

Masterarbeit

Hochschule Merseburg

Fachbereich:

Wirtschaftswissenschaften und Informationswissenschaften

Studiengang: Informationsdesign und Medienmanagement

Thema:	Die Spritzgießtechnologie und ihre Teilabläufe Erstellung und Visualisierung einer 3D- Animation für den Spritzgießprozess
Vorgelegt von:	Maria Amft geboren am 31.08.1991 in Leipzig
Matrikelnummer:	20320
Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. Monika Trundt
Unternehmen:	Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH
Betreuer im Unternehmen:	Dr.-Ing. Thomas Wagenknecht

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
1 EINLEITUNG	1
1.1 KUNSTSTOFF-ZENTRUM IN LEIPZIG GGMBH	1
1.2 ZIELSETZUNG	2
2 DAS URFORMVERFAHREN SPRITZGIEßEN	4
2.1 DIE ENTWICKLUNG DES SPRITZGIEßENS	4
2.2 WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DES SPRITZGIEßENS	6
2.3 WERKSTOFFE FÜR DAS SPRITZGIEßEN	7
2.3.1 Thermoplaste	8
2.3.2 Duroplaste	10
2.3.3 Elastomere.....	11
3 DIE SPRITZGIEßMASCHINE.....	12
3.1 MASCHINENAUFBAU	12
3.1.1 Plastifiziereinheit.....	13
3.1.2 Schließeinheit.....	14
3.1.3 Gestell mit Maschinenbett und Bedieneinheit	17
3.2 VERFAHRENSABLAUF	19
3.2.1 Plastifizierphase	20
3.2.2 Einspritz- und Nachdruckphase.....	21
3.2.3 Abkühlphase.....	22
4 SONDERVERFAHREN DES SPRITZGIEßVERFAHRENS.....	23
4.1 ZWEI- UND MEHRKOMponentENSPrITZGIEßEN.....	23
4.2 MIKROSPRITZGIEßEN	25
4.3 TSG- VERFAHREN.....	27

5 ERSTELLUNG EINES VIDEOS ÜBER DEN SPRITZGIEßPROZESS.....	29
5.1 KONZEPTION.....	29
5.2 DAS KONSTRUKTIONSPROGRAMM AUTODESK INVENTOR.....	33
5.2.1 Möglichkeiten mit Autodesk Inventor®	34
5.3 ERSTELLUNG DER 3D-ANIMATION.....	36
5.3.1 Entwicklung eines Drehbuches zum Spritzgießzyklus	39
5.3.2 Verwendung von Animationsprogrammen.....	44
5.3.3 Möglichkeiten der 3D Animation mit Blender	47
5.3.4 Möglichkeiten der 3D Animation mit After Effects	51
5.3.5 Möglichkeiten der 3D Animation mit Premiere Pro.....	55
5.4 AUSGABE DER 3D ANIMATION	56
5.4.1 Möglichkeiten mit PowerPoint.....	56
6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	58
LITERATURVERZEICHNIS.....	62
ANHANG.....	67
EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	69

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: KUZ-Befragung zum eigenständigen Lernen mit digitalen Medien	3
Abb. 2: Spritzgießmaschine der Gebrüder Hyatt und das damalige Werkzeug [1].....	4
Abb. 3: Vergleich Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere [2]	7
Abb. 4: Unterschied amorpher und teilkristalliner Thermoplast [3]	8
Abb. 5: Einteilung der thermoplastischen Kunststoffe [4].....	9
Abb. 6: Thermisches Verhalten von Duroplasten [5].....	10
Abb. 7: Die Hauptkomponenten einer Spritzgießmaschine [6]	12
Abb. 8: Dreizonenschnecke [7]	13
Abb. 9: Die einzelnen Elemente des Normalwerkzeuges [8]	15
Abb. 10: Die Struktur einer Spritzgießmaschinensteuerung [9]	18
Abb. 11: Der Spritzgießzyklus [10].....	19
Abb. 12: Plastifizierphase [11].....	20
Abb. 13: Einspritz- und Nachdruckphase (Beginn der Kühlung) [12]	21
Abb. 14: Abkühlphase und Öffnen des Werkzeuges [13]	22
Abb. 15: Zweifachdüsen für unterschiedliche Mehrkomponentenspritzgießverfahren	24
Abb. 16: Mikroeinspritzeinheit auf einer 250kN-Maschine [15]	25
Abb. 17: Gesamtquerschnitt TSG-Verfahren [16].....	27
Abb. 18: Produktbeispiele des TSG-Verfahrens [17].....	28
Abb. 19: Recherche und deren Methoden	30
Abb. 20: Blackbox Darstellung der 3D-Animation	31
Abb. 21: Schema für den Ablauf der Masterarbeit	32
Abb. 22: Aufbau der Demag- und Engel-Spritzgießmaschine [18].....	34
Abb. 23: Hauptkomponenten einer SGM, erstellt mit Autodesk Inventor®	35
Abb. 24: Konvertierung einer STL-Datei in Autodesk Inventor®	35
Abb. 25: Das didaktisch gestalterische Element "Spritzgießzyklus"	36
Abb. 26: Darstellungsarten in der 3D-Animation	37
Abb. 27: Vorgehensweise zur Erstellung einer 3D-Animation.....	38
Abb. 28: Import einer PSD-Datei in After Effects.....	45
Abb. 29: Aufteilung Videospuren im Adobe Premiere Pro	46
Abb. 30: Das Layersystem im Softwareprogramm Blender	47
Abb. 31: Erstellung eines Materials für den Einfülltrichter in Blender	48
Abb. 32: Empty (Arrows) als Parent-Object	48
Abb. 33: Die Animation der Schmelze in Blender	49
Abb. 34: Einzelbild einer Videosequenz in Blender	50
Abb. 35: Anordnung der Ebenen in Adobe After Effects	51
Abb. 36: Animation des Titels in After Effects	52
Abb. 37: Animation eines Maskenpfades in Adobe After Effects.....	54
Abb. 38: Beispiel einer geschnittenen Animation in Adobe After Effects.....	55
Abb. 39: Startseite der interaktiven Präsentation mit PowerPoint	57
Abb. 40: Darstellung der 3D-Animation in PowerPoint.....	60

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Einteilung Elastomere</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 2: Zusammenfassung der Werkzeuggrundtypen</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 3: Einteilung der Bauteile im Mikrospritzgießen</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 4: Konzeptionierung der 3D-Animation</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 5: Drehbuch über realisierte Verfahrensschritte des Spritzgießens</i>	<i>43</i>

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AVI / WMV	Videodatei: Audio Video Interleave / Windows Media Video
CAD	computer-aided design
D	Durchmesser
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DS	Düsenseite
EPS	Encapsulated Postscript-Datei (Grafikdatei)
FBX	Gameware: Filmbox (entwickelt von Autodesk)
GIF	Bewegbilddatei: Graphics Interchange Format
JQuery	JavaScript-Bibliothek
KUZ	Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH
L	Länge
OVC	Converter: Online Video Converter
PAL (DV)	Phase Alternating/Alternation Line (Digital Video)

PDF / 3D-PDF	Portable Document Format / Portable Document Format for 3D-graphic
PE	Polyethylen
PNG	Portable Network Graphics (Bildformat)
PP	Polypropylen
PPT	MS Powerpoint (Präsentationssoftware)
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
QS	Qualitätssicherung
RGB	additiver Farbenraum Rot, Grün und Blau
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymer
SGM	Spritzgießmaschine
SS / AS	Schließseite / Auswerferseite
STL	stereolithography (Dateiformat)
TSG	Thermoplast-Schaumspritzgießen
WZ	Werkzeug

1 Einleitung

Die Masterarbeit befasst sich mit dem Thema: „Erstellung und Visualisierung einer 3D Animation für den Spritzgießprozess“. Es handelt sich um eine wissenschaftliche Arbeit, die vorgestellt und beschrieben wird. Dabei wird das Spritzgießverfahren erläutert und ein geeigneter Lösungsweg für die Erstellung einer animierten Darstellung in Form eines Videos ermittelt und umgesetzt. Die praktische Arbeit wird im Kunststoff-Zentrum Leipzig gGmbH (KUZ) durchgeführt. In diesem Zusammenhang erwartet das KUZ durch die Animation von Prozessen einen Mehrwert hinsichtlich des Prozessverständnisses von zukünftigen Schulungsteilnehmern.

1.1 Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH

Das unabhängige, industriennahe Technologie-, Prüf- und Weiterbildungszentrum KUZ wurde im Jahre 1960 gegründet. Das Unternehmen beschäftigt 60 Mitarbeiter, die sich hauptsächlich der Forschungs- und Entwicklungsarbeit im vorwettbewerblichen Bereich widmen sowie der Verbundforschung mit der Industrie, den speziellen innovativen Dienstleistungen, dem Technologietransfer, der Informationsvermittlung sowie Weiterbildungsveranstaltungen in den Bereichen Verarbeitungstechnik, Werkzeugtechnik, Verbindungstechnik, Werkstoffentwicklung und der Prüftechnik. Des Weiteren ist das KUZ auch für Qualitätssicherung zuständig. Das Ziel des KUZ ist es, kleine und mittlere Unternehmen der Kunststofftechnik bei der Einführung neuer Technologien, Verfahren und Erzeugnisse zu beraten und zu unterstützen.

Bei der Optimierung von Spritzgießverfahren liegen die Schwerpunkte in der Materialentwicklung und der Compoundierung in der Polyurethanverarbeitung sowie im Thermoformen. Außerdem sind auch Schulungen und Weiterbildungen ein wesentlicher Bestandteil der Tätigkeiten im KUZ. Das theoretisch vermittelte Wissen dieser Schwerpunkte wird bei Weiterbildungsteilnehmern untermauert und gefestigt. Diese Festsetzung und Vertiefung erfolgt durch Schulungsunterlagen der Referenten, wie zum Beispiel Präsentationen (PowerPoint), Skripte, Handouts und spezielle Software (für Spritzgießsimulationen).

