus resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen⁹⁸.

Tabelle 21: Beispielhafte Bewertung der Funktionalität (P1)

Unterkriterium	Bewertung	Zugehörigkeitsfunktion
Funktionsart	8	75 % einfach 25 % kompliziert
Funktionsgrad	6	100% kompliziert
Funktionsgüte	5	100% kompliziert

Hieraus resultieren unter Verwendung der Regelmatrix aus Abbildung Anhang 14 folgende zwei Kombinationsmöglichkeiten:

Tabelle 20: Auszug aus Regelblock der Funktionalität (P1)

Funktionsart	Funktionsgrad	Funktionsgüte	Funktionalität
kompliziert	kompliziert	kompliziert	kompliziert $MIN(0,25; 1,0; 1,0)$ $= 0,25$
einfach	kompliziert	kompliziert	kompliziert $MIN(0,75; 1,0; 1,0)$ $= 0,75$

Es ergibt sich unter Verwendung der algebraischen Summe für die überlagernden Zugehörigkeiten der Bewertungsgröße „kompliziert“ eine resultierende Zugehörigkeit von 0.8125:

$$[1 - (1 - 0,25) * (1 - 0,75)] = 0,8125$$

Anders als bei Kaffeemaschine P2 ergibt das Bewertungsergebnis der Kaffeemaschine P1 keine Zugehörigkeit zur Bewertungsgröße „einfach“. Der Grund dafür liegt zum einen in der Aufstellung der Zugehörigkeitsfunktionen, welche für jedes Unterkriterium festlegen, bei welcher Bewertung von einer einfachen, komplizierten oder komplexen Bewertung auszugehen ist. Werden die Intervalle der Zugehörigkeitsfunktionen im Vorgang der Bewertung anders definiert, kann dies besonders bei Bewertungen, die zwischen zwei Bewertungsgrößen liegen, einen erheblichen Einfluss auf das Endergebnis haben. Zum anderen beeinflussen die Regeln des

⁹⁸ Für die Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen ist auf Abbildung Anhang 3, Abbildung Anhang 4 und Abbildung Anhang 5 zu verweisen.

Regelblocks die resultierende Bewertung maßgeblich. Die Ergebnisse aus den Zugehörigkeitsfunktionen werden in ihm aggregiert und zu einer übergreifenden Bewertung für das Attribut Funktionalität zusammengefasst. So kann das gleiche Bewertungsergebnis unter der Verwendung von zwei verschiedenen Regelblöcken signifikant anders ausfallen.

5.4.2 Ein beispielhafter Einfachheitsindex aus Nutzersicht

In Abschnitt 5.4.1 wurde am Beispiel der Funktionalität für zwei ähnliche Produkte verschiedener Ausführung eine Bewertung mittels unscharfer Mengen durchgeführt. Mithilfe der weiteren Ergebnisse der Umfrage aus Tabelle 18 ist dieses Vorgehen auch für die restlichen Attribute aus der Sicht des Nutzers möglich. Dabei werden die Zugehörigkeitsfunktionen und Regelblöcke aus Anhang 0 verwendet.

Für die Bewertung der Produkteinfachheit wird im Gegensatz zu der Bewertung der einzelnen Attribute eine Bewertungsskala in fünf Schritten gewählt:

- Schlecht – Niedrigste Bewertungsgröße, das Empfinden von Einfachheit ist nicht vorhanden
- Mäßig – Wenige Teilaspekte werden nur als einfach wahrgenommen
- Mittel – Das Produkt ist benutzbar, aber nicht einfach zu bedienen
- Gut – Die Hauptfunktionalität und der Umgang mit dem Produkt ist einfach
- Optimal – Das Produkt hat keine Defizite bei der Bewertung hinsichtlich Einfachheit

Hierdurch ist eine bessere Differenzierung des Ergebnisses beim Erstellen des Regelblocks möglich. Die einzelnen Zugehörigkeiten erhalten eine bessere Abgrenzbarkeit. Eine Erweiterung der Bewertungsskala ist jedoch nur dann ratsam, wenn die letzte Bewertungsebene erreicht ist. Andernfalls hat dies direkten Einfluss auf die Größe des nächsthöheren Regelblocks. Bei drei Bewertungsgrößen (komplex, kompliziert, einfach) und vier zu untersuchenden Attributen resultiert eine mögliche Anzahl an Bewertungsgrößen von 81 Möglichkeiten. Analog zu Abschnitt 5.3.2 betrüge dies bei vier Bewertungsgrößen und vier zu bewertenden Attributen eine theoretisch mögliche Anzahl⁹⁹ von 256.

Das Resultat der Bewertung der beiden Kaffeemaschinen ist in Abbildung 52 und Abbildung 53 dargestellt. Durch die Verwendung des MIN-Operators bei der Erstellung der Regelblöcke findet keine Normierung der Werte statt. Daher resultiert für Kaffeemaschine P1 eine „mittlere

⁹⁹ Dies entspricht einer Aufwandssteigerung von 200% bei der Erstellung des Regelblocks.

Einfachheit“ mit einer Zugehörigkeit von 0,66. Normiert ergibt dies eine „mittlere“ Zugehörigkeit von 100 %.

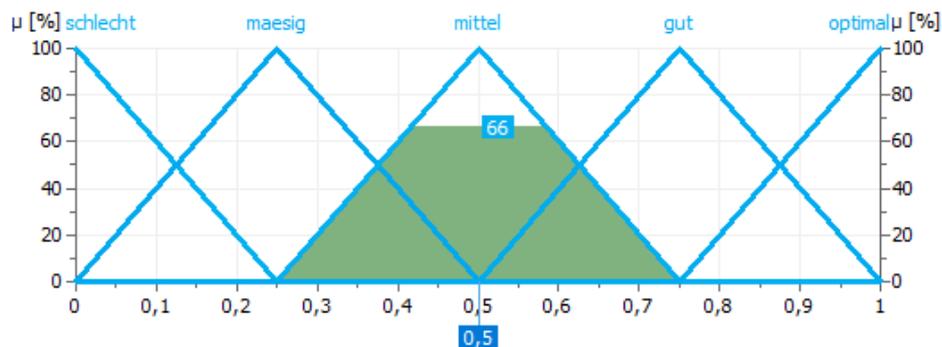


Abbildung 52: Einfachheitsbewertung von Kaffeemaschine P1

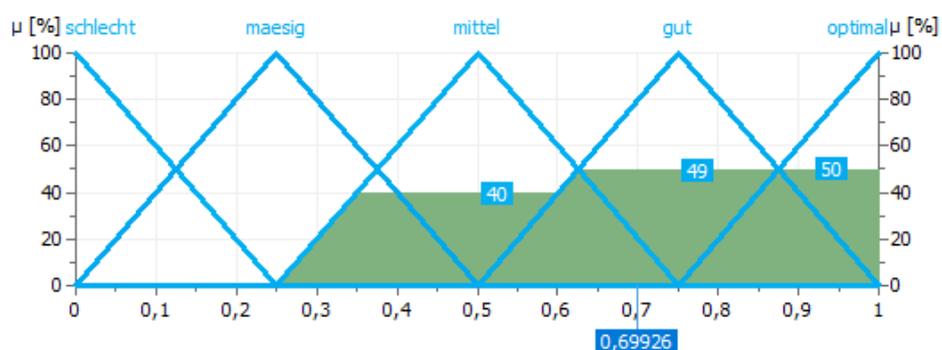


Abbildung 53: Einfachheitsbewertung von Kaffeemaschine P2

Für die Kaffeemaschine P2 ergeben sich eine mittlere Einfachheit mit einer Zugehörigkeit von 0,40 (normiert entspricht dies einer mittleren Bewertung von 28,7 %), eine gute Einfachheit mit einer Zugehörigkeit von 0,49 (normiert entspricht dies einer guten Bewertung von 35,3 %) sowie eine optimale Einfachheit mit einer Zugehörigkeit von 0,50 (normiert entspricht dies einer optimalen Bewertung von 37,0 %). Werden die resultierenden Zugehörigkeiten über den Flächenschwerpunkt einer Defuzzifizierung unterzogen, ergibt sich ein Einfachheitsindex innerhalb einer Skala von 0 – 1 für Kaffeemaschine P1 von 0,5 und für Kaffeemaschine P2 von 0,699.

Daraus folgt, dass die Kaffeemaschine P2 auf Grundlage der verwendeten Attribute und deren Unterkriterien im Durchschnitt ein einfacheres Produkt darstellt. Gleichzeitig gehört aber auch P2 genauso wie P1, in Teilen zu einer „mittleren“ Einfachheit¹⁰⁰. Durch die Verwendung eines unscharfen Bewertungssystems kann die subjektive, teils unterschiedliche Meinung der befragten Gruppe eingefangen werden. Hierdurch gibt das Endergebnis eine Tendenz für die

¹⁰⁰ Dabei wurden jedoch nur Aspekte aus der nutzerzentrierten Perspektive betrachtet. Dieses Ergebnis gibt keine Aussage über eine Betrachtung aus der Perspektive des Anbieters.

Aussagekraft über die Einfachheit des Produktes, schränkt aber gleichzeitig die Bewertung nicht auf einen deterministischen Wert ein.

6. Evaluation des Bewertungsmodells

Nachdem in Kapitel 5 verschiedene etablierte Bewertungsmodelle technischer Systeme sowie alternative Ansätze diskutiert, ausgewählt¹⁰¹ und innerhalb einer ersten Fallstudie beispielhaft angewandt wurden, ist in einem zweiten Schritt die Evaluation des unscharfen Bewertungsmodells im Umfeld der Produktentwicklung sinnvoll.

In diesem Zuge soll eine Aussage über unscharfe Bewertungsmodelle in Bezug auf Einfachheit getroffen und somit die dritte Forschungsfrage dieser Dissertation diskutiert werden:

3.) Unter welchen Bedingungen und mit welchen Methoden ist Einfachheit als subjektive Produkteigenschaft bewertbar?

Zusätzlich dazu ist zu betrachten, welche Strategien und Methoden es zur Erzielung eines einfachen Produktes¹⁰² gibt und wann diese anzuwenden sind:

4.) Welche Strategien und Methoden können zur Vereinfachung von Produkten verwendet werden?

Um beide Fragestellungen zu diskutieren, wurden im Zuge dieser Arbeit ein Produktentwicklungsprojekt innerhalb des Integrated Design Engineering (IDE) begleitet, bei der das unscharfe Bewertungsmodell zum Einsatz kam und auf dessen Ergebnis Iterationen innerhalb des Projektablaufes vorgenommen wurden.

6.1 Fallstudie innerhalb des Integrated Design Engineering

Die in Abschnitt 5.3 und 5.4 dargestellte Methode zur Bewertung einfacher Produkte wird im Folgenden zur Überprüfung der Praktikabilität und Untersuchung der Güte des resultierenden Einfachheitsindex in einer Fallstudie, welche das Ziel der Vereinfachung einer Produktkategorie hatte, durchgeführt. Dabei wird eine Produktentwicklung ausgewählt, die innerhalb des Masterstudiums des Integrated Design Engineerings an der Otto-von-Guericke Universität in Magdeburg innerhalb eines studentischen Teams in Kooperation mit verschiedenen Industriepartnern

¹⁰¹ Als geeignetes Bewertungsmodell subjektiver Größen wurde in Abschnitt 5.2 ein unscharfes Expertensystem ausgewählt.

¹⁰² Oder letztendlich Methoden zur Vereinfachung eines Produktes (wie in Abschnitt 3.6.4 festgestellt, ist Einfachheit in seiner maximalen Kenngröße nicht definierbar).

durchgeführt wurde. Der Fokus der Auswahl des Projektes liegt dabei auf der Umsetzung der Bewertungsmethode mit einer auf Nutzersicht fokussierten Produktentwicklung.

Dabei verfolgt das Projekt den generischen IDE-Prozess, welcher das Produkt von der Idee bis zum Prototypen methodisch anleitet und begleitet ([Neut-2017] Abschnitt 2.4.2):

Die Projektlaufzeit beträgt 14 Wochen. Das Ziel war es, innerhalb dieses Zeitraums das Produkt von der Idee bzw. der Anforderung des Industriepartners bis zur Realisierung in Form eines fertigen Konzepts oder (je nach Größe und Umfang des Produktes) als CAD-Daten zu entwickeln. Die Projekte werden innerhalb eines vierphasigen Entwicklungsprozesses bearbeitet, welcher insgesamt drei Meilensteine und eine finale Abgabe vorsieht [Neut-2017]. Das Vorgehen ist in Abbildung 54 dargestellt:

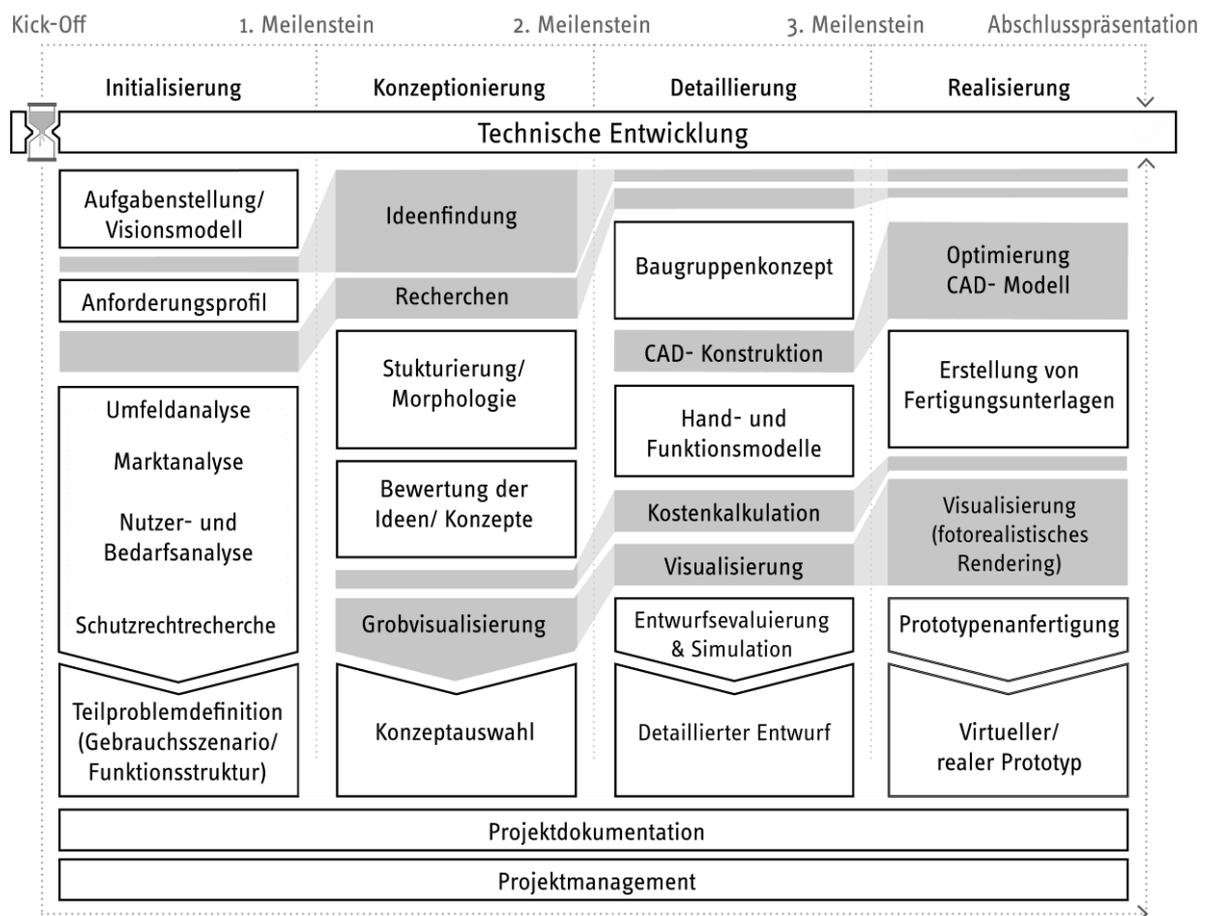


Abbildung 54: Generisches IDE-Vorgehen nach [Neut-2017]

Nach der Initialisierungsphase beginnt die Konzeptionierung, in welcher sowohl erste Ideen als auch, darauf aufbauend, innerhalb der frühen Phase der Entwicklung erste Konzepte aufgestellt, strukturiert und bewertet werden. Mithilfe der Bewertung wird eine Vorzugsvariante ausgewählt, die zumeist mehrere Schwerpunkte hat, welche durch die Anforderungen der Industriepartner definiert werden. Da Produkteinfachheit dabei nur eine dieser unterschiedlichen

Anforderungen widerspiegelt, erfolgt neben der eigentlichen Evaluation der Konzepte eine zusätzliche Bewertung hinsichtlich der Produkteinfachheit.