1.2 Zielsetzung

Im KUZ sollen neben den ausgeteilten Texten auch Bilder, Grafiken, Diagramme und Animationen in den Schulungen integriert werden, um die komplexen Sachverhalte verständlich zu erläutern. Das Erlernen der theoretischen Grundlagen des Spritzgießens fällt Schulungsteilnehmern mit fehlendem oder geringem technischen Fachwissen schwer. Das Maschinentraining erlaubt zwar die Darstellung der einzelnen Prozessphasen, dennoch können die technischen und verfahrenstechnischen Prozesse im Inneren einer Spritzgießmaschine nicht verständlich genug veranschaulicht werden. Aufgrund dessen ist das Ziel der Arbeit die Erstellung und Visualisierung einer 3D-Animation für den Spritzgießprozess. Das KUZ hegt die Hoffnung, dass sich durch die Animationen von Prozessen ein Mehrwert hinsichtlich des Prozessverständnisses von zukünftigen Schulungsteilnehmern ergibt. Für Schulungen wäre es von Vorteil, ein Video für den Spritzgießprozess zu erstellen. Zu animierten Darstellungen zählen überwiegend:

- Video-Animationen (z. B. AVI oder WMV),
- Bewegbild-Animationen (z. B. GIF),
- Web-Animationen (z. B. SVG, JQuery),
- Präsentations-Animationen (z. B. PPT oder PDF) und
- Interaktive Animationen (z. B. FBX oder 3D-PDF).

Zunächst sollte eine interaktive 3D-PDF entwickelt werden, welche man per Schaltflächen steuern kann. Das Budget des KUZ ist für die gewünschten Plug-Ins („3D-PDF Converter“ und „3D-PDF Animate“) allerdings zu gering. Deswegen entschied man sich für die Variante, Video-Animationen in einem dreidimensionalen Raum als WMV-Dateien auszugeben und in die Software *PowerPoint* zu importieren und zu visualisieren. In diesem Zusammenhang werden digitale Medien, wie z. B. *PowerPoint*, Videos und Animationen am häufigsten genutzt, um technische Sachverhalte eigenständig zu verstehen (siehe Abb.1). Dies bewies eine Teilnehmer-Befragung (siehe Anhang) des KUZ zum Thema „Lernen mit digitalen Medien“.

Welche digitalen Medien benutzen Sie am häufigsten zum Lernen?

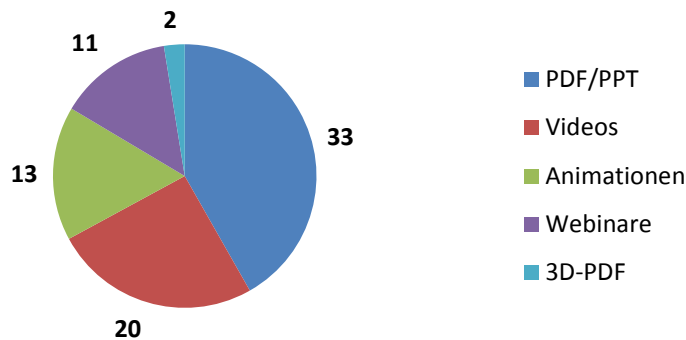


Abb. 1: KUZ-Befragung zum eigenständigen Lernen mit digitalen Medien

Insgesamt wurden 38 Teilnehmer befragt. Davon besaßen 31 Teilnehmer die Qualifikation eines Fachhochschulabschlusses und 7 Teilnehmer die Qualifikation eines Fachschulabschlusses. Über 50% der Teilnehmer finden Animationen sowie Videos sehr wichtig, besonders für Weiterbildungen und Tagungen. Laut Umfrage benutzen 63,16% der Teilnehmer *YouTube* und nur 2,63% der Teilnehmer benutzen *Pinterest*. Im Gegensatz zu *Pinterest* ermöglicht *YouTube* das Hochladen, Anzeigen, Bewerten, Teilen, Hinzufügen zu Favoriten, Melden und Kommentieren von Videos. *Pinterest* ist eher bekannt für das Hochladen, Anzeigen, Bewerten, Teilen und Kommentieren von Bildern. Allerdings kann *Pinterest* auch auf externe Webseiten, wie z. B. *YouTube* zugreifen und unterstützt in der gegenwärtigen Zeit auch Videos. Damit ist klar, dass Animationen insbesondere Videos in der heutigen Welt relevant sind und immer noch zu den wichtigsten digitalen Medien gehören.

Die 3D-Animation soll als Video erarbeitet und bereitgestellt werden. Des Weiteren kann durch animiertes Vergrößern oder Ein- und Ausblenden einzelner Objekte der Blick gezielt auf das Wesentliche gelenkt und der Sachverhalt verständlicher dargestellt werden. Heutzutage werden 3D-Animationen nicht mehr nur für Vermarktung und Verkaufsförderung eingesetzt, sondern auch für Schulungen und Weiterbildungen.¹

¹ Vgl. ISB Information und Kommunikation GmbH & Co. KG 2018, Beitrag: 3D-Animation.

2 Das Urformverfahren Spritzgießen

2.1 Die Entwicklung des Spritzgießens

Die Entwicklungsgeschichte für das Spritzgießverfahren begann Ende des 19. Jahrhunderts. Im Jahre 1869 erfand John Wesley Hyatt das „Zelluloid“. Das Zelluloid wurde als erste Gruppe von Kunststoff-Verbindungen (als Thermoplast) angesehen und kann leicht geschmolzen und geformt werden. Drei Jahre später wurde das „Zelluloid“ das erste Mal bei einer Maschine für Bauteile angewendet.

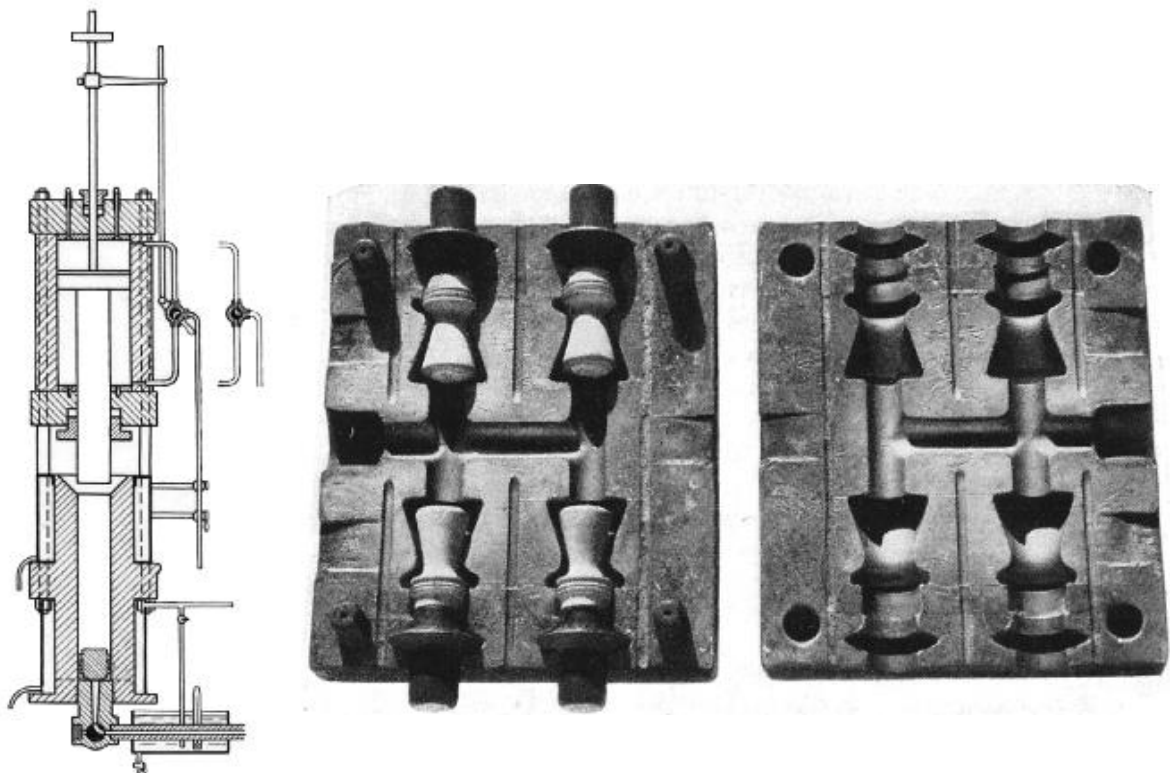


Abb. 2: Spritzgießmaschine der Gebrüder Hyatt und das damalige Werkzeug [1]

Diese Maschine wurde als „vertikale Stopfmaschine“ bezeichnet und wurde ebenfalls von den Gebrüder Hyatt entwickelt (siehe Abb. 2).² Im Jahre 1921 konstruierte der Berliner Mechanik-Meister Hermann Buchholz die erste senkrechte Hand-Spritzgießmaschine. Diese hat er mit Zusammenarbeit von Eichengrüns Wissen (über die Formmasse: Zelluloseazetat mit Weichmachern) entwickelt.³

² Vgl. Dipl.-Ing. Walter Steinert 1982, Fachkunde der Plastverarbeitung S. 204.

³ Vgl. Klaus Diebold 2007, Der Fortschritt ist eine Schnecke S. 1.