Durch die Bewertung der verschiedenen Konzepte zum 2. Meilenstein des IDE-Prozesses ist es möglich, mehrere Varianten der gleichen Produktkategorie miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig sind die Produkte an dieser Stelle der Entwicklung bisher nur konzeptionell ausgearbeitet, wodurch ihre Bewertbarkeit einer gewissen Unschärfe unterliegt. Beispielsweise sind Details der Funktionalitäten sowie Schritte zur Fertigung und Produktion des späteren Produkts in dieser Phase zumeist nur grob vorhanden und besitzen noch keine numerischen Kennzahlen als Bewertungsgrundlage. Im Folgenden wird die Bewertung des Projektes „innoCutter“ beschrieben.

6.1.1 innoCutter

Das Projekt innoCutter entstand in Kooperation mit der Andreas Stihl AG & Co. KG. Ziel des Projektes war Analyse und Überarbeitung der aktuellen Freischneiderproduktserien, bezogen auf die User Experience. Im Fokus lag eine Vereinfachung der Produkte, um diese, ausgehend vom professionellen Käufermarkt, auch im privaten Käufermarkt zu etablieren. Das bearbeitende Projektteam bestand aus acht Studierenden des Integrated Design Engineerings mit unterschiedlichen Fächerschwerpunkten. Insgesamt wurden fünf verschiedene Freischneidermodelle vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Dabei unterschieden sich die Freischneider vor allem durch ihre Antriebsart (Elektro- oder Verbrennermotor), die Schnittleistung, die Griff-art sowie die Betriebslaufzeit. Zwei Varianten der Freischneider sind Abbildung 55 zu entnehmen.



Abbildung 55: Stihl Freischneider FS 89 (links) und FSA 56 (rechts) [Stih-2021b, Stih-2021a]

Die Initialisierungsphase des Projektes legte den Fokus auf eine Produktanalyse der Freischneider mit Fokussierung zur Schnittstelle des Nutzers. Dabei sollten sowohl nutzungsspezifische Aspekte bspw. die konkrete Anwendung der Produkte als auch Aspekte der Instandhaltung, des „Look & Feel“ und der Ergebnisse des Freischneidens betrachtet werden. Zur Analyse der Freischneider wurde im Vorfeld eine User Journey¹⁰³ [Tiff-2019] erstellt, auf dessen Grundlage die Bewertungskategorien aufgebaut wurden (Abbildung 56).

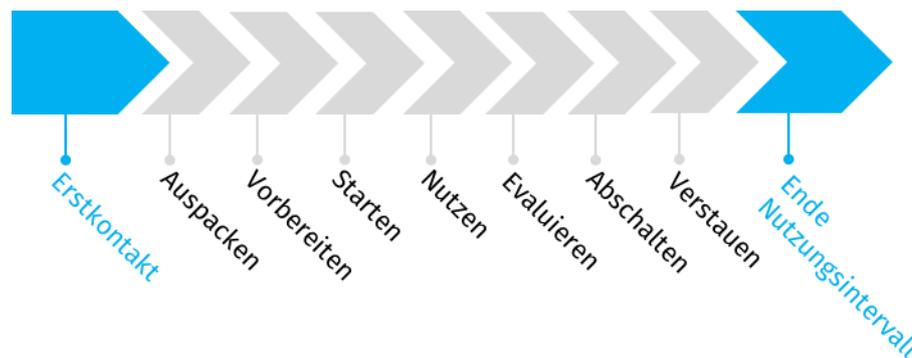


Abbildung 56: User Journey eines Freischneiders im privaten Käufersegment

Der Beginn der User Journey wurde durch das Auspacken und Zusammenbauen sowie das Vorbereiten der ersten Inbetriebnahme definiert. Darauf folgte die Nutzung des Produktes, eine Ergebnisbetrachtung und letztendlich das Abschalten und Verstauen des Freischneiders. Da während des Projektes bei der Analyse der Freischneider der Fokus auf die Nutzererfahrung gelegt wurde, mussten die ursprünglichen, auf Gebrauchstauglichkeit und Funktionalität bezogenen Bewertungskriterien angepasst werden. Somit wurde im Anschluss an das Projekt eine erneute Bewertung der Freischneider, bezogen auf eine Produkteinfachheit aus Nutzersicht nach der in Abschnitt 3.6 erstellten Definition, durchgeführt.

Für die Bewertung der Produkteinfachheit aus Nutzersicht wurden auch hier die Attribute des IDE, wie in Abschnitt 4.2 festgelegt, verwendet. Diese wurden analog zu Abschnitt 5.4 durch leichter zu erfassende Unterkriterien weiter aufgegliedert. Insgesamt wurden die vier Attribute aus Nutzersicht durch die in Abbildung 57 dargestellten Unterkriterien gebildet:

¹⁰³ Eine User Journey beschreibt auf einem hohen Detaillierungslevel die genauen Handlungsschritte, welche ein Nutzer bei der Interaktion eines Produktes durchläuft. Es stellt den Workflow des Nutzers dar und versucht dadurch Bereiche offen zu legen, in welchen dieser Workflow verbessert werden kann. Sie können sowohl einzelnen ausgewählte Aktivitäten betrachten als auch die gesamte Produktinteraktion (vom Kauf bis zur Entsorgung) abbilden.

Funktionalität	Gebrauchstauglichkeit	Produktgestalt	Verfügbarkeit
<ul style="list-style-type: none"> • Schnittergebnis • Kraft/Durchzug • Funktionsanzahl 	<ul style="list-style-type: none"> • Handgriffgefühl • Flexibilität • Vibrationsgefühl • Gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Selbsterklärend • Look & Feel 	<ul style="list-style-type: none"> • Inbetriebnahme • Wartbarkeit

Abbildung 57: Attribute und Unterkriterien für eine Einfachheitsbewertung im Projekt innoCutter

Eine Änderung der Unterkriterien im Vergleich zu Abschnitt 5.4 ergab sich zum einen aus dem eng definierten Kontext, in welchem die Evaluation stattfand, und zum anderen auf Grund der produktbezogenen Relevanz. Dies hatte vor allem den Vorteil, dass durch die Wiederverwendung bereits bekannter Unterkriterien¹⁰⁴ die Bewertung der Freischneider einfacher auf Grundlage der Erkenntnisse während des Projektablaufes durchzuführen war. Es ist zu beachten, dass die Bewertungskriterien dabei nicht vollständig repräsentativ für die Attribute des Integrated Design Engineering stehen. Da jedes Attribut des IDE einen eigenständigen Produktaspekt beleuchtet ist eine Aufgliederung der Attribute in drei Unterkriterien keine vollumfängliche Darstellung. So bildet das Attribut *Produktgestalt* alle mit der Erscheinung zusammenhängenden Aspekte ab. Dies geht von der reinen geometrischen Wahrnehmung über den Nutzungskontext bis hin zu den empfundenen Emotionen. Eine Auseinandersetzung mit der vollständigen Aufstellung der Abhängigkeiten und Kriterien der Attribute des IDE ist jedoch nicht Fokus dieser Arbeit¹⁰⁵. Für die Bewertung der Einfachheit unter der Verwendung der Attribute wurden die Unterkriterien zur Vereinfachung der Freischneider in der Erstinutzung jedoch als hinreichend bewertet. In einem ersten Schritt wurden alle Bewertungskriterien auf einer Skala zwischen 0 bis 4 in 0,5er Schritten nach der Methode der Nutzwertanalyse¹⁰⁶ bewertet. Eine Gewichtung der Kriterien fand nicht statt. Das Ergebnis der Bewertung ist Abbildung 58 und Abbildung 59 zu entnehmen. Abbildung 58 stellt die Ergebnisse der einzelnen Bewertungskriterien pro Freischneider da. Abbildung 59 zeigt die Summe der Bewertungspunkte der einzelnen

¹⁰⁴ Die ursprünglichen Bewertungskriterien waren dabei: Allg. Handling, Funktionen/Features, Handgriffgefühl, Flexibilität, Vibrationsgefühl, Gewicht und Look & Feel.

¹⁰⁵ Auch wenn dies eine höchst interessante Ergänzung wäre.

¹⁰⁶ Dabei wurde die Vorgehensweise der Nutzwertanalyse, wie in Abschnitt 5.1.1 beschrieben, angepasst. Veränderungen wurden sowohl bei der Größe der Bewertungsskala vorgenommen, welche Zwischenschritte zwischen dem Standardintervall von 0-4 zulässt. Weiterhin wurde auf eine Gewichtung der Bewertungskriterien untereinander verzichtet. Da für die vergleichende Bewertung des unscharfen Expertensystems keine Gewichtung der Kriterien zum Einsatz kommt, können die Ergebnisse somit besser miteinander verglichen werden.

Bewertungskriterien jedes Freischneidermodells. Aus Gründen der Geheimhaltung mussten hierbei die bewerteten Freischneider Modelle anonymisiert werden und sind weiterhin unter Freischneider1 (FS1) bis Freischneider 5 (FS5) gekennzeichnet.

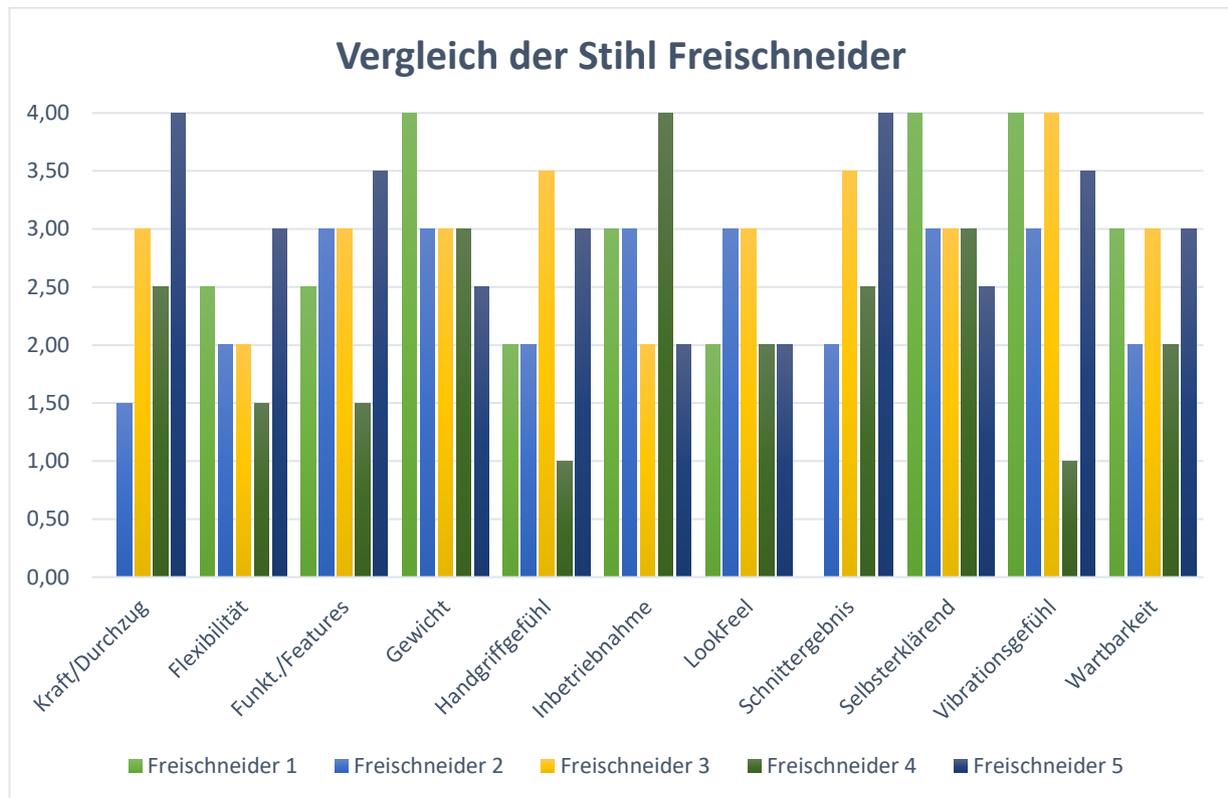


Abbildung 58: Bewertung verschiedener Freischneider der Marke Stihl

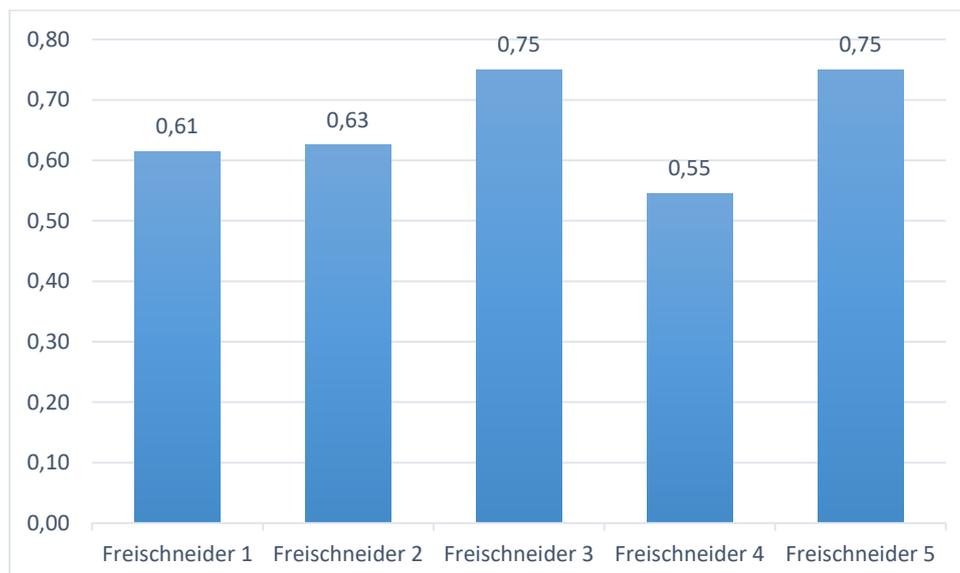


Abbildung 59: Bewertungsergebnis der Produkteinfachheit mittels der Nutzwertanalyse

Unter Betrachtung der resultierenden Ergebnisse ist zu erkennen, dass vor allem der FS3 als leistungsstarke Elektromotor-Variante sowie der FS5 als leistungsstarkes Verbrennermodell die

besten Bewertungen erzielen. Die weiteren Modelle schneiden in der Bewertung bis zu 27% schlechter ab. Weiterhin ist die Bewertung des FS1 und FS2 sowie des FS4 relativ dicht beieinander, was eine Differenzierung der Produkte erschwert.