Im Jahre 1943 erfolgte dann die erste Patentanmeldung für eine Schneckenplastifiziereinrichtung durch Hans Beck.⁴ Zunächst gab es nur Kolbenmaschinen zum Spritzgießen von Kunststoffen. Ab den Jahre 1956 wurde die Kolbenspritzgießmaschine von der Schneckenmaschine fast vollständig verdrängt, da diese den Kunststoff schonender und homogener plastifizierte.⁵

Im Jahre 1960 gab es die ersten Berichte, die zum Thema „Herstellung von Spritzgießteilen aus Phenoplast-Pressmassen“ veröffentlicht wurden. Diese Phenoplast-Pressmassen sind duroplastische Kunststoffe und zählen zu einer der ersten industriell erzeugten Kunststoffe.⁶ Die rasante Veränderung der Spritzgießtechnologie und der Kunststoffe haben sich über Jahrzehnte durchgesetzt. Infolgedessen ist das Spritzgießverfahren aus heutiger Sicht nicht mehr wegzudenken.

In fast allen Bereichen werden spritzgegossene Formteile eingesetzt. In der heutigen Zeit spielt die Automatisierung des Spritzgießens eine wichtige Rolle. Außerdem werden die Ablaufprozesse des Spritzgießverfahrens immer weiter optimiert. Dabei bildet die gesamtheitliche Prozessanalyse, die Vernetzung aller beteiligten Peripheriegeräte sowie der Aufbau eines Datenerfassungs- und Managementsystems die Basis. Die gesamte Wertschöpfungskette soll automatisiert werden. Die „Zukunfts-Komponenten“ ermöglichen die Selbstorganisation von industriellen Prozessen. Im Mittelpunkt dieser Systemoptimierung steht dabei die „smart factory“. Zu ihr gehören folgende drei Elemente, die für die Zukunft entscheidend sind:

- „*smart machine*“
(Erhöhung der Prozessfähigkeit, Mensch/Maschinen-Schnittstelle),
- „*smart production*“
(Abfragung der Status aller SGM, Erstellung von Dokumentationen)
- sowie „*smart service*“
(Verschicken von Service-Anfragen über Smartphone, Entwicklung von belastungsoptimierten Wartungsintervallen).

⁴ Vgl. Dipl.-Ing. Walter Steinert 1982, Fachkunde der Plastverarbeitung S. 204.

⁵ Vgl. Kern GmbH 2018, Kunststoff-Lexikon: Kolbenspritzgießmaschine.

⁶ Vgl. Dipl.-Ing. Walter Steinert 1982, Fachkunde der Plastverarbeitung S. 204.

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung des Spritzgießens

Das Naturprodukt Erdöl ist die Basis zur Herstellung von Kunststoffen. Die Kunststoffindustrie benötigt lediglich 4% der aus den Raffinerien kommenden Erdölprodukte. Kunststoffe eröffnen eine hohe Designfreiheit sowie ein Integrations- und Funktionsintegrationspotential. Sie sind leicht ur- und umformbar bei relativ niedrigen Temperaturen. Kunststoffe besitzen außerdem ein attraktives Preis-Leistungs-Verhältnis in der Verarbeitung. Die Kunststoffproduktion ist nach 1945 stark gestiegen. Deswegen gibt es sehr viele Beweise dafür, dass der Kunststoff und insbesondere Spritzgussteile direkt oder indirekt durch Miniaturisierung und Leichtbau erhebliche Einsparungen an Werkstoffmenge, -Gewicht und Raum gebracht haben.

Die größte Wertschöpfung im Kunststoffmaschinenbau hat der Spritzgießmaschinenbau. Deutschland ist einer der wichtigsten Handelspartner für die USA im Bereich Spritzgießmaschinen. Im Jahre 2016 hatte Deutschland einen Anteil von 28 % an den US-Importen und sichert sich dahingehend seine Bedeutsamkeit für den US-Amerikanischen Markt.⁷ Das Spritzgießen steht hinter dem Extrudieren an zweiter Stelle. Im Gegensatz zu letzterem lässt sich das Spritzgießen als ein diskontinuierliches Verfahren zur Herstellung von Massenteilen aus Kunststoff definieren. Mit diesem Verfahren lassen sich direkt verwendbare Formteile (wie z. B. Zahnbürsten, Stoßstangen, etc.) in großer Stückzahl herstellen.⁸

Außerdem besitzen Kunststoffe eine niedrige Dichte, die sich bei den meisten Arten zwischen 800 und 2200 kg/m³ bewegt.⁹ Die Kunststoffe sind damit erheblich leichter als Metalle oder keramische Werkstoffe. Die Festigkeit von Kunststoffen ist vergleichsweise niedrig. Dennoch brechen sie weniger als z. B. Keramik oder Glas. Deswegen werden Spielzeuge vielfach als Gebrauchsgegenstände für Kinder gefertigt.

⁷ Vgl. Giesel Verlag GmbH 2018, Artikel zu: Deutschland bleibt US-Partner Nummer 1.

⁸ Vgl. Welt der Wunder 2018, Beitrag: Spritzguss: Vorteile und Einsatzmöglichkeiten.

⁹ Vgl. chemie-schule.de 2018, Beitrag: Die wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe.

2.3 Werkstoffe für das Spritzgießen

Es gibt ungezählte Anwendungsbeispiele für Kunststoffe. Zum Beispiel werden sämtliche Kunststoffe in der Automobilbranche eingesetzt. Der Gewichtsanteil dieser Kunststoffe am Auto beträgt etwa 18 %.¹⁰ Aufgrund der vielfältigen Anwendungsgebiete müssen Kunststoffe:

- anpassungsfähig sein (in ihren Materialeigenschaften),
- leicht zu verarbeiten sein,
- besonders preiswert sein und
- besonders leicht sein.

Je spezieller die Anforderung an den Kunststoff ist, umso preisintensiver wird seine Herstellung. Man teilt Kunststoffe nach ihrem Verhalten und den Molekülaufbau in Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere ein (siehe Abb. 3).¹¹

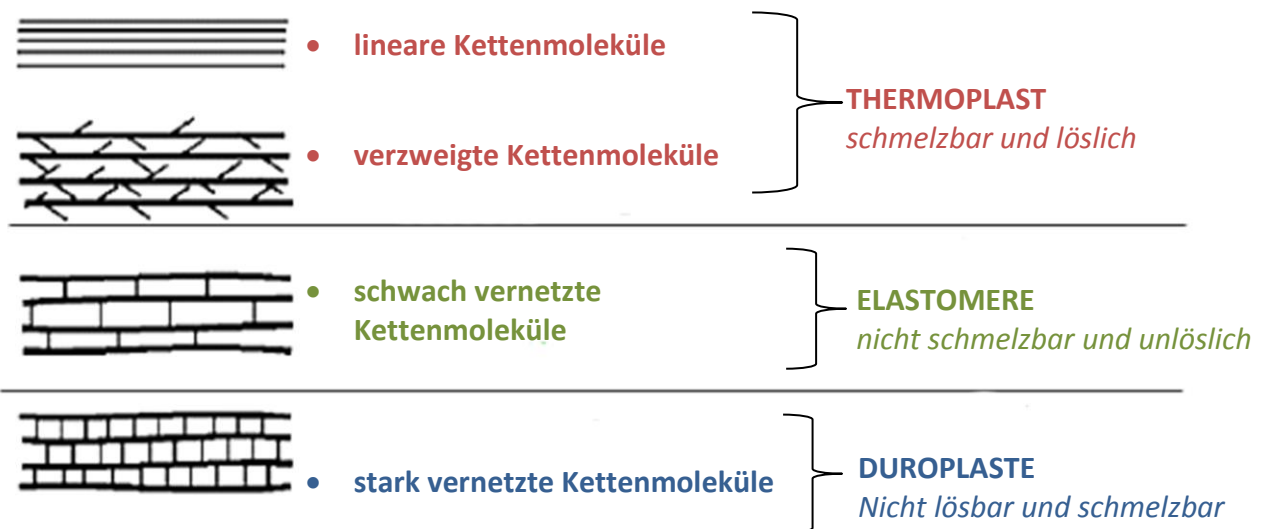


Abb. 3: Vergleich Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere [2]

¹⁰ Vgl. Wirtschaftsgesellschaft des Kfz-Gewerbes mbH 2014, Beitrag: Kunststoffe am Auto.

¹¹ Vgl. Wirtschaftsgesellschaft des Kfz-Gewerbes mbH 2014, Beitrag: Kunststoffe am Auto.

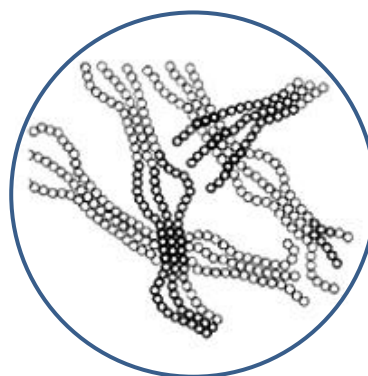
2.3.1 Thermoplaste

Thermoplaste sind Kunststoffe, deren Makromoleküle lineare oder verzweigte Ketten darstellen. Durch sekundäre Bindungskräfte (oder auch Nebervalenzkräfte) werden die einzelnen Molekülfäden zusammengehalten. Im Gegensatz zu den vernetzten Kunststoffen kann dieser Zusammenhalt des Thermoplasts wieder geschmolzen werden. Aufgrund ihrer Bindungskräfte sind Thermoplaste quellbar, schweißbar und löslich.¹²

Man unterteilt die thermoplastischen Kunststoffe in amorphe und teilkristalline Thermoplaste. Wenn einer Kunststoffschmelze Wärme entzogen wird, verringert sich ihre Beweglichkeit. Wenn allerdings die Thermoplaste einen sehr gleichmäßigen und gering verzweigten Aufbau aufweisen, so sind die Ketten beim Abkühlen in der Lage, einen sehr hohen Ordnungsstand einzunehmen. In diesem Fall spricht man von der Kristallisation der Kunststoffe. Diese Kristallisation tritt während einer deutlichen Verringerung des spezifischen Volumens auf. Reale Thermoplaste weisen nur eine begrenzte (teilkristalline Kunststoffe) oder keine (amorphe Kunststoffe) Kristallisation auf. Bei amorphen Thermoplasten tritt aufgrund eines verzweigten Kettenaufbaus oder einer unregelmäßigen Molekülstruktur keine Kristallisation auf. Diesen Zustand bezeichnet man als glasähnlich (siehe Abb. 4). Dies ist für den Spritzgießprozess von Bedeutung, da hierdurch die Verarbeitungsschwindigkeit maßgeblich beeinflusst wird.¹³



a) amorpher Thermoplast



b) teilkristalliner Thermoplast

Abb. 4: Unterschied amorpher und teilkristalliner Thermoplast [3]

¹² Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 49.

¹³ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 50.

Die Thermoplaste sind heute mit Abstand die größte Gruppe der Kunststoffe. Die Standardkunststoffe sind PVC, PP, PE, PS und SAN. Es gibt auch noch die Hochleistungskunststoffe und die technischen Kunststoffe (siehe Abb. 5).

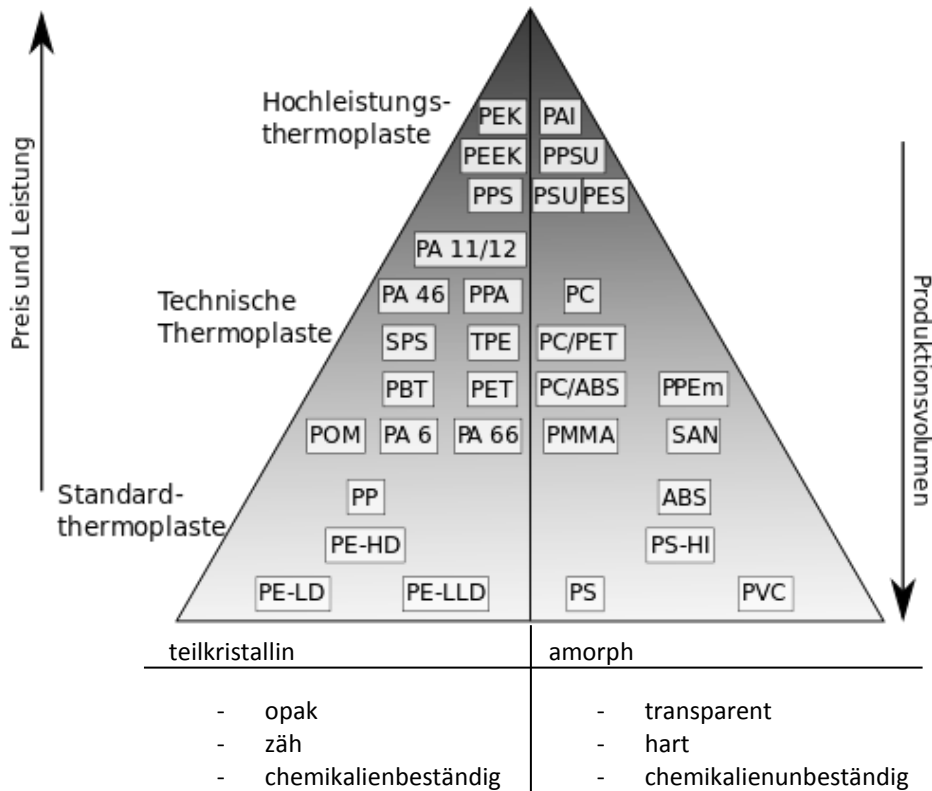


Abb. 5: Einteilung der thermoplastischen Kunststoffe [4]

Es gibt ziemlich leicht verformbare Thermoplaste, die zum Beispiel in Form einer Plastiktüte dargestellt werden kann. Thermoplaste können aber auch amorph (hart) sein. So bestehen zum Beispiel Computer- und Monitorgehäuse aus amorphen Thermoplasten. Es hängt von der Glasübergangstemperatur ab, ob ein Thermoplast bei Raumtemperatur hart oder weich ist. Wenn die Temperatur der amorphen Thermoplaste oberhalb der Glasübergangstemperatur liegt, ist er weich und verformbar. Wenn diese allerdings unterhalb dieser Temperatur liegt, ist der Thermoplast fest und unformbar. Es gibt auch noch die Alternative, Weichmacher hinzuzufügen.¹⁴ Dabei sollte man auch immer beachten, ob der Thermoplast eine Kristallisation besitzt oder nicht. Amorphe Thermoplaste können z. B. nur unterhalb der Glasübergangstemperatur eingesetzt werden.

¹⁴ Vgl. Mirjam Brockmann 2000, Beitrag: Eigenschaften von Kunststoffen: Thermoplaste.

2.3.2 Duroplaste

Im Gegensatz zu Thermoplasten sind Duroplaste härtbare Formmassen, welche durch irreversible chemische Vernetzung im Werkzeug gekennzeichnet sind. Das heißt, dass die Duroplaste nach dem Aushärten nicht mehr in den plastischen verformbaren Zustand überführbar sind.¹⁵ Die Duroplaste befinden sich allerdings nur bei Raumtemperatur im härteelastischen Zustand (siehe Abb. 6). Dieser Bereich wird als Einfrierbereich oder auch Glasübergangsbereich (Glaspunkt) bezeichnet. Wenn die Duroplaste über diesen Bereich hinaus erhitzt wird, fällt das Material in den Bereich der thermischen Zersetzung (Zersetzungsbereich).¹⁶

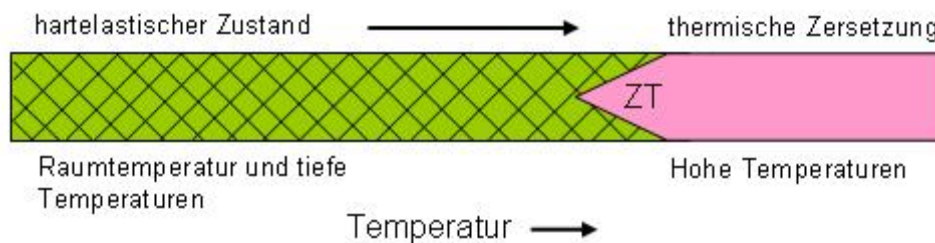


Abb. 6: Thermisches Verhalten von Duroplasten [5]

Formmassen aus Duroplast verfügen über ein komplexes Fließhärtungsverhalten. Das Fließhärtungsverhalten verdeutlicht, dass der Fließvorgang (physikalisches Aufschmelzen) und die Härtung bei Duroplasten (chemische Vernetzungsreaktion) zeitlich überlagert sind. Hierbei fungieren Temperatur und Zeit in Form der Vernetzungsreaktion. Des Weiteren sind detaillierte Kenntnisse der Fließeigenschaften von den eingesetzten Formmassen zur Auslegung der Spritzgießwerkzeuge und Optimierung der Verarbeitungsprozesse erforderlich.¹⁷

Gegenüber Thermoplaste haben Duroplaste einige Vorteile zu liefern. Diese sind eine andauernde Festigkeit bei hohen Temperaturen, eine hohe Wärmeformbeständigkeit, eine größere Härte sowie Steifigkeit. Deswegen kann das Material in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. Diese sind z. B. in der Elektroindustrie, für Haushaltsgeräte oder für Maschinenteile.

¹⁵ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 52.

¹⁶ Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Duroplaste: Thermisches Verhalten von Duroplasten.

¹⁷ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 52.

2.3.3 Elastomere

Die Elastomere gehören zu den räumlich schwach vernetzten Formmassen. Diese bestehen aus Natur- oder Synthetikgummi und anderen unterschiedlichen Zusatzkomponenten. Es lassen sich durch die Wahl der Komponenten und ihres Mischverhältnisses Verarbeitungs- und Formteileigenschaften steuern. Der Gummikautschuk ist die Basis für jede Gummimischung. Man unterscheidet zwischen dem Synthetikgummi und dem Naturgummi. Zum Schluss unterscheidet man nochmals in Allzweckgummi und Spezialgummi (siehe Tabelle 1). Der Allzweckgummi wird in großen Mengen hergestellt und der Spezialgummi besitzt spezifische Eigenschaften.¹⁸

Allzweckgummi	Spezialgummi
Styrol-Butadiengummi (SBR)	Nitril-Butadien-Gummi (BR)
Butadiengummi (BR)	Chloropren-Gummi (CR)
Isopren-Gummi (IR)	Silikon-Gummi (LSR)

Tabelle 1: Einteilung Elastomere

Grundsätzlich enthält eine Mischung folgende Grundbausteine: Polymer(e), Füllstoffe, Weichmacher und Kleinchemikalien. In den Mischungen sind Zusätze (Kleinchemikalien) enthalten, wie zum Beispiel: Alterungsschutzmittel, Vernetzungsmittel, Vulkanisationsbeschleuniger/ -verzögerer sowie Verarbeitungshilfsmittel.¹⁹ Typische Einsatzgebiete der Elastomere-Formteile sind:

- Reifen,
- Dichtungen (O-Ringe),
- Gummibänder sowie
- Schaumstoff für Dämpfungselemente.

¹⁸ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 52 - 53.

¹⁹ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen S. 53.