In einem zweiten Schritt wurde auf Grundlage derselben Bewertungskriterien für den Einsatz des unscharfen Bewertungssystems die entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen und Regelblöcke erstellt. Dabei wurden die Zugehörigkeitsfunktionen auf Grundlage der in Abschnitt 5.4 erstellten Zugehörigkeitsfunktionen der Attribute aufgenommen und angepasst. Die Zugehörigkeitsfunktionen und Regelblöcke sind Anhang 1 und Anhang 2 zu entnehmen. Die Zugehörigkeitsfunktionen und Regelblöcke sind Anhang 1 und Anhang 2 zu entnehmen. Die blau markierten Werte stellen dabei den Flächenschwerpunkt der einzelnen in grün dargestellten Zugehörigkeiten dar.

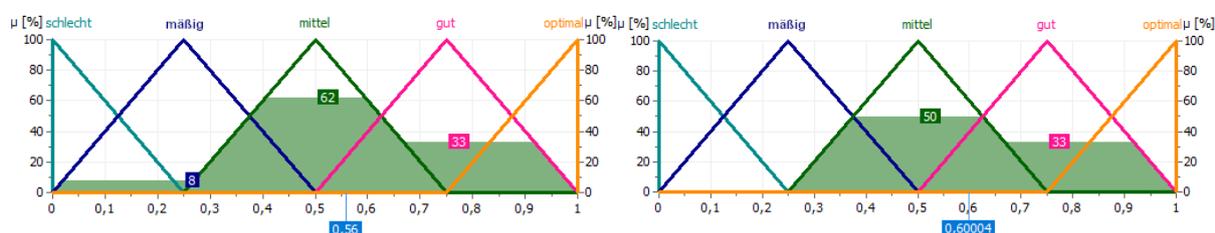


Abbildung 60: Einfachheitsindex des FS1 (links) und FS2(rechts)

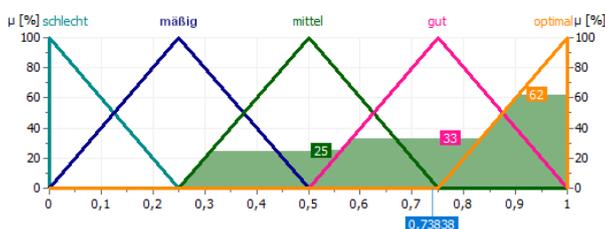


Abbildung 61: Einfachheitsindex des FS3

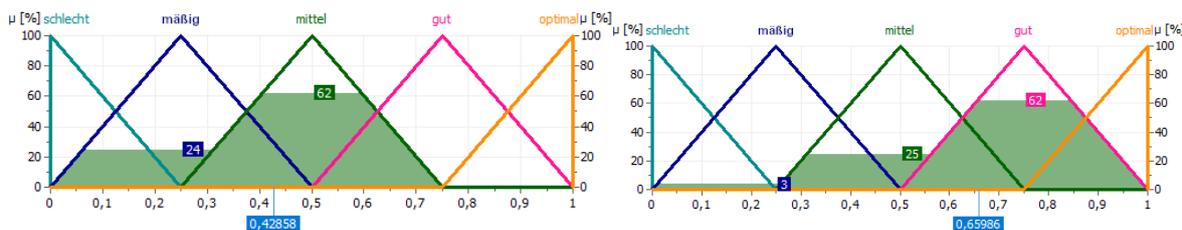


Abbildung 62: Einfachheitsindex des FS4 (links) und FS5 (rechts)

Insgesamt wurden bei der Bewertung mittels eines unscharfen Bewertungsmodells fünf verschiedene Zugehörigkeiten für die Produkteinfachheit festgelegt. Wird der Flächenschwerpunkt der finalen Aggregation betrachtet (dargestellt als blau markierte Werte), ist eine ähnliche Rangverteilung wie bei der ursprünglichen Bewertung festzustellen (Abbildung 63).

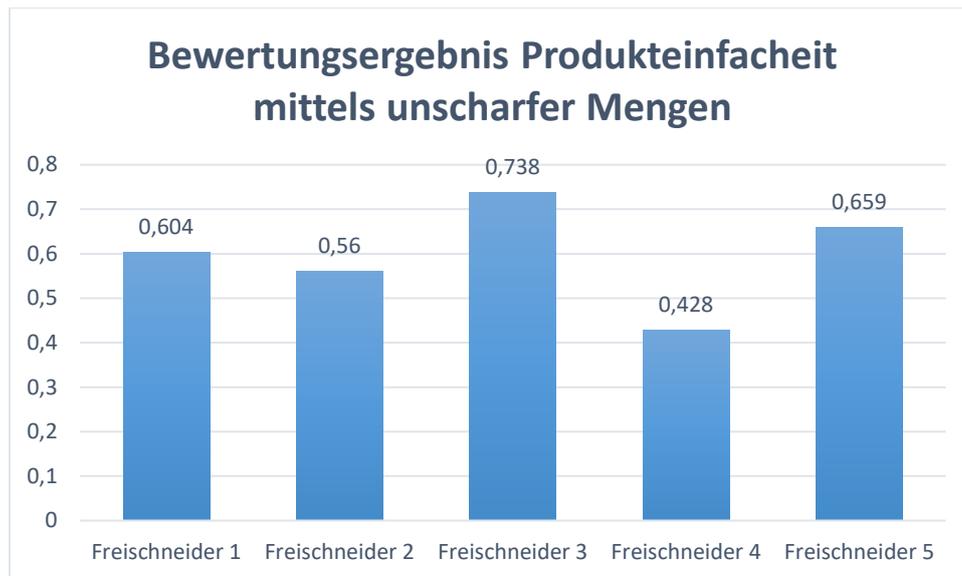


Abbildung 63: Bewertungsergebnis der Produkteinfachheit mittels unscharfer Mengen (ungewichtet)

Auch bei der Bewertung mittels unscharfer Mengen bilden der FS3 und der FS5 die Bewertungsspitze. Jedoch ist der FS3 hierbei deutlich besser bewertet als der FS5. Gleichzeitig ist der Abstand zwischen den verbleibenden Freischneidern deutlich größer. Während bei der Nutzwertanalyse zwischen dem FS1 und dem FS4 lediglich 8 % Unterschied lagen, sind es beim unscharfen Bewertungsmodell 18 %.

Werden Abbildung 60, Abbildung 61 und Abbildung 62 betrachtet kann zudem eine Aussage über das Spektrum der Einfachheitsbewertung getroffen werden. So weist der FS5 größtenteils eine gute Produkteinfachheit auf. Je nach subjektiven Eindrücken der nutzerbezogenen Einfachheit (vgl. 3.6.2), welche durch die Erfahrungen, Kenntnisse, Fähigkeiten und Emotionen des Nutzers geprägt werden, kommt trotz guter Bewertung von einem geringeren Teil eine mittlere Produkteinfachheit zustande. Weiterhin empfindet eine kleine Menge der Bewertenden das Produkt als wenig einfach, welches durch die Zugehörigkeit zur mäßigen Produkteinfachheit dargestellt wird. Somit ist der FS5 zwar sowohl in der Nutzwertanalyse als auch beim unscharfen Bewertungsmodell das zweit-einfachste Produkt. Jedoch zeigt sich, dass diese Bewertung stark nach Nutzer schwanken kann. Aus dieser breiten Verteilung lässt sich schließen, dass der FS5 vor allem für den professionellen Bereich bzw. für Nutzer mit Kenntnissen und Erfahrungen innerhalb dieser Produktkategorie, entwickelt wurde.

Ein anderes Bewertungsergebnis zeigt der FS2, welcher seine größte Mengenverteilung in der mittleren Produkteinfachheit hat. Er kann aber auch zu geringeren Mengen als eine gute oder mäßige Produkteinfachheit empfunden werden. Da aus diesem Intervall aus drei Bewertungsgrößen die mittlere die größte Verteilung darstellt, kann darauf geschlossen werden, dass hierbei

die nutzerbezogene Einfachheit eine geringere Rolle spielt. Es ist davon auszugehen, dass der FS2 innerhalb der Kategorien schlecht abschneidet, welche weniger stark von subjektiven Bewertungsgrößen geprägt werden.

6.1.2 Ergebnisse der Fallstudie

In der behandelten Fallstudie des Integrated Design Engineering wurden einzelne Einfachheitskriterien bestimmt und bewertet. Die Kriterien ergaben sich dabei aus den Attributen des Integrated Design Engineerings, welche sich auf die Nutzersicht beschränkten. Dabei kamen die Attribute Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Produktgestalt und Verfügbarkeit zum Einsatz. Aus den Attributen wurden Unterkriterien bestimmt, sodass insgesamt 12 Kriterien bewertet wurden (vgl. Abbildung 57). Diese Bewertungen gingen als scharfe Werte auf einer Werteskala von 0-4 in die Bewertung einer Nutzwertanalyse und in die fuzzybasierte Bewertung der Produkteinfachheit ein.

Hauptvorteil der unscharfen Bewertung stellt das unterschiedlich abgebildete Spektrum der Zugehörigkeitsfunktionen sowohl während der Bewertung als auch bei der Darstellung des Bewertungsergebnisses dar. Besonders bei heterogenen Bewertungskategorien und schwer zu erfassenden Bewertungsgrößen bieten unscharfe Mengen ein differenziertes Bewertungsspektrum. Ausprägungen können jederzeit auf die zur Bewertung verwendeten Regelblöcke zurückgeführt werden (vgl. Abschnitt Anhang B.2). Weiterhin besteht kein Informationsverlust durch die Bildung eines Mittelwertes. Während bei der Nutzwertanalyse im Endergebnis keine Informationen bezüglich des unterschiedlichen Empfindens des Bewertenden aufgezeigt werden, kann mit dem unscharfen Bewertungsmodell eine Aussage über die unterschiedliche Verteilung der empfundenen Produkteinfachheit getroffen werden. Hierdurch ist es möglich, Rückschlüsse auf Optimierungspotenziale bei der Entwicklung des jeweiligen Produktes zu treffen. Mit Hilfe der regelbasierten Aggregation der resultierenden Mengenverteilung ist es dennoch möglich, einen gesamten Einfachheitsindex zu bilden.

Die Bewertungen, welche mit unscharfen Bewertungsmodellen erstellt werden, sind qualitativ sehr stark vom Regelblock abhängig. Zwar war das Ergebnis des unscharfen Bewertungsmodells der Freischneider ähnlich zur Nutzwertanalyse, jedoch stellen die Regelblöcke als Hauptelement der Bewertungsmethode einen Ansatz für weitere Untersuchungen dar. Ein weiterer Einflussfaktor auf das Bewertungsergebnis sind die aufgestellten Zugehörigkeitsfunktionen. Da für jedes Kriterium ein Intervall festgelegt wird, welches ein komplexes, kompliziertes und einfaches Empfinden widerspiegeln soll, ist es fraglich, inwieweit das Ergebnis durch die Veränderung dieser Zugehörigkeitsfunktionen beeinflusst wird.

Insgesamt ergaben sich beim Vergleich der beiden Bewertungsmethoden verschiedene Kriterien, welche die Vor- und Nachteile eines unscharfen Bewertungsmodells aufzeigen:

- Visualisierung der Ergebnisse

Bei der Visualisierung der Ergebnisse ist es dank des unscharfen Verhaltens der Fuzzy-Mengen möglich, Bewertungsintervalle aufzuzeigen. Somit ist auch bei Aggregation eine kritische Beurteilung der einzelnen Bewertungsgrößen möglich. Durch ein Rückverfolgen der Aggregationslogik lassen sich gezielt in zu optimierenden Bereichen Maßnahmen ergreifen.

Unscharfe Bewertungsmodelle ermöglichen es zudem, einen Eindruck über das subjektive Empfinden bei der Bewertung einer Größe zu erlangen. Besitzt das resultierende Ergebnisse ein breites Bewertungsspektrum, deutet dies darauf hin, dass das Produkt unterschiedlich von den Bewertenden wahrgenommen wurde. Während für den einen Bewertenden auf Grund seiner persönlichen Kenntnisse, Erfahrungen und Fähigkeiten mit dem zu bewertenden Produkt sämtliche Aspekte des Produktes als logisch und einfach erscheinen, stellen sie für einen Bewertenden mit weniger bisherigen Erfahrungen mit der Produktfamilie ein kompliziertes oder komplexes Produkt dar.

- Bewertungsgrößen

Positiv zeigten sich die unscharfen Mengen während der Bewertung der Unterkategorien. Da sowohl sehr unscharfe linguistische Bewertungskriterien wie „selbsterklärend“ von der Studierendengruppe verwendet wurden, als auch deterministisch leichter erfassbare wie bspw. „Gewicht“, mussten beide Kriterienarten abgebildet werden können. Da deterministische Bewertungsverfahren wie die Nutzwertanalyse so weit wie möglich auf objektive Kriterien abstrahiert werden (vgl. Abschnitt 5.1), können unscharfe Zugehörigkeitsfunktionen mit linguistischen Bewertungen umgehen. So ist es möglich „selbsterklärend“ anhand linguistischer Variablen, wie „relativ einfach“ anhand der Zugehörigkeitsfunktionen zu bestimmen, aber auch gleichzeitig deterministisch das Gewicht zu bewerten.

- Modellerstellung

Die Modellerstellung ist je nach Anzahl der zu bewertenden Kriterien und des gewünschten resultierenden Intervalls der Bewertungsgrößen im Vergleich zur Nutzwertanalyse erheblich aufwändiger. Da für jedes zu bewertende Kriterium eine Zugehörigkeitsfunktion festgelegt werden muss, ist vor allem im Vorhinein der Bewertung Expertenwissen über das Verhalten und die Einordnung des Bewertungskriteriums im Zusammenhang mit der eigentlichen Bewertungsgröße notwendig.

Eine mögliche Vorgehensweise ist es, die Zugehörigkeitsfunktionen erst während der Bewertung der Kriterien anhand der minimalen und maximalen Bewertungsausprägungen festzulegen. Dadurch ist zwar der initiale Aufwand verringert. Dies ermöglicht aber nicht mehr das zuvor beschriebene Bewerten der Kriterien anhand linguistischer Variablen.

Zusätzlich muss neben den Zugehörigkeitsfunktionen für jede Aggregation ein Regelblock definiert werden, dessen Kombinationsmöglichkeiten und Komplexität mit der Anzahl der Kriterien und Bewertungsintervalle schnell ansteigt. Dabei nimmt die Variantenanzahl exponentiell mit jeder Bewertungsgröße zu. Es ist im Vorhinein bei der Festlegung der Bewertungskriterien abzuwägen, ob der resultierende Aufwand aus den Kombinationsmöglichkeiten des Regelblocks den Aufwand der Bewertung aufwiegt.

- Fehlerpotenzial

Durch den genannten Aufwand bei der Erstellung der Zugehörigkeitsfunktionen und der Regelblöcke bietet die Anwendung eines unscharfen Bewertungsmodells Potenziale für eine falsche Evaluation. Insgesamt wurden für die Aggregation der Attribute zu einem Einfachheitsindex 81 Regeln des Regelblocks festgelegt (Anhang 2). Werden hier falsche Annahmen für die angestrebte Zusammenführung der Attribute (Aggregation) getätigt¹⁰⁷, wirkt sich dies direkt auf das Bewertungsergebnis aus.