3 Die Spritzgießmaschine

Die meisten Spritzgießmaschinen sind Universalmaschinen, die für die diskontinuierliche Herstellung von Formteilen vorgesehen sind. Es werden hierfür makromolekulare Formmassen (z. B. Thermoplaste) verwendet. Das Urformen solcher Massen erfolgt unter Druck und hohen Temperaturen (siehe auch DIN 24450). Beim Standardspritzgießen wird ein bestimmter Aufbau der Maschine eingehalten. Dieser besteht aus unterschiedlichen Komponenten. Mit diesen Komponenten werden die wichtigsten Funktionseinheiten gebildet.²⁰ Die Hauptkomponenten können aus Abb. 7 entnommen werden.

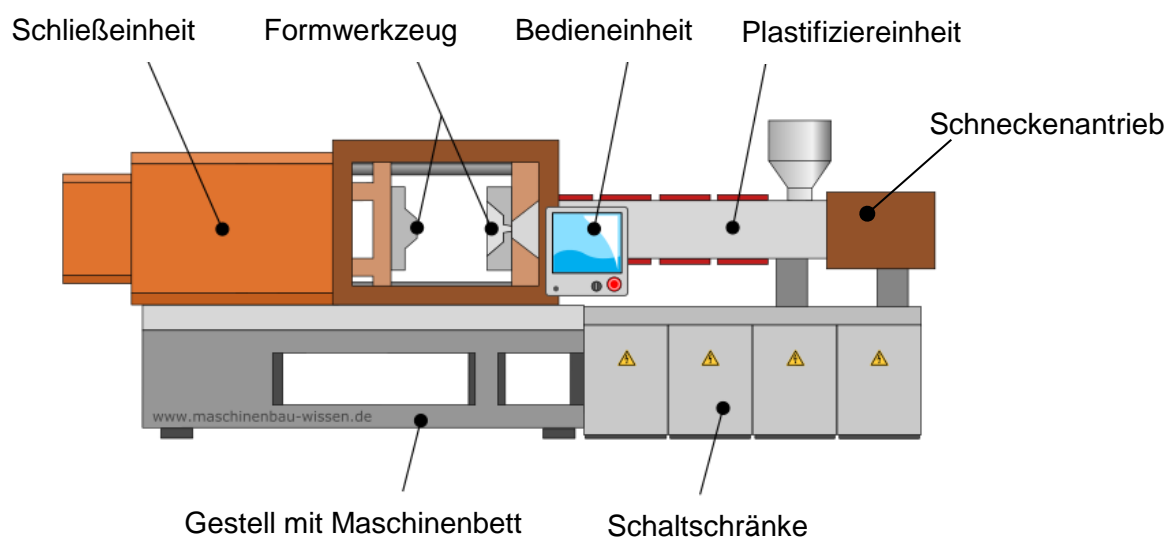


Abb. 7: Die Hauptkomponenten einer Spritzgießmaschine [6]

3.1 Maschinenaufbau

Die wichtigsten zwei Komponenten einer SGM sind die Schließeinheit mit dem formgebenden Verarbeitungswerkzeug- und die Plastifizier-(Einspritz-)einheit. Des Weiteren ist die Hydraulik die Art des Maschinenantriebes. Daneben gibt es noch elektrische oder hybride Antriebe. Bei den hydraulischen Maschinen wird die Form durch einen großen Hydraulikzylinder aufgebaut und gehalten. Dagegen ist ein Kniehebel eine spezielle Art der Schließeinheit. Dieser kann sowohl elektrisch als auch hydraulisch betrieben werden. Der Kniehebel ist dafür verantwortlich, dass das Werkzeug zusammengedrückt wird.

²⁰ Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Aufbau & Funktionsweise einer Spritzgießmaschine.

3.1.1 Plastifiziereinheit

In der Plastifiziereinheit wird die benötigte Formmasse für den Einspritzvorgang in eine Negativform („Kavität“) aufbereitet. Das Rohmaterial (Granulat) wird durch Aufschmelzung, Homogenisierung und Dosierung aufbereitet. Danach wird das Rohmaterial unter Druck in das Formwerkzeug eingespritzt. Die Plastifiziereinheit zählt zur Kernkomponente der Spritzgießmaschine, denn von ihr hängt auch die Produktqualität ab. Um eine gute Produktqualität zu erzeugen, werden folgende Anforderungen an die Plastifiziereinheit gestellt:

- ein ausreichend hoher Plastifizierstrom,
- eine über den gesamten Schneckenhub konstante Materialförderung,
- ein gutes Einzugsverhalten,
- ein günstiges Verweilzeitverhalten,
- eine gute thermische Homogenität der Schmelze,
- eine gute mechanische Homogenität der Schmelze,
- eine hohe Reproduzierbarkeit,
- ein günstiges energetisches Betriebsverhalten,
- ein breiter Einsatzbereich und eine wirtschaftliche Standzeit.

Die Reihenfolge dieser Anforderungen kann in Abhängigkeit von der Anwendung unterschiedlich ausfallen. Maßgebliche Faktoren für wirtschaftliche und effiziente Produktion sind die Auswahl, die Auslegung und das Design der Plastifiziereinheit.²¹ Als Standard für die Schneckenplastifizierung haben sich Dreizonenschnecken (siehe Abb. 8) mit einem L/D-Verhältnis (Länge/Durchmesser) von 18 bis 23 und einer Kompression von 2,0 bis 2,5 bewährt.

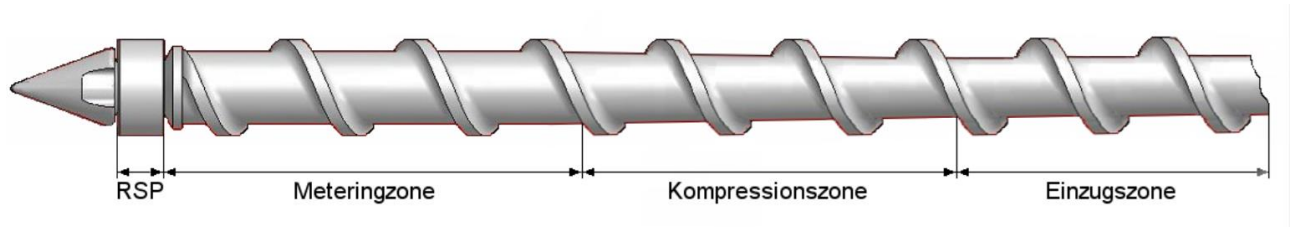


Abb. 8: Dreizonenschnecke [7]

²¹ Vgl. Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH 2018, Beitrag: Plastifizierung.

3.1.2 Schließeinheit

Hingegen nimmt die Schließeinheit das Werkzeug auf und dient zum Öffnen, Schließen sowie Zuhalten des Werkzeugs. Jedes Spritzgießwerkzeug besteht aus zwei Hälften, der Düsen- und Auswerferseite.²² Eine feste Aufspannplatte trägt dabei die Werkzeughälfte der Düsen- und Auswerferseite. Eine feste Aufspannplatte trägt dabei die Werkzeughälfte der Düsen- und Auswerferseite. Eine feste Aufspannplatte trägt dabei die Werkzeughälfte der Düsen- und Auswerferseite. Die feste Aufspannplatte hat in der Mitte ein Loch, sodass die Düse hindurchfahren kann.²³

Die zweite Platte ist eine bewegliche Aufspannplatte. An dieser beweglichen Aufspannplatte ist die zweite Werkzeughälfte (Auswerferseite) montiert. Sie wird mechanisch oder hydraulisch bewegt. Die beiden Werkzeughälften werden nun zusammengeschoben. Man bezeichnet diesen Prozess auch als Zufahren. Die dritte Platte ist die Stirnplatte. Zwischen Stirn- und der beweglichen Aufspannplatte befindet sich der Kniehebel bzw. Hydraulikzylinder, welcher das Schließen des Werkzeugs möglich macht. Die Stirnplatte ist für den Kraftaufbau notwendig. An der beweglichen Aufspannplatte befindet sich ein Auswerfer.²⁴

Dieser Auswerfer hat die Aufgabe, ein fertiges Kunststoffteil nach dem Öffnen der Formplatten aus der Form auszustoßen. Dieser Bestandteil der Maschine besteht meistens aus einem hinter der beweglichen Formplatte angebrachten hydraulischen Zylinder, dessen Kolbenstange durch die bewegliche Formplatte hindurchreicht. Die Auswerferstifte können in der Form dieser Kolbenstange gekoppelt werden. Beim Vorfahren stoßen die Auswerfer sowie die Auswerferstifte das Formteil aus. Generell gibt es Spritzgießteile, die bei Formwerkzeugen:

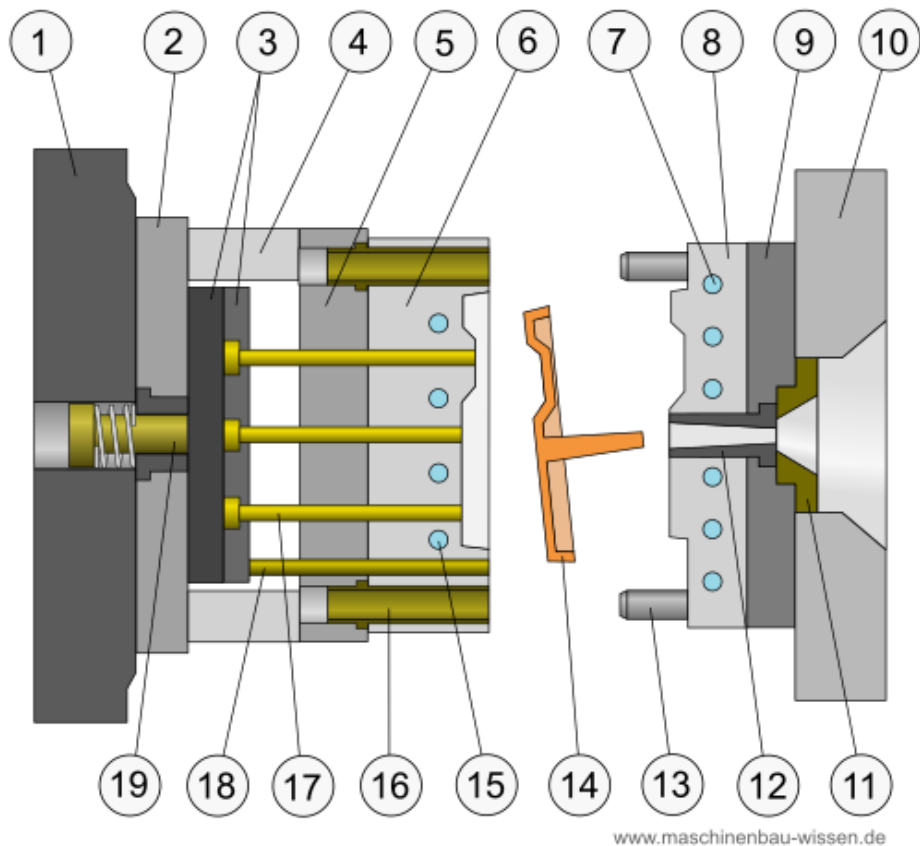
- ohne Hinterschneidung,
- mit Hinterschneidung oder
- mit Innen- oder Außengewinde erstellt werden.

In Abb. 9 sieht man den Aufbau eines Normalwerkzeugs. Das Normalwerkzeug besitzt eine einfache Bauweise und ist besonders für Formteile aller Art geeignet.

²² Vgl. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2018, Artikel: Werkzeugaufbau von Spritzgießwerkzeugen.

²³ Vgl. LUMITOS GmbH 2018, Lexikon: Spritzgießmaschine.

²⁴ Vgl. LUMITOS GmbH 2018, Lexikon: Spritzgießmaschine.



- | | | | |
|----|------------------|----|-----------------|
| 1 | Aufspannplatte | 11 | Zentrierflansch |
| 2 | Grundplatte | 12 | Angussbuchse |
| 3 | Auswerferplatten | 13 | Führungsbolzen |
| 4 | Stützleiste | 14 | Formteil |
| 5 | Zwischenplatte | 15 | Temperierkanal |
| 6 | Formplatte | 16 | Führungsbuchse |
| 7 | Temperierkanal | 17 | Auswerfer |
| 8 | Formplatte | 18 | Rückdrückstift |
| 9 | Grundplatte | 19 | Auswerferbolzen |
| 10 | Aufspannplatte | | |

Abb. 9: Die einzelnen Elemente des Normalwerkzeuges [8]

Es gibt noch weitere Werkzeuggrundtypen, wie z.B. das Abstreifwerkzeug, Schieberwerkzeug, Backenwerkzeug, Abspindelwerkzeug und Abreisswerkzeug. Sie unterscheiden sich im Aufbau, der Art der Formteile sowie der Öffnungsrichtung. Diese Unterschiede können aus Tabelle 2 entnommen werden.

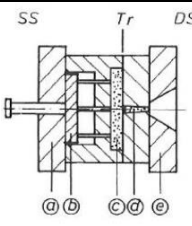

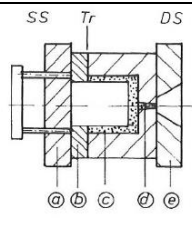

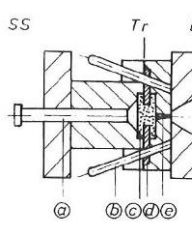
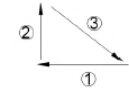
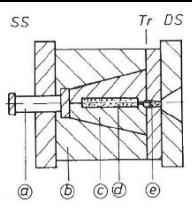
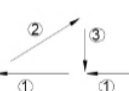
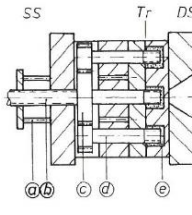
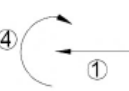
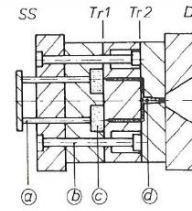

Nr.	Werkzeuggrundtyp	Aufbau	Art der Formteile	Öffnungsrichtung
1	Normalwerkzeug	 <p>a) Aufspannplatte SS b) Entformungssystem c) Formnest d) Angusskanal e) Aufspannplatte DS</p>	- Formteile aller Art ohne Hinterschneidung	
2	Abstreifwerkzeug	 <p>a) Aufspannplatte SS b) Abstreifplatte c) Formnest d) Angusskanal e) Aufspannplatte DS</p>	- becherförmige Teile ohne Hinterschneidung	
3	Schieberwerkzeug	 <p>a) Entformungssystem b) Steuerfinger c) Formnest d) Schieber e) Angusskanal</p>	- flache Teile mit Hinterschneidung oder äußerem Gewinde	
4	Backenwerkzeug	 <p>a) Entformungssystem b) Backenführungsplatte c) Backe d) Formnest e) Angusskanal</p>	- längliche und breite Teile mit Hinterschneidung.	
5	Abspindelwerkzeug	 <p>a) Entformungssystem b) Spindel c) Zahnrad d) Formkern e) Formnest</p>	- Teile mit innerem oder äußerem Gewinde	
6	Abreisswerkzeug	 <p>a) Entformungssystem b) Zuganker c) Formnest d) Angusskanal</p>	- Teile mit automatischer Angussabtrennung	

Tabelle 2: Zusammenfassung der Werkzeuggrundtypen²⁵

²⁵ Vgl. Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung 2017, Kunststoffverarbeitung: Spritzgießen.

3.1.3 Gestell mit Maschinenbett und Bedieneinheit

Das Gestell ist hauptsächlich ein Bauteil, welches auf Werkzeugmaschinen ausgelegt ist. Es besitzt die Aufgabe der Führung der Werkzeugschlitten. Dabei ist das Maschinenbett auf dem Gestell montiert. Das Gestell dient außerdem als Behälter für das Hydrauliköl und beherbergt den Antrieb für die Maschinenhydraulik.²⁶ Das Gestell kann sogar mit Schutzvorrichtung und der Bedieneinheit (Teil der Steuerung) untergebracht werden.

Hingegen hat die zentrale Bedieneinheit die Aufgabe, den Prozessablauf entsprechend dem vorgegebenen Programm reproduzierbar zu realisieren. Generell sind separate Programme für jede Produktionsaufgabe notwendig. Es müssen alle Informationen einer logischen Folge der Prozessschritte in einen Programm enthalten sein. Diese Informationen arbeiten z. B. mit der Dauer, zu den für den Bewegungsablauf erforderlichen Wegen, Kräften und Geschwindigkeiten sowie mit der Temperatur. Die Programme werden oftmals in einem Datenspeicher abgelegt und bei Anschlussaufträgen in den Arbeitsspeicher zurück geladen. Die Bedieneinheit kann man in Logik- und Leistungsteil unterteilen. Dabei gehören zum Logikteil:

- Baugruppen / Geräte für die Bedienung und Kommunikation (Taster, Monitor, etc.),
- Geräte zur Prozesskopplung (Sensoren und Messeinrichtungen für Weg-, Druck-, Geschwindigkeitsmessung),
- Ein- und Ausgangsbaugruppen (Elektroniksteckkarten, Optokoppler),
- CPU [central processing unit] (Logikbauelemente, Programmspeicher)
- und zum Leistungsteil die Leistungselektronik (für Antrieb und Heizung) sowie
- Stromversorgungsbaugruppen (Trenntransformator, Thyristorsteuerung) .

Der Logikbereich befasst sich mit verschiedenen Befehlen. Diese können z. B. als Starten und Beenden von Arbeitsabläufen ausgegeben werden. Außerdem werden auch Signale aus dem Prozess über den Zustand von Prozessparametern (Istwerte) regelungstechnisch verarbeitet und als korrigierte Stellgrößen wieder ausgegeben.²⁷

Im Gegensatz dazu beinhaltet der Leistungsteil die Steuerungselemente. Mit diesen Steuerungselementen können die Signale aus dem Logikteil in Arbeitsbewegung umgesetzt werden. Für die hydraulisch angetriebenen Spritzgießmaschinen wird der elektromotorische

²⁶ Vgl. Michaeli Walter 2006, Einführung in die Kunststoffverarbeitung S. 127.

²⁷ Vgl. Günther Holzmüller 2001, Aufbau und Wirkungsweise von Spritzgießmaschinen S. 15.

Antrieb angesteuert. D. h. es kommt auch zur Ansteuerung der Zylinderheizung sowie der Druckregel-, Mengenregel- und Wegventile. Bei elektrisch angetriebenen Spritzgießmaschinen sind es vielmehr die Elektronikbaugruppen für die Ansteuerung der Elektromotoren und Linearmotoren.²⁸ Bei Abb. 10 ist ein Beispiel für die Struktur einer Spritzgießmaschinensteuerung dargestellt.