- Anwendbarkeit

Auf Grundlage der beispielhaften Bewertung aus Abschnitt 5.4 und der vorangegangenen Fallstudie ist zu erkennen, dass unscharfe Bewertungsmodelle besonders bei deterministisch schwer zu erfassenden Bewertungskriterien eine sinnvolle Anwendbarkeit aufzeigen. Gerade die Bewertung der unscharf zu erfassenden Kriterien könnten über das allgemeine Empfinden des Bewertenden, das sog. Bauchgefühl, besser evaluiert werden, als wenn scharfe Bewertungsnummer genannt werden müssen.

6.2 Strategien zur Vereinfachung von Produkten

Auf Grundlage des Ergebnisses der Nutzwertanalyse der Fallstudie wurden im Folgenden Methoden und Strategien zur Vereinfachung der Freischneider evaluiert. Dabei wurde ausgehend von den in Abschnitt 3.4 untersuchten Bereiche des Produktlebenszyklus Strategien abgeleitet

¹⁰⁷ Falsche Annahmen könnte bspw. sein, dass eine einfache Funktionalität, aber eine komplizierte Gebrauchstauglichkeit und komplizierte Produktgestalt dennoch zu einer im Ganzen bewerteten Produkteinfachheit führen.

und mit Erkenntnissen aus der Fallstudie zusammengeführt. Dabei lag der Fokus auf einer möglichst allgemeingültigen Anwendbarkeit der Methoden innerhalb der Produktentwicklung. Innerhalb der Fallstudie mit dem Ziel der Optimierung verschiedener Freischneidermodelle kamen dabei die folgenden Methoden zum Einsatz: (für eine weiterführende Übersicht sei auf [BrHS-2013] [Helf-2015] [Schu-2014] [Ashk-2007] verwiesen).

- Strukturierung

Einfache Produkte besitzen eine klare Produktstruktur. Diese zeigt durch logische und inhaltliche Verknüpfungen die Zusammensetzung des Produktes und seiner Komponenten und fasst diese Komponenten in verschiedenen tiefen Ebenen zusammen. Je geringer die Anzahl der Elemente und deren Verknüpfungen sind, desto leichter ist es, die Strukturierung des Produktes zu durchdringen und somit ist es einfacher, mit dem jeweiligen System zu arbeiten.

Bezogen auf die Freischneider war erkennbar, dass vor allem durch Reduktion der vom Nutzer zu montierenden Teilen bei der Inbetriebnahme eine Vereinfachung aus Nutzersicht erzielt werden konnte.

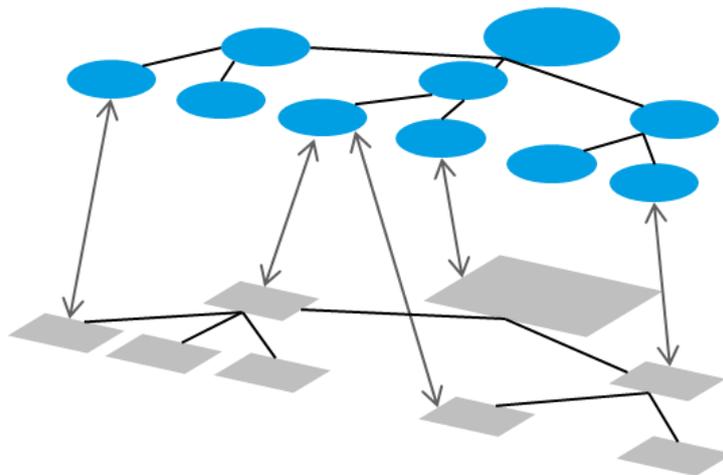


Abbildung 64: Schem. Darstellung der Strukturierung über das Setzen von Relationen

- Transparenz

Einfache Produkte und Prozesse benötigen eine transparente Informationsdarstellung. Mangelnde Transparenz über Ursachen und Wirkungen des Verhaltens führen zu einer Zunahme an Komplexität und vermindern das Verständnis für Korrelationen. Sind benötigte Informationen nicht abrufbar, erscheint das System als unzugänglich und schwer durchdringbar.

Diese Methode wurde innerhalb der Informationsdarstellung des Freischneiders während der Nutzung angewandt. Durch eine Erweiterung zusätzlicher visueller Hilfsmittel am

Schneidbereich der Freischneider, konnte eine informative Verbesserung über die Schneidzone erreicht werden¹⁰⁸. Dadurch war es dem Nutzer möglich, Rand- und Eckbereiche gezielter zu bearbeiten.

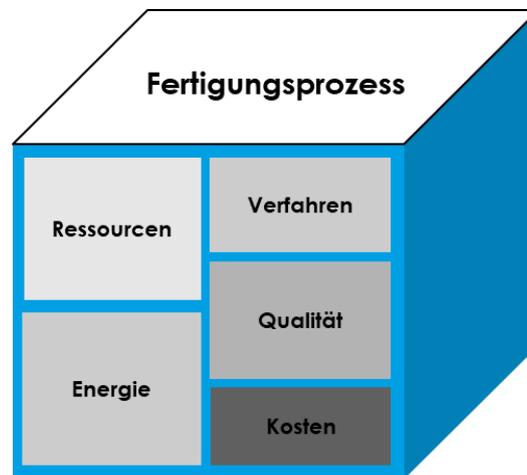


Abbildung 65: Schematische Darstellung zur Verdeutlichung von Transparenz

- Planbarkeit

Einfache Produkte und Prozesse müssen planbar in ihrem Verhalten und in ihrer Entwicklung sein. Das Auftreten von unvorhergesehenen Reaktionen ist so weit wie möglich zu reduzieren. Damit lassen sich präzise Aussagen über bevorstehende Wechselwirkungen (sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Nutzung) treffen.

Hierzu gehörte die eindeutige Voraussagbarkeit der Betriebslaufzeit der Freischneider. Eine Visualisierung der verbleibenden Akkulaufzeit ermöglicht eine klare Voraussage über die mögliche Arbeitszeit. Gleiche Methode ist beim Schnittwerkzeug und dessen Verschleiß anzuwenden. Sowohl beim Schnittpfad, welcher ein kurzlebiges Verschleißobjekt ist, als auch bei Schneidklingen ist die Information der Betriebszeit essenziell für die Planbarkeit.

¹⁰⁸ Aus Gründen der Geheimhaltung kann an dieser Stelle nicht inhaltlich auf die Verbesserung der Freischneider eingegangen werden.

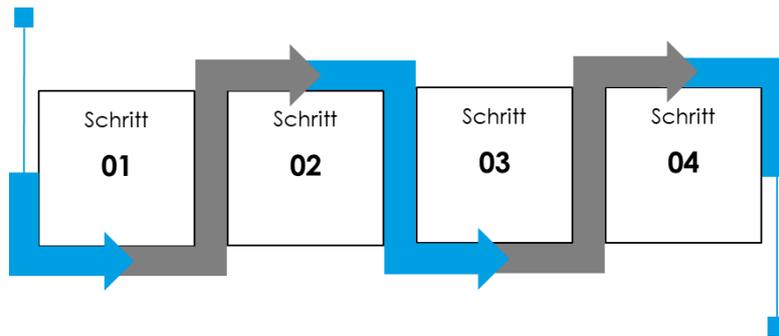


Abbildung 66: Schematische Darstellung eines Workflows zur Darstellung der Planbarkeit

- Geschlossenes System

Je geschlossener ein Produkt bei der Ausführung seines Leistungsangebots ist, desto einfacher ist dessen Handhabung. Schnittstellen zu anderen Systemen sind Komplexitätstreiber, welche die Notwendigkeit eines zusätzlichen Produktes erzeugen. Geschlossene Systeme benötigen für ihre Hauptfunktionen keine Support-Systeme. Zu unterscheiden ist von Schnittstellen, welche nicht für das Kernleistungsvermögen des Produktes, sondern für seine Integration beispielsweise in ein vorhandenes Umfeld verwendet werden.

Insgesamt wurden alle bewerteten Freischneider als geschlossene Systeme bereits in ihrem Ist-Stand bei Projektbeginn bewertet. Ihr primäres Leistungsvermögen stand bei allen Modellen vollständig im Vordergrund und wurde nicht durch zusätzliche Funktionalitäten negativ beeinträchtigt.

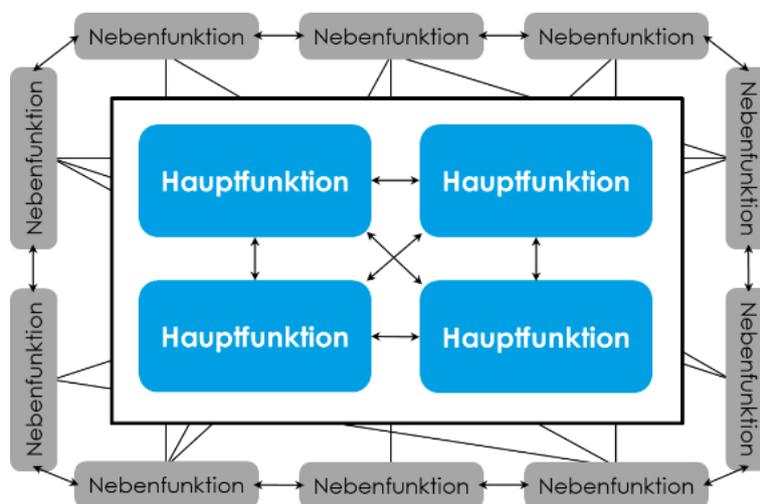


Abbildung 67: Schematische Darstellung eines geschlossenen Funktionsnetzwerks

- Modularisierung

Systeme und Prozesse sollten in einer geeigneten Hierarchie durch Reduzierung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Elementen angeordnet werden. Dies erzeugt eine Trennung von

spezifischen und Standard-Einheiten, wodurch eine Vereinfachung bei der Erstellung von Varianten ermöglicht wird. Modularisierung kann beispielsweise eine hohe Endproduktvielfalt mit einer guten Vorhersehbarkeit im Fertigungsprozess durch die Aufteilung in Module und deren (fast) beliebige Kombinationsvielfalt erreichen.

Hinsichtlich der Fallstudie konnte eine Modularisierung bei der Integration der Betriebsressourcen festgestellt werden. Ein leichtgängiger Austausch der Schneidwerkzeuge war ein zusätzlicher ausschlaggebender Punkt bei der Optimierung der Freischneider. Ein schwergängiger Austausch wurde als großer Optimierungspunkt hinsichtlich einer einfachen Nutzung herausgestellt. Zusätzlich wurde der austauschbare Akku beim FS3 sehr positiv bewertet.

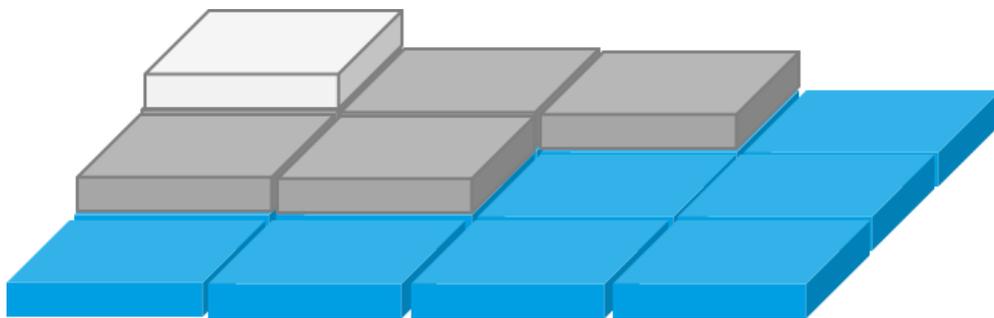
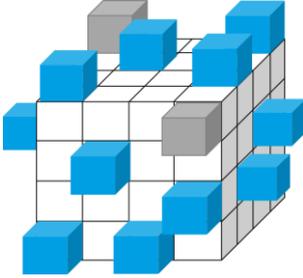
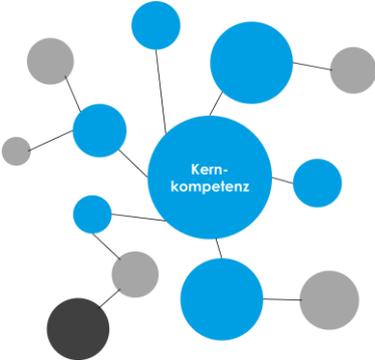
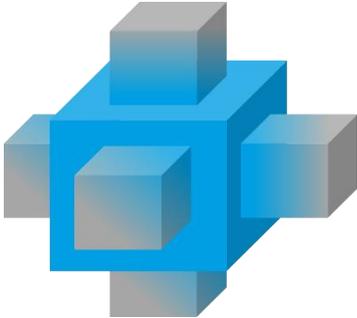


Abbildung 68: Schematische Darstellung der Modularisierung

Neben diesen Methoden konnte im Zuge dieser Arbeit mithilfe einer Synthetisierung der in Abschnitt 3.4 gesammelten Beschreibungen einfacher Produkte weitere Methoden herausgestellt werden. Eine vollständige Beschreibung ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Weitere Methoden und Strategien zur Vereinfachung von Produkten

<p>Standardisierung</p> <p>Einfache Produkte zeigen sowohl in der Bedienung als auch in der Entwicklung wiederkehrende Elemente auf, deren Handhabung bereits zum existierenden Wissensstand gehört. Durch standardisierte Elemente wird die Anzahl der möglichen auftretenden Fehler verringert und das Verhalten des Produktes ist leichter voraussagbar.</p>	
<p>Beherrschbarkeit</p> <p>Durch Fokussierung des Kernleistungsvermögens eines Produktes (beispielsweise liegt der Fokus eines Mobiltelefons auf der Kommunikation) ist es möglich, das Produkt und dessen Prozesse (aus Nutzer- und Anbietersicht) einfacher zu kontrollieren. Diese Beherrschbarkeit steht in Abhängigkeit mit dem Wissensstand des Anwenders. Liegt das jeweilige Produkt oder der Prozess außerhalb des Kompetenzbereichs des Anwenders, führt dies zu einer Zunahme der Komplexität. Prozesse sind ein dynamischer Mechanismus, welcher über der Zeit wächst. Passiert dies unkontrolliert, entstehen Reibungspunkte, welche in einer Kompetenzüberforderung resultieren.</p>	
<p>Integration</p> <p>Durch das Integrieren mehrerer artverwandter Funktionen innerhalb eines Produktes kann die Einfachheit in der Nutzung des Produktes gefördert werden. Wenn es möglich ist, mehrere Funktionen innerhalb eines Systems logisch zu verknüpfen, erhöht dies die Funktionen des Produktes und gleichzeitig die Effektivität der Nutzung (beispielsweise ermöglicht ein Multifunktionsdrucker zusätzlich Scannen und Kopieren). Gleiches gilt für Prozesse in einem flexiblen Fertigungssystem, mit denen mehrere Fertigungsschritte in beliebiger Folge bearbeitet werden können.</p>	
<p>Zuverlässigkeit</p> <p>Einfache Produkte und Prozesse zeigen einen hohen Grad an Zuverlässigkeit, sodass das Leistungsvermögen des Produktes beziehungsweise des Prozesses so lange wie möglich zur Verfügung steht. Ist die Lebensdauer des Produktes kürzer als erwartet, resultiert dies in Komplexitätstreibern¹⁰⁹. Die Zuverlässigkeit von Produkt und Prozessen ist gleichzeitig essenziell für die Planbarkeit und die Erwartungskonformität und sie steht stets in Abhängigkeit vom Nutzer.</p>	

¹⁰⁹ Da das Leistungsvermögen des Produktes nicht so lange wie erwartet dem Nutzer zur Verfügung steht (vgl. Definition von Produkteinfachheit aus Nutzersicht in Abschnitt 3.6.1).