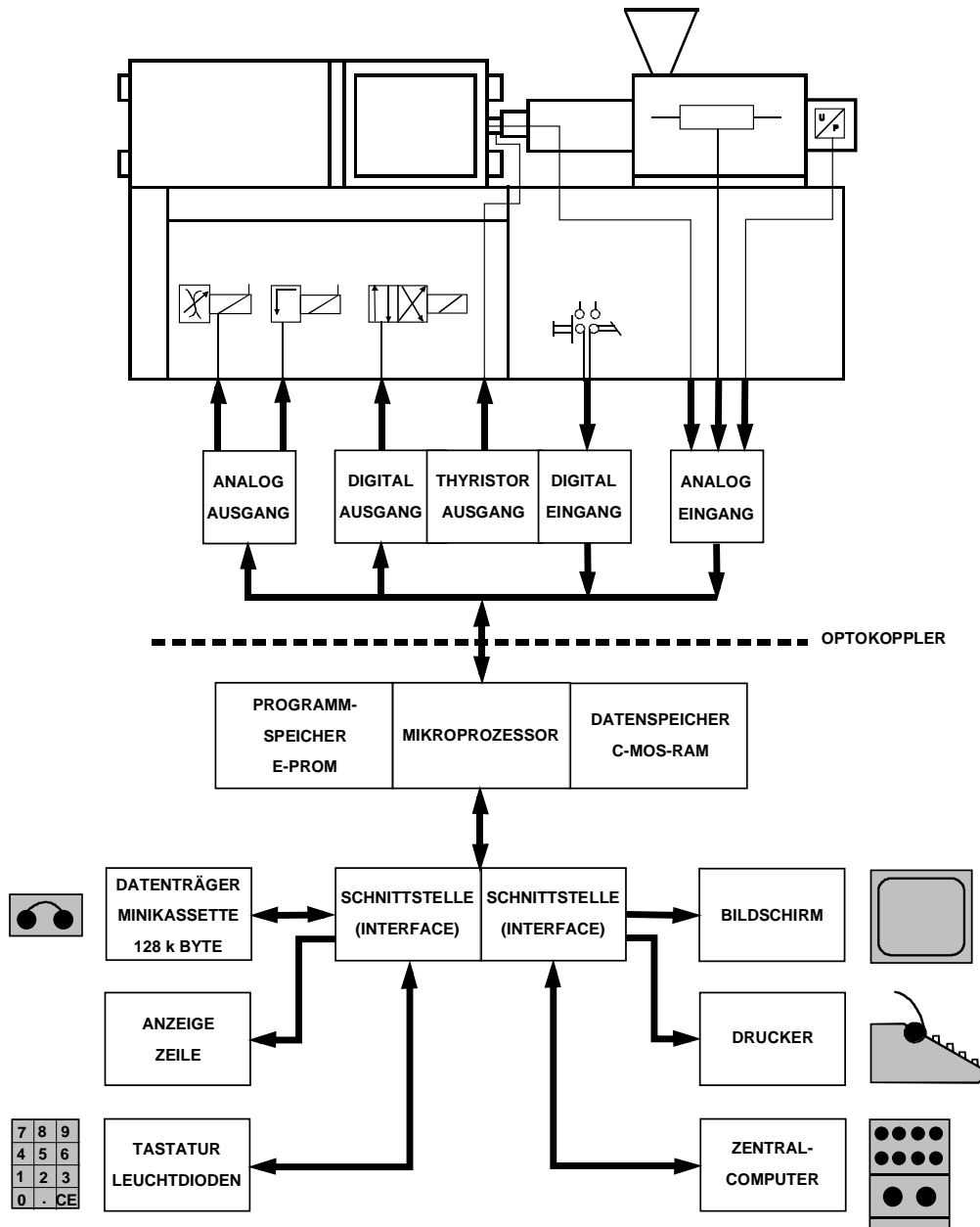


Abb. 10: Die Struktur einer Spritzgießmaschinensteuerung [9]

²⁸ Vgl. Günther Holzmüller 2001, Aufbau und Wirkungsweise von Spritzgießmaschinen S. 15.

3.2 Verfahrensablauf

Bei allen Spritzgießverfahren ist es notwendig, das vom Rohstoffhersteller meist in Granulat- oder Pulverform (z. B. Thermoplast) angelieferte Material so umzuwandeln, dass es in einen fließfähigen Zustand überführt wird. Die Spritzgießmaschine erfüllt bei der Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe verschiedene Aufgaben. Diese sind in drei wesentliche Phasen eingeteilt:

- das Plastifizieren,
- das Einspritzen sowie Nachdrücken und
- das Abkühlen.

Die detaillierte zeitliche Folge der einzelnen Arbeitsschritte ist im Zykluskreisdiagramm (siehe Abb. 11) dargestellt. Dabei handelt es sich um einen allgemeinen Arbeitszyklus. Die Anzahl der Arbeitsschritte kann umfangreicher sein, je nachdem, welches Spritzgießwerkzeug zum Einsatz kommt oder welche Anforderungen es durch das Erzeugnis (z. B. Sonderverfahren) gibt.

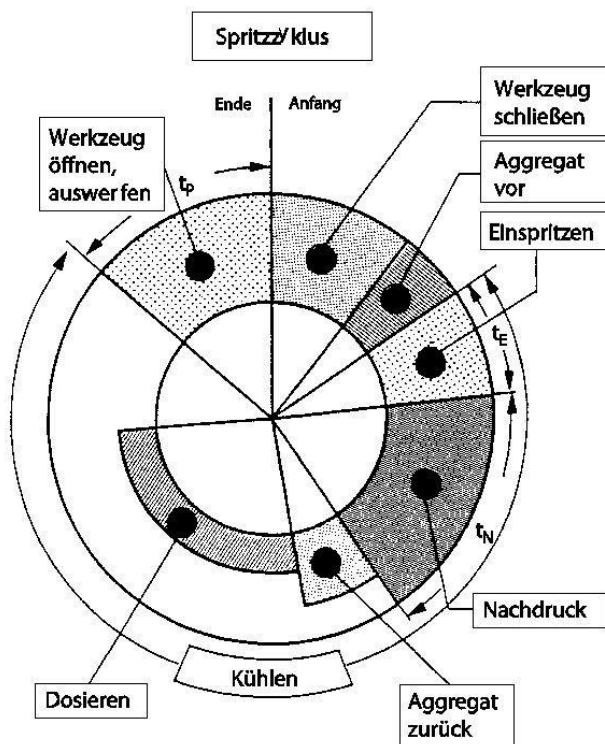


Abb. 11: Der Spritzgießzyklus [10]

3.2.1 Plastifizierphase

Der Begriff „Schneckenplastifizierung“ bezeichnet eine Kombination von äußerlich zugeführter und durch mechanische Arbeit erzeugter Wärme (Drehung der Schnecke) zur Temperaturerhöhung im bewegten Werkstoff. Das Ziel des Plastifizierens ist die Bereitstellung einer stofflich, thermisch und rheologisch homogenen Schmelze mit ausreichend niedriger Viskosität.²⁹ Beim Plastifizieren wird die Formmasse aufgeschmolzen.³⁰ Dabei rieselt das Kunststoffgranulat vom Einfülltrichter in das Plastifizieraggregat und wird durch die Schneckenrotation Richtung Düse transportiert (siehe Abb. 12). Durch die Heizbänder am Plastifizieraggregat und die Reibung zwischen den Granulatkörnern untereinander sowie mit der Schnecke schmilzt der Kunststoff. Während des Plastifiziervorganges arbeitet die Spritzeinheit als Plastifizierextruder. Das Plastifizieren endet mit dem Ausstoßen des gleichen Formmasseanteils aus dem Stauraum.³¹ Nach dem Plastifizieren und Aufdosieren erfolgt das Einspritzen. Anschließend wird die Schnecke automatisch zurückgedrückt, wenn die Einspritzphase / Nachdruckphase erfolgt ist.³² Nach dem Einspritzen wird erneut plastifiziert. Dabei gelangt neues aufgeschmolzenes Material in den Stauraum, wodurch die Schnecke zurückgedrückt wird. Im Zusammenhang werden nochmal folgende Vorgänge beschrieben:

- Fördern der Masse von der Einzugszone bis in den Stauraum vor der Düse,
- Erwärmen und Aufschmelzen,
- Durchmischen (Homogenisieren) der Masse.³³

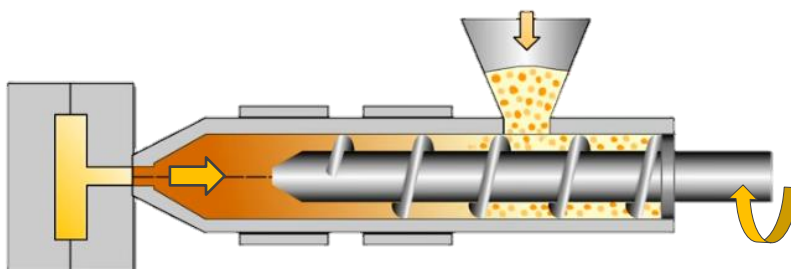


Abb. 12: Plastifizierphase [11]

²⁹ Vgl. Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH 2006, Spritzgießen von Thermoplasten S. 33.

³⁰ Vgl. Dipl.-Wirt.-Ing. Haman 2003, Prozessnahes Qualitätsmanagement beim Spritzgießen S. 23.

³¹ Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Aufbau & Funktionsweise einer Spritzgießmaschine.

³² Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Aufbau & Funktionsweise einer Spritzgießmaschine.

³³ Vgl. Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH 2006, Spritzgießen von Thermoplasten S. 33.