<p>Erwartungskonformität</p> <p>Erwartungskonformität legt den Maßstab der Wahrnehmung eines einfachen Produktes fest. Sie bildet sich durch Kenntnisse, Vorstellungen, Ziele und Erfahrungen, welche der Nutzer mit dieser Art Produkt bereits gesammelt hat. Werden die daraus resultierenden Erwartungen nicht angesprochen und / oder nicht erfüllt, kommt es zu Verzögerungen, Bedienungsfehlern oder nicht erreichbaren Zielen, welche in Folge als Komplexität wahrgenommen werden. Die Erwartungskonformität bildet die Basis der subjektiven Einschätzung des Produkts durch den Betrachter.</p>	
<p>Verfügbarkeit</p> <p>Sowohl das Produkt als auch alle benötigten Ressourcen für die Verwendung des Produktes müssen für den Nutzer verfügbar sein. Jegliche Verzögerungen, welche durch das Fehlen von benötigten Ressourcen den Nutzer von der Nutzung des geforderten Leistungsangebots des Produktes abhält, resultieren in zunehmender Komplexität. Gleiches gilt für den Anbieter, dessen Bedarf nach einem bestimmten Prozess oder nach einer bestimmten Ressource so schnell wie möglich beantwortet werden soll.</p>	

Abschließend lässt sich sagen, dass jede Methode, welche zur Verbesserung der in Abschnitt 3.6.4 aufgestellten Definition einfacher Produkte beiträgt, angewendet werden kann. Es ist jedoch zu beachten, dass so wie die verschiedenen Bewertungsattribute Einfachheit sowohl verstärken als auch gegenseitig mindern können, auch Maßnahmen zur Vereinfachung eine positive und gleichzeitig negative Wirkung auf die Einfachheit eines Produktes haben können. So kann bspw. die Modularisierung des Produktes die Wartung und somit die Verfügbarkeit verbessern, gleichzeitig aber dadurch auch die Struktur verkomplizieren und dazu führen, dass das Produkt kein geschlossenes System (zur Erzielung seines primären Leistungsvermögens) mehr ist. Die Auswahl der geeigneten Methode ist kontextabhängig und sollte nur in Kombination einer vorhergehenden Bewertung der Produktkategorie und einer damit einhergehenden Einflussmatrix erfolgen. So kann sichergestellt werden, dass nur solche Methoden zum Einsatz kommen, welche zur Vereinfachung des Produktes einen positiven Effekt beitragen.

6.3 Weitere Forschungsperspektiven zur Bewertung von Produkteinfachheit

Aus der vorliegenden Arbeit ergeben sich eine Reihe weiterer Forschungsperspektiven, die mithilfe der Literaturrecherche, Aufstellung des Bewertungsmodells und Anwendung anhand einer Fallstudie aufgedeckt werden konnten. Die Definition einfacher Produkte aus Abschnitt 3.6 wurde aufbauend auf den in Abschnitt 2.2 aufgestellten, relevanten Gruppen erstellt. Da die Gruppe des Anbieters aus mehreren Stakeholdern zusammengesetzt wird, besteht Potenzial zur Überprüfung der Gültigkeit der aufgestellten Definition unter Betrachtung einzelner Stakeholder. Weiterhin ist eine Analyse weiterer Bereiche des Produktlebenszyklus sinnvoll. Da in dieser vorliegenden Arbeit der Fokus auf der Sichtweise des Nutzers liegt, wurden Teilgebiete wie die Produktplanung und Produktfertigung nur am Rande betrachtet und könnten weitere Erkenntnisse für die Definition einfacher Produkte liefern.

Hinsichtlich des in Abschnitt 5.3 aufgestellten unscharfen Expertensystems wäre weiterer Fallstudien sinnvoll, um zum einen die Ergebnisgüte der unscharfen Mengen innerhalb der Bewertung subjektiver Bewertungsgrößen bezogen auf ihre Konsistenz zu untersuchen und zum anderen den Aufwand zur Aufstellung eines solchen Systems innerhalb weiterer Produktkategorien festzustellen.

Zusätzlich ist eine Durchführung der Bewertung unscharfer Mengen in Kombination der Autogenetischen Konstruktionstheorie zu überprüfen. Hierbei ermöglicht eventuell die Verwendung unscharfer Mengen zum einen das Beibehalten der subjektiven Unschärfe in der Festlegung der Bewertungsintervalle, während gleichzeitig die Anwendung evolutionärer Methoden eine zielgerichtete Bewertung hinsichtlich des Findens von globalen Optima erreichen könnte. Hierbei kann sowohl auf das unscharfe Expertensystem dieser Arbeit als auch auf die in [WüPV-2016] beschriebene Bewertung von Konzepten in den frühen Phasen der Produktentwicklung zurückgegriffen werden.

Neben der Bewertbarkeit von Einfachheit ist es weiterhin sinnvoll, den Einsatz unscharfer Expertensysteme an weiteren subjektiven Bewertungsgrößen zu evaluieren. Dabei bieten sich besonders Produktkriterien aus dem Bereich der Produktgestalt oder der Gebrauchstauglichkeit an.

Zuletzt ist eine weitere Analyse der in Abschnitt 6.2 aufgestellten Strategien und Methoden zur Vereinfachung sinnvoll. Hierbei wäre ein sinnvoller Ansatz auf Grundlage der aufgestellten Methoden einen Leitfaden zu entwickeln, welcher dem Anwender bei der Auswahl und

Anwendung der jeweiligen Methode unterstützt. Als Grundlage könnte das aus dem unscharfen Expertensystem entstehende Bewertungsergebnis und dessen Informationen hinsichtlich kritischer Unterkriterien bezogen auf Produkteinfachheit dienen.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Bewertbarkeit unscharfer (nicht quantifizierbarer, subjektiver) Größen am Beispiel der Produkteigenschaft Einfachheit untersucht und erarbeitet. Kapitel 2 beschreibt dabei die Einordnung der Arbeit in den Kontext des Produktlebenszyklus und legt die Rahmenbedingungen zur Unterscheidung innerhalb der Bewertung von Einfachheit zwischen Nutzer und Anbieterperspektive. Darauf aufbauend erfolgt eine Fokussierung der Nutzerperspektive im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung. Mithilfe einer Forschungsbereich übergreifenden, umfassenden Literaturrecherche wurden in Kapitel 3 verschiedene Bereiche des Produktlebenszyklus hinsichtlich ihrer Definition einfacher Produkte analysiert. Diese Literaturrecherche beleuchtet das interdisziplinäre zustande kommen von Produkteinfachheit. Auf Basis dieser Erkenntnis erfolgen zwei allgemeingültige Definitionen von Produkteinfachheit aus Nutzer- und Anbieterperspektive. Weiterhin wird das Komplexitätsniveau als Modell der subjektiven Wahrnehmung von Einfachheit hergeleitet. Auf dieser Grundlage erfolgt in Kapitel 4 eine Untersuchung der Bewertbarkeit von Einfachheit und eine Diskussion geeigneter Bewertungskriterien, woraufhin ausgewählte Attribute des Integrated Design Engineerings zur Leistungsbeschreibung eines Produktes beschrieben und im Kontext der Produkteinfachheit definiert wurden. Dies geschah mithilfe einer auf Kapitel 3 aufbauenden Synthese der verschiedenen Beschreibungen einfacher Produkte. In Kapitel 5 werden zur Evaluation der Definition einfacher Produkte aus Nutzersicht und deren Bewertungsattribute mögliche Bewertungsmethoden beschrieben und diskutiert. Dabei zeigten drei Methoden (Nutzwertanalyse, Unscharfe Expertensysteme und die Autogenetische Konstruktionstheorie) das größte Potenzial zur Bewertung nicht quantifizierbarer Bewertungsgrößen, von denen das unscharfe Expertensystem zur weiteren Evaluation ausgewählt wurde. In Kapitel 6 fand eine Evaluation des unscharfen Expertensystems anhand einer Fallstudie statt. Hierbei wurde die Bewertung von Produkteinfachheit im Vergleich zur Nutzwertanalyse evaluiert, dessen Vor- und Nachteile herausgearbeitet und diskutiert. Aus den Ergebnissen der Analyse der verschiedenen Beschreibungen von Einfachheit innerhalb des Produktlebenszyklus und den Ergebnissen aus der Bewertung der Fallstudie mittels unscharfer Mengen wurden allgemeingültige Strategien und Methoden für eine Vereinfachung von Produkten aus der Perspektive des Nutzers und Anbieters abgeleitet. Abschließend wurden weitere Forschungsperspektiven aufgezeigt, wie die Bewertung unscharfer Größen innerhalb der Produktentwicklung weiter verbessert werden kann. Anhand der aufgestellten allgemeingültigen Definition einfacher Produkte, des aufgestellten Bewertungsmodells und dessen Analyse sowie den Strategien und Methoden zur Vereinfachung von Produkten

lässt sich zusammenfassend ein bedeutender Mehrwert zur Analyse, Bewertung und Optimierung unscharfer Mengen feststellen.

Literaturverzeichnis

- [ABHR-2020] Albers, A. et al.: Der Prozess der Produktentstehung. In (Henning, F.; Moeller, E. Hrsg.): Handbuch Leichtbau. Methoden, Werkstoffe, Fertigung, 2020; S. 5–33.
- [AlBr-2011] Albers, A.; Braun, A.: A generalised framework to compass and to support complex product engineering processes. In International Journal of Product Development, 2011, 15; S. 6.
- [Altr-1995] Altröck, C. von: Fuzzy logic. Oldenbourg, München, 1995.
- [Ashk-2007] Ashkenas, R.: Simplicity-minded management. A practical guide to stripping complexity out of your organization. In Harvard business review, 2007, 85; 101-9, 146.
- [Baie-2009] Baier, D. Hrsg.: Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Springer, Berlin, 2009.
- [BeGe-2020] Bender, B.; Gericke, K.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung, 2020.
- [Besa-2013] Besanko, D.: Economics of strategy. Wiley, Hoboken, NJ, 2013.
- [Beys-2012] Beys, K.: Lexikon der Nachhaltigkeit. https://redaktion.nachhaltigkeit.info/artikel/definitionen_1382.htm, Abgerufen am 07.10.2020.
- [Bona-2014] Bonazzi, G.: Geschichte des organisatorischen Denkens. Herausgegeben von Veronika Tacke. Springer, Wiesbaden, 2014.
- [BrHS-2013] Brügger, C.; Hartschen, M.; Scherer, J.: Simplicity. Prinzipien der Einfachheit; Strategien für einfache Produkte, Dienstleistungen und Prozesse. Gabal-Verlag, Offenbach, 2013.
- [BrKn-1997] Breiing, A.; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme. Springer Heidelberg, 1997.
- [BrMc-2001] Bruseberg, A.; Mcdonagh-Philip, D.: New product development by eliciting user experience and aspirations. In International Journal of Human-Computer Studies, 2001, 55; S. 435–452.
- [BuHK-2002] Burmester, M.; Hassenzahl, M.; Koller, F.: Usability ist nicht alles: Wege zu attraktiven Produkten (Beyond Usability: Appeal of interactive Products). In i-com, 2002, 1; S. 292.
-

- [Bund-2011] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt. ProdSG, 08.11.2011.
- [Char-1997] Charter, N.: Simplicity and the mind. In *The Psychologist*, 1997, 10; S. 495–498.
- [ChLe-2012] Choi, J. H.; Lee, H.-J.: Facets of simplicity for the smartphone interface. A structural model. In *International Journal of Human-Computer Studies*, 2012, 70; S. 129–142.
- [Dict-2021] Dictionary: Definition: Simplicity. <https://www.dictionary.com/browse/simplicity>, Abgerufen am 29.07.2021.
- [DiHa-2017] Diefenbach, S.; Hassenzahl, M.: *Psychologie in der nutzerzentrierten Produktgestaltung. Mensch-Technik-Interaktion-Erlebnis*. Springer, Berlin, 2017.
- [DIN EN-26800] Ergonomie - Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte. Modell der Produktentwicklung. Beuth, 2011.
- [DIN EN-292-1] Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleit-sätze; Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodik, 1991.
- [DIN EN-9241-210] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Prozess zur Gestaltung ge-brauchstauglicher interaktiver Systeme, 2010.
- [DIN-40041] Zuverlässigkeit; Begriffe, 1990.
- [DoMi-2015] Dombrowski, U.; Mielke, T. Hrsg.: *Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktuel-ler Stand und zukünftige Entwicklungen*. Springer Vieweg, Berlin, 2015.
- [Dude-2021a] Duden: Definition: Einfachheit. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Einfachheit>, Abgerufen am 29.07.2021.
- [Dude-2021b] Duden: Definition: Ästhetik. [https://www.duden.de/suchen/dudenon-line/%C3%84sthetik](https://www.duden.de/suchen/dudenonline/%C3%84sthetik), Abgerufen am 29.07.2021.
- [EhMe-2017] Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Mün-chen, 2017.
- [EN ISO-9241-11] Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung, 2018.
-

- [Enge-2001] Engelbrecht, A.: Biokybernetische Modellierung adaptiver Unternehmensnetzwerke. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2001. VDI-Verl., Düsseldorf, 2001.
- [Enqu-1998] Enquete Kommission: Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung. Abschlussbericht. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/112/1311200.pdf>, Abgerufen am 07.10.2020.
- [FeGr-2013] Feldhusen, J.; Grote, K.-H. Hrsg.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [Flei-2021] Fleig, J. Dr.: Was ist eine Conjoint-Analyse – am Beispiel erklärt. <https://www.business-wissen.de/hb/was-ist-eine-conjoint-analyse-am-beispiel-erklaert/>, Abgerufen am 28.11.2021.
- [GABS-2010] Greifeneder, R. et al.: On Writing Legibly. In Social Psychological and Personality Science, 2010, 1; S. 230–237.
- [Garr-2011] Garrett, J. J.: The elements of user experience. User-centered design for the Web and beyond. New Riders, Berkeley, CA, 2011.
- [Gart-2021] Gartentraum: Windspiel. <https://www.gartentraum.de/Windspiel-mit-Klang-Chimes-of-Lun>, Abgerufen am 21.10.2021.
- [Garv-1988] Garvin, D. A.: Managing quality. The strategic and competitive edge. Free Press, New York, NY, 1988.
- [Gege-2021] Gegenteil.net: Gegenteil: Einfachheit. <http://gegenteile.net/gegenteil-von-einfachheit>, Abgerufen am 18.02.2021.
- [GeJo-2015] Geis, T.; Johner, C.: Usability Engineering als Erfolgsfaktor. Effizient IEC 62366- und FDA-konform dokumentieren. Beuth, Berlin, 2015.
- [Geld-2021] Geldermann, J.: Multikriterielle Optimierung. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Mathematische-Optimierung/Multikriterielle-Optimierung>, Abgerufen am 23.07.2021.
- [Göbe-2004] Göbel, M.: Methodisches Vorgehen im Gestaltungsprozess. In (Bruder, R. Hrsg.): Ergonomie und Design, Stuttgart, 2004.
-

- [Gros-2013] Gross, T.: Mensch-Computer-Interaktion in Wissenschaft und Praxis. In HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2013, 50; S. 6–15.
- [Güll-1997] Güllich, H.-P.: Fuzzy-Expertensysteme zur Beurteilung von Kreditrisiken. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1997.
- [Haas-2020] Haase, H.: Genug, für alle, für immer. Nachhaltigkeit ist einfach komplex. Springer, Wiesbaden, Heidelberg, 2020.
- [HaDa-2002] Haberfellner, R.; Daenzer, W.F. Hrsg.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Verl. Industrielle Organisation, Zürich, 2002.
- [Hart-2013] Hartmann, S.: Ein Beitrag zur frühzeitigen Abschätzung der Produktkomplexität und zur Definition einfacher Produkte. Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss., Magdeburg, 2013.
- [Hass-2008] Hassenzahl, M.: User experience (UX). In (Brangier, É. et al. Hrsg.): Proceedings of the 20th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine on - IHM '08. ACM Press, New York, New York, USA, 2008; S. 11.
- [Hass-2010] Hassenzahl, M.: Experience design. Technology for all the right reasons. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, 2010.
- [Hein-2004] Heinecke, A. M.: Mensch-Computer-Interaktion. Mit 18 Tabellen. Fachbuchverl. Leipzig im Carl Hanser Verl., München, 2004.
- [Helf-2015] Helfrich, C.: Das Prinzip Einfachheit. Reduzieren Sie die Komplexität. expert, Renningen, 2015.
- [Hubk-1984] Hubka, V.: Theorie Technischer Systeme. Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Springer, Berlin, Heidelberg, 1984.
- [JeBe-1992] Jefferys, W.; Berger, J. O.: Ockham's razor and Bayesian analysis. In American Scientist, 1992, Vol. 80; S. 64–72.
- [Kess-1951] Kesselring, F.: Bewertung von Konstruktionen. Ein Mittel zur Steuerung der Konstruktionsarbeit. Deutscher Ingenieur-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1951.
- [Klar-2021] Klarstein: Klarstein Kaffeemaschine. <https://www.klarstein.de/Kuechengeraete/Kaffee/Kaffeemaschinen/Aromatica-II-Duo-Kaffeemaschine-integriertes-Mahlwerk-1-25-l-silber-Silber-Glas-Thermoskanne.html?disclaimer=1>, Abgerufen am 21.02.2021.
-

- [Krip-2004] Krippendorff, K.: Intrinsic motivation and human-centred design. In *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2004, 5; S. 43–72.
- [Lind-2013] Lindberg, T. S.: Lindberg, Tilmann Sören. *Design-Thinking-Diskurse: Bestimmung, Themen, Entwicklungen*, 2013.
- [Maed-2006] Maeda, J.: *The laws of simplicity*. MIT Press, Cambridge, Mass, 2006.
- [Meer-1994a] Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung im Spannungsfeld von Kosten-, Zeit und Qualitätsmanagement. In *VDI-Bericht*, 1994; S. 1–13.
- [Meer-1994b] Meerkamm, H.: Design for X—A Core Area of Design Methodology. In *Journal of Engineering Design*, 1994, 5; S. 165–181.
- [MeKo-2005] Meerkamm, H.; Koch, M.: Design for X. In (Clarkson, J.; Eckert, C. Hrsg.): *Design process improvement*. Springer London, London, 2005; S. 306–323.
- [Metz-2008] Metzger, W. Hrsg.: *Gesetze des Sehens. [die Lehre vom Sehen der Formen und Dinge des Raumes und der Bewegung]*. Klotz, Eschborn, 2008.
- [MiGa-1991] Miller, G. A.; Galanter, E.: *Strategien des Handelns. Pläne und Strukturen des Verhaltens*. Klett-Cotta, Stuttgart, 1991.
- [MiGP-1960] Miller, G. A.; Galanter, E.; Pribram, K. H.: *Plans and the structure of behavior*. Holt Rinehart and Winston, New York NY, 1960.
- [MiRe-2010] Miguel Pina, C.; Rego, A.: Complexity, simplicity, simplexity. In *European Management Journal*, 2010, 28; S. 85–94.
- [MoNi-1990] Molich, R.; Nielsen, J.: Improving a human-computer dialogue. In *Communications of the ACM*, 1990, 33; S. 338–348.
- [Neut-2017] Neutschel, B.: *Parallelisierung von Produktentwicklung und Businessplangestaltung. Ein Beitrag zur Schaffung von regionalem Wachstum durch universitären Wissenstransfer*. Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss., 2017.
- [NiMo-1992] Nielsen, J.; Molich, R.: Heuristic evaluation of user interfaces. In (Chew, J. C.; Carrasco, J. C.; Carrasco Chew, J. Hrsg.): *Empowering people. CHI '90 conference proceedings*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1992; S. 249–256.
- [Norm-2004] Norman, D. A.: *Emotional design. Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books, New York, 2004.
-

- [Norm-2013] Norman, D. A.: The design of everyday things. Basic Books, New York, 2013.
- [Norm-2016] Norman, D. A.: Simplicity. A Matter of Design. In She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, 2016, 2; S. 174–175.
- [OlBa-2005] Olbrich, R.; Battenfeld, D.: Variantenvielfalt und Komplexität - kostenorientierte vs. marktorientierte Sicht. In der markt, 2005, 44; S. 161–173.
- [PaBe-1986] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis. Springer, Berlin, 1986.
- [Parr-2012] Parrish, H.: The Evolution of Simplicity and Meaning. In Journal of Product Innovation Management, 2012, 29; S. 352–354.
- [PBF-2007] Pahl, G. et al.: Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung. Springer, Heidelberg, 2007.
- [Phil-2021] Philipps: Philipps Kaffeemaschine. https://www.philips.at/c-p/HD7769_00/grind-brew-kaffeemaschine, Abgerufen am 21.02.2021.
- [PiVS-2018a] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Bewertbarkeit unscharfer Mengen am Beispiel der Eigenschaft Produkteinfachheit. In (Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. Hrsg.): Design for X. Beiträge zum 29. DfX-Symposium, 2018.
- [PiVS-2018b] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Achieving Simplicity: Development and Design of Simple Products: Volume 7: 30th International Conference on Design Theory and Methodology. American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [PiVS-2020] Pilz, F.; Vajna, S.; Schabacker, M.: Achieving Simplicity: A consideration of a systematic approach. In Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 2020, 1; S. 2345–2354.
- [PrDa-2010] Preim, B.; Dachselt, R.: Interaktive Systeme: Band 1: Grundlagen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Pree-2002] Preece, J.: Human-computer interaction. Addison-Wesley, Harlow, 2002.
- [Pulm-2004] Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2004. Hut, München, 2004.
- [PWVS-2018] Pilz, F. et al.: There is more than one way to skin a cat – an interdisciplinary UX review. In Human Behaviour in Design, 2018; S. 63–74.
-

- [Quir-2013] Quirnbach, S. M.: Suchmaschinen. User Experience, Usability und nutzerzentrierte Website-Gestaltung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [ReSW-2004] Reber, R.; Schwarz, N.; Winkielman, P.: Processing fluency and aesthetic pleasure. Is beauty in the perceiver's processing experience? In *Personality and social psychology review: an official journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, 2004, 8; S. 364–382.
- [ReTo-2021] Reber, R.; Topolinski, S.: Einfach + schön = wahr. <https://www.spektrum.de/pdf/gug-09-01-s020-pdf/975889?file>, Abgerufen am 28.07.2021.
- [RLVH-2011] Roto, V. et al.: User experience white paper: Bringing clarity to the concept of user experience. Result from Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience, 2011.
- [Robi-2016] Robier, J.: Das einfache und emotionale Käuferlebnis. Mit Usability, User Experience und Customer Experience anspruchsvolle Kunden gewinnen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [RoDH-2014] Rotgeri, M.; Dieckerhoff, M.; Hompel, M. ten: Vergleich von additiv und herkömmlich gefertigten Strukturen für ein neuartiges Regalfahrzeug. *Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik*, 2014.
- [RoEi-2002] Rommelfanger, H. J.; Eickemeier, S. H.: Entscheidungstheorie. Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen. Springer, Heidelberg, 2002.
- [Romm-1993] Rommelfanger, H.: Fuzzy-Logik basierte Verarbeitung von Expertenregeln. In *OR Spektrum*, 1993, 15; S. 31–42.
- [Roth-2000] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre. Springer, Berlin, 2000.
- [Sams-2021] Samsung: Samsung Galaxy S - Alle Generationen. <https://news.samsung.com/de/von-amoled-bis-space-zoom-ein-rueckblick-auf-die-entwicklungsgeschichte-der-galaxy-s-serie>, Abgerufen am 22.08.2021.
- [SBFG-2000] Steffen, D. et al.: Design als Produktsprache. Der "Offenbacher Ansatz" in Theorie und Praxis, Frankfurt am Main, 2000.
- [Schl-2013] Schlick, C.: Ergonomisch. In (Feldhusen, J.; Grote, K.-H. Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013; S. 666–674.
-

- [Schn-2005] Schneider, B.: Design - eine Einführung. Entwurf im sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Kontext. De Gruyter, Basel, 2005.
- [Schu-2012] Schuh, G.: Innovationsmanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [Schu-2014] Schuh, G.: Produktkomplexität managen. Strategien; Methoden; Tools. Carl Hanser Fachbuchverlag, München, 2014.
- [ScLB-2010] Schlick, C.; Luczak, H.; Bruder, R.: Arbeitswissenschaft. Springer, Heidelberg, 2010.
- [Seeg-2005] Seeger, H.: Design technischer Produkte, Produktprogramme und -systeme. Industrial Design Engineering. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [SGHS-2016] Schipperges, M. et al.: Umweltbewusstsein und Umweltverhalten in Deutschland 2014, Vertiefungsstudie zu Trends und Tendenzen, 2016.
- [Siem-2020] Siemens: Daimler schließt Migration zu NX ab. <https://www.plm.automation.siemens.com/country/de-de/press/siemens-daimler-migration-NX-Teamcenter-smart-innovation-portfolio.html>, Abgerufen am 07.10.2020.
- [Sinu-2020] Sinus Institut: Sinus-Milieus. Soziale Lage und Grundorientierung in Deutschland 2020. <https://www.sinus-institut.de/sinus-loesungen/sinus-milieus-deutschland/>, Abgerufen am 12.08.2020.
- [SpKr-1997] Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. Hanser, München, 1997.
- [Spri-1982] Springkart, K.-P.: Kognitive Ästhetik. Entwurf einer kognitionstheoretischen Kunstpsychologie. Mäander Kunstverl., Mittenwald, 1982.
- [SpWS-1990] Spinass, P.; Waeber, D.; Strohm, O.: Kriterien benutzerorientierter Dialoggestaltung und partizipative Softwareentwicklung: eine Literaturlaufarbeitung. In (Rauterberg, M. et al. Hrsg.): Benutzerorientierte Softwareentwicklung und Schnittstellengestaltung. ETH Inst. für Arbeitspsychologie, Zürich, 1990.
- [Stih-2021a] Stihl: Freischneider FSA 56. https://m.media-amazon.com/images/I/210yvN4mGSL._AC_SS450_.jpg, Abgerufen am 03.08.2021.
- [Stih-2021b] Stihl: Freischneider FS 89. <https://www.stihl.de/content/dam/stihl/mam/modellportait/3ce5a5066f1a438a8a07e0df02107678.jpg>, Abgerufen am 03.08.2021.
-

- [ThMa-2007] Thüring, M.; Mahlke, S.: Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. In *International Journal of Psychology*, 2007, 42; S. 253–264.
- [Tiff-2019] Tiffert, A.: *Customer Experience Management in der Praxis. Grundlagen – Zusammenhänge – Umsetzung*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Gabler, Wiesbaden, 2019.
- [Tsch-2021] Tschibo: Tschibo - Kaffeereport 2021. <https://www.tchibo.com/servlet/cb/1367964/data/-/Kaffeereport2021.pdf>, Abgerufen am 17.07.2021.
- [UrVa-2018] Urakami, J.; Vajna, S.: Human Centricity in Integrated Design Engineering: 15th International Design Conference. Proceedings of DESIGN 2018, University of Zagreb, Croatia, 2018, 2018; S. 679–690.
- [Vajn-2014] Vajna, S. Hrsg.: *Integrated Design Engineering. Ein interdisziplinäres Modell für die ganzheitliche Produktentwicklung*. Springer Heidelberg, 2014.
- [Vajn-2020] Vajna, S. Hrsg.: *Integrated Design Engineering. Ein interdisziplinäres Modell für die ganzheitliche Produktentwicklung*. Springer Heidelberg, 2020.
- [VCJB-2005] Vajna, S. et al.: The Autogenetic Design Theory: An evolutionary view of the design process. In *Journal of Engineering Design*, 2005, 16; S. 423–440.
- [VDI-2221] *Entwicklung technischer Produkte und Systeme. Modell der Produktentwicklung*. VDI Verlag, 2019.
- [VDI-2225] *Konstruktionsmethodik. Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung*. VDI Verlag, 1998.
- [Volk-2015] Volkswagen: Nachhaltigkeitsbericht. <http://nachhaltigkeitsbericht2015.volkswagenag.com/um-welt/produkte.html/>, Abgerufen am 16.10.2017.
- [WaPa-2018] Wallisch, A.; Paetzold, K.: A Qualitative Inventory of User Integration Methods and their Usage in Product Development, Research and Practice: 15th International Design Conference. Proceedings of DESIGN 2018, University of Zagreb, Croatia, 2018, 2018; S. 115–126.
- [WaPa-2020] Wallisch, A.; Paetzold, K.: Methodological Foundations of User Involvement Research: A Contribution to User-Centred Design Theory. In Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 2020, 1; S. 71–80.
-

- [Webe-2011] Weber, C.: Design Theory and Methodology - Contributions to the Computer Support of Product Development/Design Processes. In (Birkhofer, H. Hrsg.): The Future of Design Methodology. Springer London, London, 2011; S. 91–104.
- [Wien-1970] Wiendahl, H.-P.: Funktionsbetrachtungen technischer Gebilde – Ein Hilfsmittel zur Auftragsabwicklung in der Maschinenbauindustrie. Zugl.: RWTH Aachen, Univ., Diss., 1970.
- [WoJR-1992] Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. Campus-Verlag, Frankfurt/Main, 1992.
- [Wort-2021] Wortbedeutung: Eindeutig. <https://www.wortbedeutung.info/eindeutig/>, Abgerufen am 30.07.2021.
- [Wüns-2016] Wunsch, A.: Effizienter Einsatz von Optimierungsmethoden in der Produktentwicklung durch dynamische Parallelisierung. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2016.
- [WüPV-2016] Wunsch, A.; Pilz, F.; Vajna, S.: Morphix: An Evolutionary Way to Support Conceptual Design. In (Marjanovic, D.; Štorga, M.; Pavkovic Hrsg.): Proceedings of the 14th International Design Conference (DESIGN 2016), Cavtat, Dubrovnik, Kroatien, 2016; S. 769–778.
- [ZALW-1993] Zimmermann, H.-J. et al.: Fuzzy Technologien. Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993.
- [Zang-2014] Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Teilw. zugl.: Berlin, Univ., Diss., 1970. Books on Demand, Norderstedt, 2014.
- [Zeh-2010] Zeh, N.: Erfolgsfaktor Produktdesign. Zugl.: Köln, Univ., Diss., 2009. Förderges. Produkt-Marketing e.V, Köln, 2010.
- [ZhPG-2015] Zhang, Z.; Peng, Q.; Gu, P.: Improvement of User Involvement in Product Design. In Procedia CIRP, 2015, 36; S. 267–272.
- [Zieg-2013] Ziegler, D.: Die industrielle Revolution. WBG - Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2013.
-

A. Einflussgrößen auf die Attribute des IDE

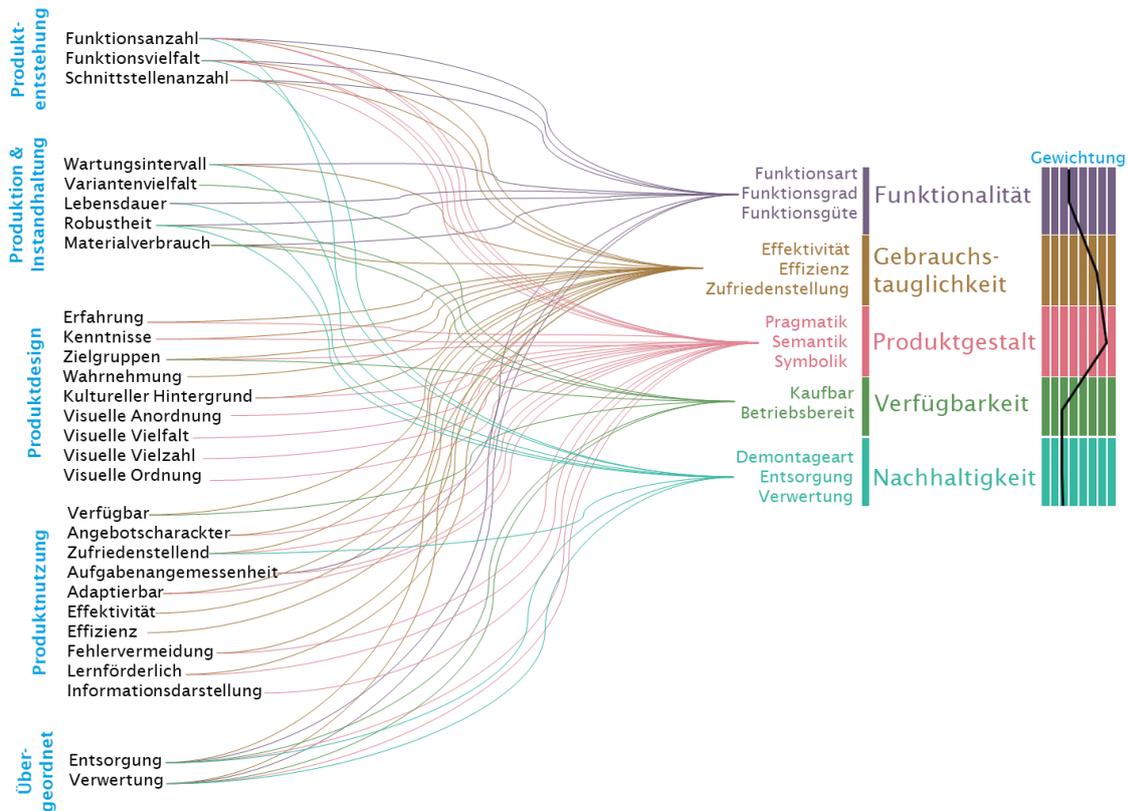


Abbildung Anhang 1: Sankey-Diagramm der Übertragbarkeit der Einflussgrößen des Nutzers auf die Attribute des DIE

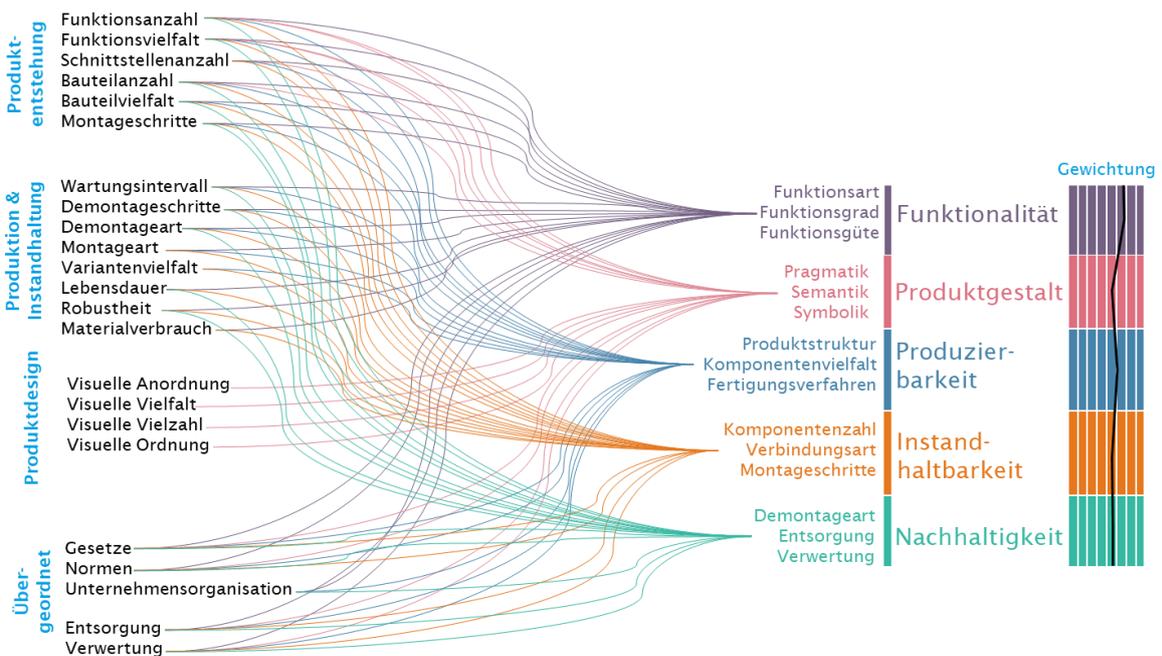


Abbildung Anhang 2: Sankey-Diagramm der Übertragbarkeit der Einflussgrößen des Anbieters auf die Attribute des DIE

B. Zugehörigkeitsfunktionen der beispielhaften Bewertung von Einfachheit

1. Zugehörigkeitsfunktionen der Bewertung von Einfachheit aus Nutzersicht

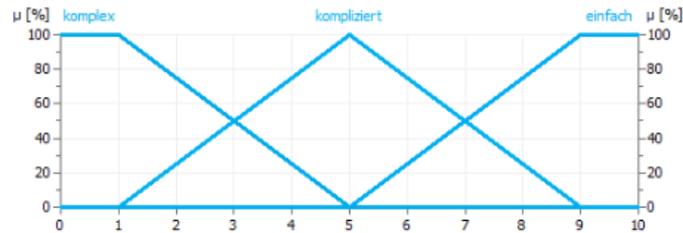


Abbildung Anhang 3: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsart

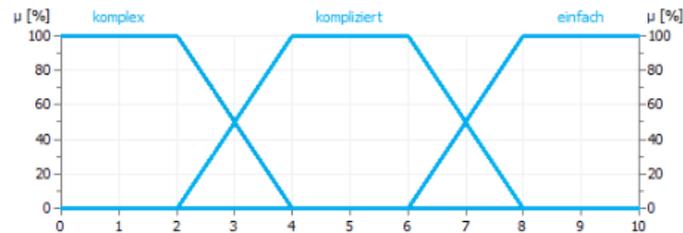


Abbildung Anhang 4: Zugehörigkeitsfunktion des Funktionsgrads

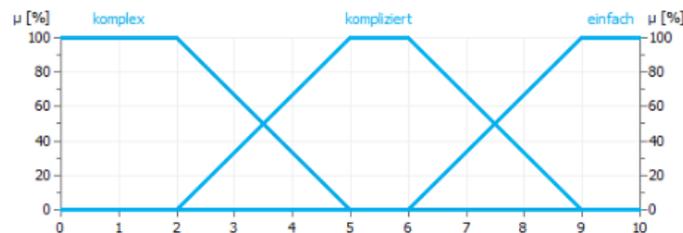


Abbildung Anhang 5: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsgüte

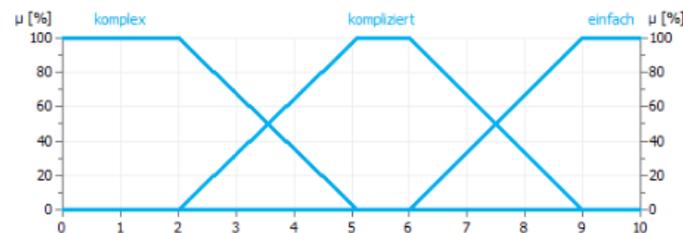


Abbildung Anhang 6: Zugehörigkeitsfunktion der Effektivität

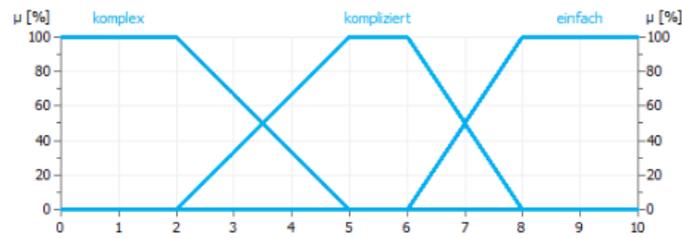


Abbildung Anhang 7: Zugehörigkeitsfunktion der Effizienz

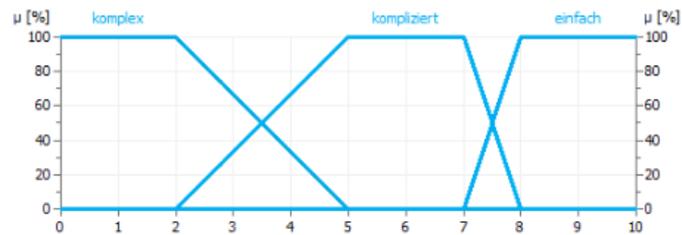


Abbildung Anhang 8: Zugehörigkeitsfunktion der Zufriedenstellung

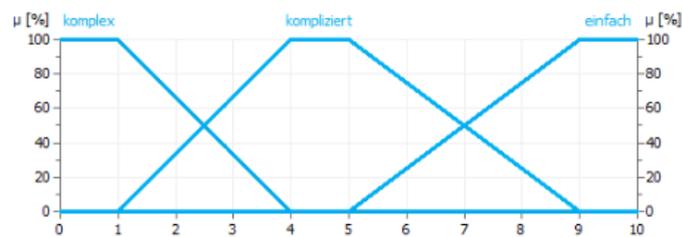


Abbildung Anhang 9: Zugehörigkeitsfunktion der pragmatischen Funktionen

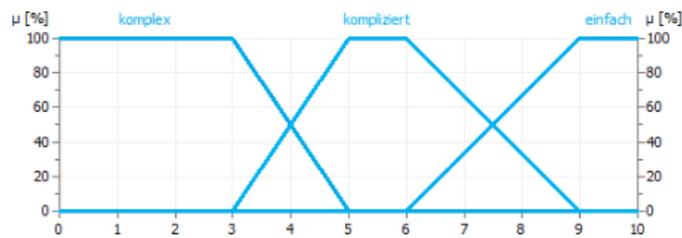


Abbildung Anhang 10: Zugehörigkeitsfunktion der semantischen Funktionen

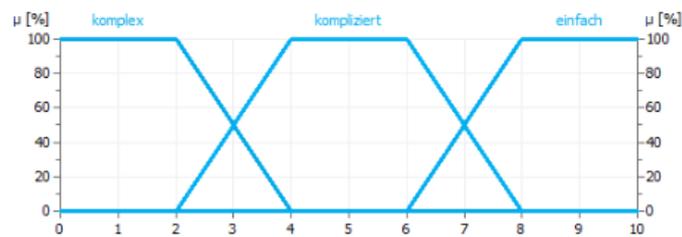


Abbildung Anhang 11: Zugehörigkeitsfunktion der symbolischen Funktionen

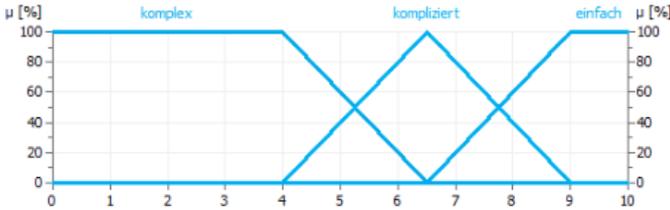


Abbildung Anhang 12: Zugehörigkeitsfunktion von kaufbar

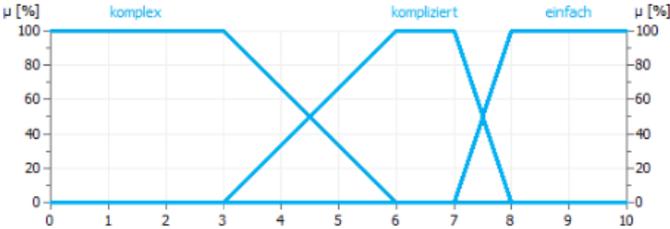


Abbildung Anhang 13: Zugehörigkeitsfunktion von Betriebsbereit

2. Regelblöcke der Bewertung einer Kaffeemaschine aus Nutzersicht

Regel Editor 1

Regeblöcke

Verfügbarkeit Produktgestalt Gebrauchstauglichkeit **Funktionalitaet** Einfachheit *** Alle ***

Name	Wenn	und	und	Operatoren	Dann	mit	Kommentar
	1	2	3	Min / Max	1		
B4 Funktionalitaet	XX Funktionsart	XX Funktionsguete	XX Funktionsgrad		Funktionalitaet	DoS [%]	
B4.G1.R1	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.komplex	100	
B4.G1.R2	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.komplex	100	
B4.G1.R3	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.einfach.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R4	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.komplex	100	
B4.G1.R5	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R6	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R7	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.komplex	100	
B4.G1.R8	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R9	LA Funktionsart.komplex	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	
B4.G1.R10	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.komplex	100	
B4.G1.R11	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R12	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R13	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R14	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R15	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.einfach.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R16	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.kompliziert	(0,0000 0) (2,0000 0) (4,0000 100) (6,0000 100) (8,0000 0) (10,0000 0)			
B4.G1.R17	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R18	LA Funktionsart.kompliziert	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	
B4.G1.R19	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R20	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R21	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.komplex	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	
B4.G1.R22	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R23	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R24	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.kompliziert	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	
B4.G1.R25	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.komplex	→	LB Funktionalitaet.kompliziert	100	
B4.G1.R26	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.kompliziert	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	
B4.G1.R27	LA Funktionsart.einfach	LA Funktionsguete.einfach	LA Funktionsgrad.einfach	→	LB Funktionalitaet.einfach	100	

Abbildung Anhang 14: Regelblock der Funktionalität

Regel Editor 1

Regeblöcke

Verfügbarkeit Produktgestalt **Gebrauchstauglichkeit** Funktionalitaet Einfachheit *** Alle ***

Name	Wenn	und	und	Operatoren	Dann	mit	Kc
	1	2	3	Min / Max	1		
B3 Gebrauchstauglichkeit	XX Effektiv	XX Effizient	XX Zufriedenstellung		Gebrauchstauglichkeit	DoS [%]	
B3.G1.R1	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.komplex	100	
B3.G1.R2	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.komplex	100	
B3.G1.R3	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R4	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.komplex	100	
B3.G1.R5	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R6	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R7	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.komplex	100	
B3.G1.R8	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R9	LA Effektiv.komplex	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R10	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.komplex	100	
B3.G1.R11	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R12	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R13	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R14	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R15	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R16	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R17	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R18	LA Effektiv.kompliziert	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R19	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R20	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R21	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.komplex	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R22	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R23	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R24	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.kompliziert	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R25	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.komplex	→	LB Gebrauchstauglichkeit.kompliziert	100	
B3.G1.R26	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.kompliziert	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	
B3.G1.R27	LA Effektiv.einfach	LA Effizient.einfach	LA Zufriedenstellung.einfach	→	LB Gebrauchstauglichkeit.einfach	100	

Abbildung Anhang 15: Regelblock der Gebrauchstauglichkeit

Regel Editor 1

Regelblöcke

Verfügbarkeit | Produktgestalt | Gebrauchstauglichkeit | Funktionalität | Einfachheit | *** Alle ***

Name	Wenn	und	und	Operatoren	Dann	mit	Kommentar	Audit
B2 Produktgestalt	1	2	3	Min / Max	1			
B2.G1 Produktgestalt	XX Pragmatik	XX Semantik	XX Symbolik		Produktgestalt	DoS [%]		2021-02-21 1
B2.G1.R1	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.niedrig	100		2021-02-21 1
B2.G1.R2	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.niedrig	100		2021-02-21 1
B2.G1.R3	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R4	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.niedrig	100		2021-02-21 1
B2.G1.R5	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R6	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R7	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.niedrig	100		2021-02-21 1
B2.G1.R8	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R9	LA Pragmatik.komplex	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R10	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.niedrig	100		2021-02-21 1
B2.G1.R11	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R12	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R13	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R14	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R15	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R16	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R17	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R18	LA Pragmatik.kompliziert	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R19	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R20	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R21	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.komplex	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R22	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R23	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R24	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.kompliziert	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R25	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.komplex	→	LD Produktgestalt.mittel	100		2021-02-21 1
B2.G1.R26	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.kompliziert	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1
B2.G1.R27	LA Pragmatik.einfach	LA Semantik.einfach	LA Symbolik.einfach	→	LD Produktgestalt.hoch	100		2021-02-21 1

Abbildung Anhang 16: Regelblock der Produktgestalt

Regel Editor 1

Regelblöcke

Verfügbarkeit | Produktgestalt | Gebrauchstauglichkeit | Funktionalität | Einfachheit | *** Alle ***

Name	Wenn	und	Operatoren	Dann	mit	Kommentar	Audit
B1 Verfügbarkeit	1	2	Min / Max	1			
B1.G1 Verfügbarkeit	XX Kaufbar	XX Betriebsbereit		Verfügbarkeit	DoS [%]		2021-02-21 12:08:16 fabia 8.77e EditR
B1.G1.R1	LA Kaufbar.komplex	LA Betriebsbereit.komplex	→	LD Verfügbarkeit.niedrig	100		2021-02-21 12:07:44 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R2	LA Kaufbar.komplex	LA Betriebsbereit.kompliziert	→	LD Verfügbarkeit.niedrig	100		2021-02-21 12:07:45 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R3	LA Kaufbar.komplex	LA Betriebsbereit.einfach	→	LD Verfügbarkeit.mittel	100		2021-02-21 12:07:55 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R4	LA Kaufbar.kompliziert	LA Betriebsbereit.komplex	→	LD Verfügbarkeit.niedrig	100		2021-02-21 12:07:57 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R5	LA Kaufbar.kompliziert	LA Betriebsbereit.kompliziert	→	LD Verfügbarkeit.mittel	100		2021-02-21 12:07:59 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R6	LA Kaufbar.kompliziert	LA Betriebsbereit.einfach	→	LD Verfügbarkeit.mittel	100		2021-02-21 12:08:06 fabia 8.77e Repla
B1.G1.R7	LA Kaufbar.einfach	LA Betriebsbereit.komplex	→	LD Verfügbarkeit.mittel	100		2021-02-21 12:08:14 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R8	LA Kaufbar.einfach	LA Betriebsbereit.kompliziert	→	LD Verfügbarkeit.hoch	100		2021-02-21 12:08:15 fabia 8.77e Insert
B1.G1.R9	LA Kaufbar.einfach	LA Betriebsbereit.einfach	→	LD Verfügbarkeit.hoch	100		2021-02-21 12:08:16 fabia 8.77e Insert

Abbildung Anhang 17: Regelblock der Verfügbarkeit

C. Fallstudie des Integrated Design Engineering

1. Zugehörigkeitsfunktionen der Fallstudie des IDE Projektes

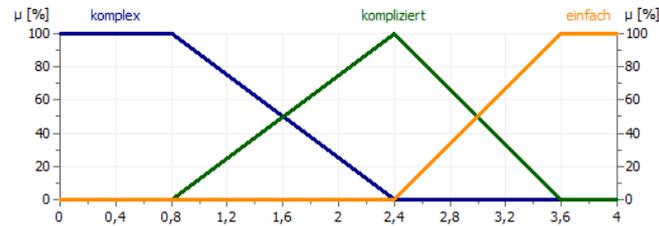


Abbildung Anhang 18: Zugehörigkeitsfunktion des Schnittergebnisse

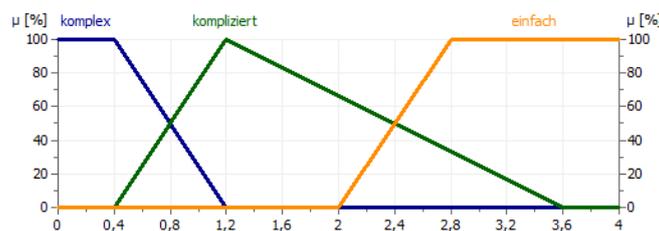


Abbildung Anhang 19: Zugehörigkeitsfunktion der Durchzugskraft

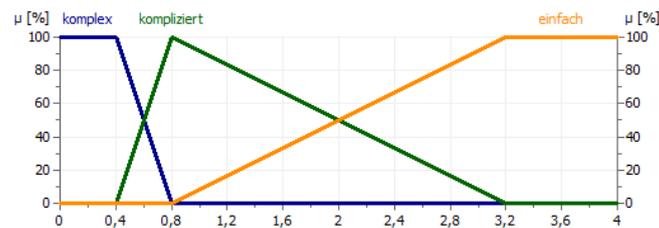


Abbildung Anhang 20: Zugehörigkeitsfunktion der Funktionsanzahl

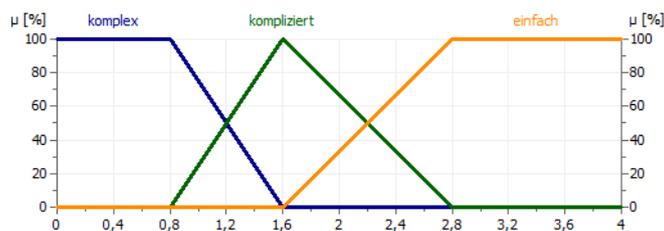


Abbildung Anhang 21: Zugehörigkeitsfunktion des Handgriffgefühls

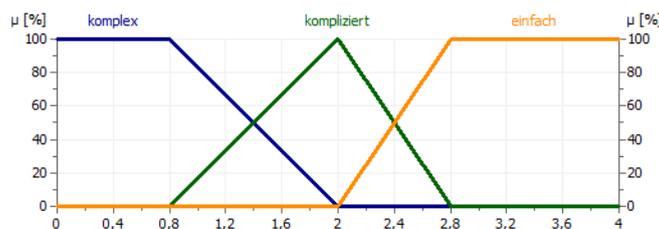


Abbildung Anhang 22: Zugehörigkeitsfunktion des Vibrationsgefühls

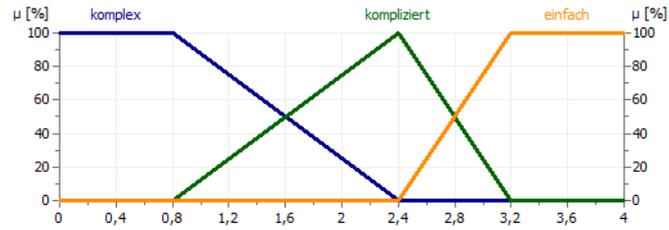


Abbildung Anhang 23: Zugehörigkeitsfunktion des Gewichts

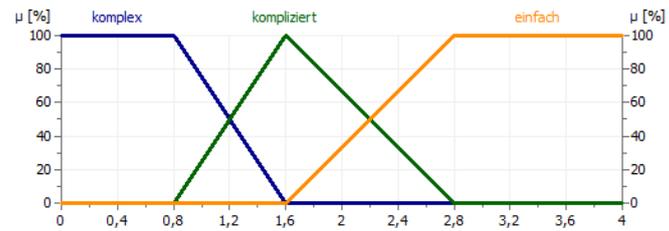


Abbildung Anhang 24: Zugehörigkeitsfunktion von Selbsterklärend

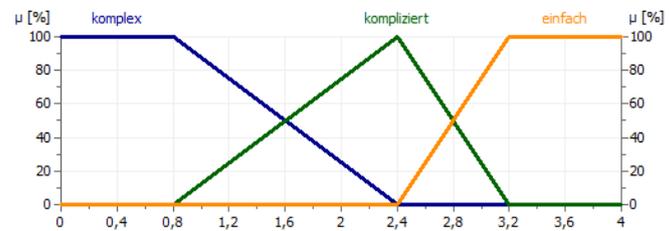


Abbildung Anhang 25: Zugehörigkeitsfunktion des Look & Feel

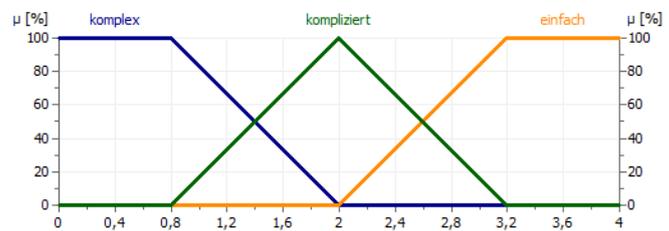


Abbildung Anhang 26: Zugehörigkeitsfunktion der Inbetriebnahme

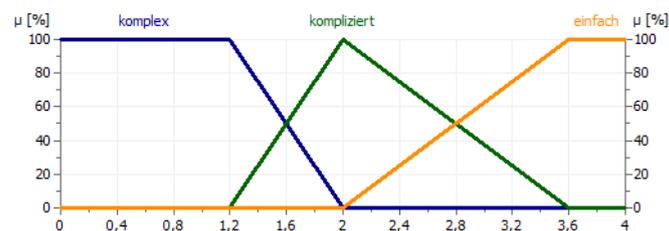


Abbildung Anhang 27: Zugehörigkeitsfunktion der Wartbarkeit

2. Regelblöcke der Bewertung der Fallstudie

Regelblöcke

Verfügbarkeit Produktgestalt Gebrauchstauglichkeit Funktionaltaet Einfachheit *** Alle ***

Name	Wenn	und	und	Operatoren	Dann	mit	Kommenta
Funktionalitaet	1	2	3	Min / Max	1		
Funktionalitaet	*XX Schnittergebnis	*XX Durchzugkraft	*XX Funktionsanzahl		█ Funktionalitaet	DoS [%]	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.komplex	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.komplex	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.komplex	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.komplex	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.komplex	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.kompliziert	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.komplex	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.kompliziert	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.komplex	→	█ Funktionalitaet.kompliziert	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.kompliziert	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	
	└─ Schnittergebnis.einfach	└─ Durchzugkraft.einfach	└─ Funktionsanzahl.einfach	→	█ Funktionalitaet.einfach	100	

Abbildung Anhang 28: Regelblock der Funktionalität

Regelblöcke

Verfügbarkeit Produktgestalt Gebrauchstauglichkeit Funktionalität Einfachheit *** Alle ***

Name	Wenn	und	Operatoren	Dann	mit	Kommentar	Audit	GUID
Produktgestalt		2	Min / Max	1			2021-06-20 13:30:05	fabia 265
Selbsterklaerend	*XX Selbsterklaerend	*XX LookFeel		1 Produktgestalt	DoS [%]		2021-06-20 13:30:05	fabia 7A1
	LA Selbsterklaerend.komplex	LA LookFeel.komplex	→	1 Produktgestalt.komplex	100		2021-06-20 13:29:19	fabia C8
	LA Selbsterklaerend.komplex	LA LookFeel.kompliziert	→	1 Produktgestalt.komplex	100		2021-06-20 13:29:25	fabia E11
	LA Selbsterklaerend.komplex	LA LookFeel.einfach	→	1 Produktgestalt.komplex	100		2021-06-20 13:29:30	fabia FDF
	LA Selbsterklaerend.kompliziert	LA LookFeel.komplex	→	1 Produktgestalt.komplex	100		2021-06-20 13:29:44	fabia 38C
	LA Selbsterklaerend.kompliziert	LA LookFeel.kompliziert	→	1 Produktgestalt.kompliziert	100		2021-06-20 13:29:45	fabia 05C
	LA Selbsterklaerend.kompliziert	LA LookFeel.einfach	→	1 Produktgestalt.kompliziert	100		2021-06-20 13:29:57	fabia CBI
	LA Selbsterklaerend.einfach	LA LookFeel.komplex	→	1 Produktgestalt.komplex	100		2021-06-20 13:30:02	fabia CB
	LA Selbsterklaerend.einfach	LA LookFeel.kompliziert	→	1 Produktgestalt.kompliziert	100		2021-06-20 13:30:03	fabia 4BC
	LA Selbsterklaerend.einfach	LA LookFeel.einfach	→	1 Produktgestalt.einfach	100		2021-06-20 13:30:05	fabia E72

Abbildung Anhang 30: Regelblock der Produktgestalt

Regelblöcke

Verfügbarkeit Produktgestalt Gebrauchstauglichkeit Funktionalität Einfachheit *** Alle ***

Name	Wenn	und	Operatoren	Dann	mit	Kommentar	Audit	GUID
Verfügbarkeit		2	Min / Max	1			2021-06-20 13:31:06	fabia E048E
Verfügbarkeit	*XX Inbetriebnahme	*XX Wartbarkeit		1 Verfügbarkeit	DoS [%]		2021-06-20 13:31:06	fabia E687C
	LA Inbetriebnahme.komplex	LA Wartbarkeit.komplex	→	1 Verfügbarkeit.komplex	100		2021-06-20 13:30:54	fabia AA67
	LA Inbetriebnahme.komplex	LA Wartbarkeit.kompliziert	→	1 Verfügbarkeit.komplex	100		2021-06-20 13:30:56	fabia 97E0B
	LA Inbetriebnahme.komplex	LA Wartbarkeit.einfach	→	1 Verfügbarkeit.komplex	100		2021-06-20 13:30:57	fabia 51D5E
	LA Inbetriebnahme.kompliziert	LA Wartbarkeit.komplex	→	1 Verfügbarkeit.komplex	100		2021-06-20 13:30:58	fabia 2609F
	LA Inbetriebnahme.kompliziert	LA Wartbarkeit.kompliziert	→	1 Verfügbarkeit.kompliziert	100		2021-06-20 13:31:00	fabia C79E2
	LA Inbetriebnahme.kompliziert	LA Wartbarkeit.einfach	→	1 Verfügbarkeit.kompliziert	100		2021-06-20 13:31:01	fabia 501B6
	LA Inbetriebnahme.einfach	LA Wartbarkeit.komplex	→	1 Verfügbarkeit.komplex	100		2021-06-20 13:31:03	fabia 05059
	LA Inbetriebnahme.einfach	LA Wartbarkeit.kompliziert	→	1 Verfügbarkeit.kompliziert	100		2021-06-20 13:31:04	fabia 1FF22
	LA Inbetriebnahme.einfach	LA Wartbarkeit.einfach	→	1 Verfügbarkeit.einfach	100		2021-06-20 13:31:06	fabia 8F91B

Abbildung Anhang 31: Regelblock der Verfügbarkeit