3.2.2 Einspritz- und Nachdruckphase

Wenn die Schnecke in axialer Ausrichtung zur Düse hingedrückt wird, entsteht der Einspritzvorgang. Die Schnecke fährt dabei ohne Rotation nach vorne und schiebt so als Kolben die im Schneckenraum dosierte Schmelze durch die Düse ins Werkzeug. Die Düse liegt am Werkzeug an – während dieser Zeit schließt sich die Rückstromsperre. Diese sitzt am Schneckenende und besteht für gewöhnlich aus drei Teilen. Diese Teile sind: die Spitze oder auch Schneckenspitze genannt, der Sperring und der Druckring. Die Rückstromsperre verhindert das Zurückfließen der Kunststoffmasse.³⁴

Während des Einspritzvorgangs bewegt sich die Fließfront mit vorgegebener Geschwindigkeit. Nach der volumetrischen Füllung des Werkzeuges findet eine Verdichtung der Masse statt. Dadurch steigt der Druck der Kavität stark an. Bei Erreichen eines festgelegten Druckniveaus im Werkzeug wird durch ein Weg-Zeit-abhängiges Signal auf einen druckgeführten Restprozess umgeschaltet. Die Umschaltung der Maschine von Einspritzen auf Nachdruck kann auf verschiedene Art erfolgen. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, schneckenwegabhängig, zeitabhängig, hydraulikdruckabhängig oder werkzeuginnendruckabhängig umzuschalten.³⁵ Das Umschalten macht die Nachdruckphase aus und zeigt die Schnecke in vorderster Stellung (siehe Abb. 13).³⁶

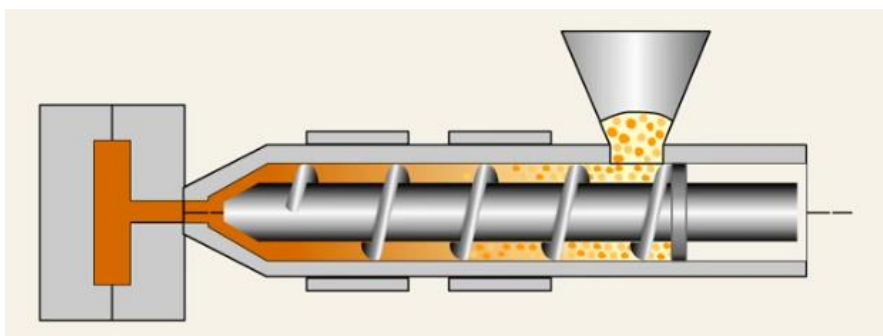


Abb. 13: Einspritz- und Nachdruckphase (Beginn der Kühlung) [12]

³⁴ Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Aufbau & Funktionsweise einer Spritzgießmaschine.

³⁵ Vgl. Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH 2006, Spritzgießen von Thermoplasten S. 25 - 26.

³⁶ Vgl. Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH 2006, Spritzgießen von Thermoplasten S. 16.

Bei der Nachdruckphase wirkt ein reduzierter Druck als Nachdruck noch so lange auf die Schmelze, bis diese sog. „fließfähige / plastische Seele“ im Anguss erstarrt (eingefroren) ist. Während dieser Nachdruckzeit wirkt der Spritzkolben auf das Massepolster, um die Schmelze zum Ausgleich des Volumenschwunds durch die Abkühlung in der Kavität nachzupumpen.³⁷ Das Massepolster bezeichnet in diesem Fall die verbliebene Kunststoffschmelze nach der Einspritzphase, die sich im Schneckenorraum der Plastifiziereinheit befindet.

3.2.3 Abkühlphase

Ein wichtiges Kriterium für eine reproduzierbare Fertigung und Prozesssicherheit ist eine gleichbleibende Temperaturführung aller beteiligten Komponenten. Die Abkühlphase verläuft parallel zum Nachdruckvorgang und wird bis zur Entformung des Formteils fortgesetzt. Zum überwiegenden Teil kann bei diesem Vorgang keine Schmelze mehr in das Werkzeug fließen, weil das Einfrieren des Angusses (Aushärten) erreicht ist.

Wenn die Entformungstemperatur des Formteils erreicht ist, öffnet die Schließeinheit das Werkzeug. Dabei werden die Werkzeughälften getrennt (siehe Abb. 14). Vor dem Öffnen des Werkzeugs wirkt noch eine Restkühlzeit t_{KR} .³⁸ Die Restkühlzeit ist die Zeit zwischen der Nachdruckphase und der Entformung. Anschließend wird das Formteil ausgestoßen. Dabei werden die Auswerfstifte in Bewegung gesetzt. Dieser Mechanismus kann hydraulisch, elektro-mechanisch oder vereinzelt pneumatisch sein. Das Formteil fällt herab und kann manuell entnommen werden.³⁹

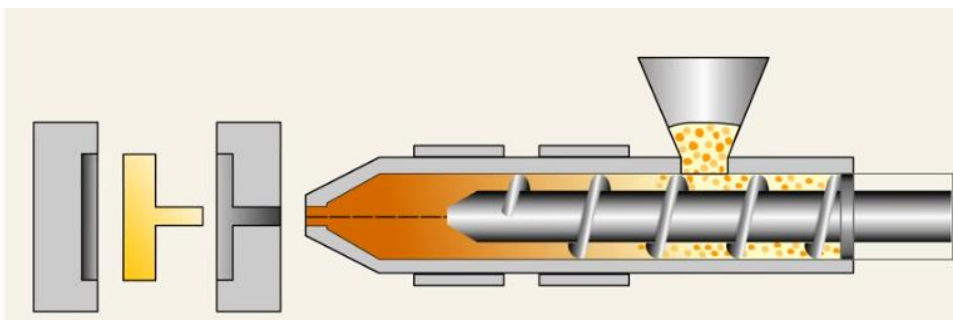


Abb. 14: Abkühlphase und Öffnen des Werkzeuges [13]

³⁷ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen: Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen S. 301.

³⁸ Vgl. Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH 2006, Spritzgießen von Thermoplasten S. 46.

³⁹ Vgl. Maschinenbau-Wissen.de 2009, Beitrag: Aufbau & Funktionsweise einer Spritzgießmaschine.

4 Sonderverfahren des Spritzgießverfahrens

Es gibt beim Spritzgießprozess eine Fülle von Prozessvarianten. Diese können zum Beispiel das Umspritzen von eingelegten Teilen, das Erzeugen von Hohlräumen in Spritzgussteilen oder das Spritzgießen von Schaumteilen sein. Aufbauend auf diese Prozessvarianten entwickelten sich viele „Sonderverfahren“, wie zum Beispiel das Schaumspritzgießen, das Mikrospritzgießen oder auch die Mehrkomponentenspritzgießtechnologie.⁴⁰ Die Komplexität dieser Sonderverfahren nimmt in Gegensatz zum Standardspritzgießen zu. Die Sonderverfahren bieten außerdem die Möglichkeit, Bauteile aus verschiedenen Materialien herzustellen oder zu kombinieren. Ein weiterer Vorteil bietet der geringe Raum- und Platzbedarf den die Maschine beansprucht.⁴¹

4.1 Zwei- und Mehrkomponentenspritzgießen

Man versteht unter Zwei- und Mehrkomponentenspritzgießen das sequenzielle Zusammenbringen mehrerer Schmelzen während des Spritzgießvorgangs in einem Werkzeug. Die Schmelzen können dabei gegeneinander oder ineinander geführt werden. Die erzielten Verbunde können unlösbar auch gegeneinander beweglich sein.⁴²

Dieses Sonderverfahren kann wiederum in Sequenz- und Additionsverfahren unterteilt werden. Welches Verfahren hierbei greift, ist eine Frage der Komponentenzusammenführung. Beim Verbundspritzgießen (Additionsverfahren) werden zwei oder mehr Kunststoffkomponenten nacheinander eingespritzt. Dies verläuft über separate Angüsse in die Kavität. Durch spezielle Werkzeugtechniken wird die erste Komponente nach der Herstellung eines Vorspritzlings in einen zusätzlichen Bereich der Kavität freigegeben. Dort wird die folgende Komponente eingespritzt. Man kann die folgende Komponente anspritzen, wenn der Transport der Vorspritzlinge in einen anderen Werkzeugbereich stattfindet. Es kann auch zu vollständiger und bereichsweiser Überspritzung des Vorspritzlings kommen, wenn zum Beispiel eine weiche Komponente für das Additionsverfahren verwendet wird. Hierfür benutzt man den Begriff „Overmolding“.⁴³

⁴⁰ Vgl. Hans Wobbe 2016, Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens S. 13.

⁴¹ Vgl. Hans Wobbe 2016, Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens S. 14 - 16.

⁴² Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen: Mehrkomponentenspritzgießen S. 505.

⁴³ Vgl. G. Steinbichler 2000, Mehrkomponenten- Spritzgießtechnik 2000 S. 1.

Bei den Sequenzverfahren werden zwei oder mehr Schmelze nacheinander (sequenziell) durch das gleiche Angussystem in die Kavität eingespritzt. Bei diesem Verfahren entstehen Sandwichformteile. Dieser Aufbau setzt sich aus zwei Kunststoffhüllen und einer Kernschicht (aus einer anderen Komponente) zusammen. Aus diesem Grund nennt man das Sequenzverfahren auch „Sandwichspritzgießen“ oder „Coinjektionstechnik“.⁴⁴ Man kann außerdem die Fluidinjektionstechnik unter dem Sequenzverfahren einordnen. Innerhalb dieser Technik wird an Stelle einer zweiten Kunststoffkomponente eine neue Komponente, wie zum Beispiel Gas oder Wasser, injiziert.⁴⁵ Deswegen bezeichnet man diese Techniken auch als Gas-(GIT) oder Wasserinjektionstechnik (WIT). Neben Wasser kann auch Alkohol verwendet werden. Die Kunststoffschmelze gilt dabei als Kernkomponente und wird durch die neue Komponente (wie zum Beispiel Wasser) an die Wand gedrückt. Durch den Druck entsteht ein Hohlraum.

Die Grundfunktionen können sowohl im Mehrkomponentenspritzgießen als auch für das Sandwichspritzgießen verwendet werden. Die genaue Anordnung der Komponenten entscheidet sich durch die Düsen- und Werkzeugtechnik. Zum Beispiel werden Zweifachdüsen für unterschiedliche Mehrkomponentenspritzgießverfahren verwendet (siehe Abb. 15).⁴⁶

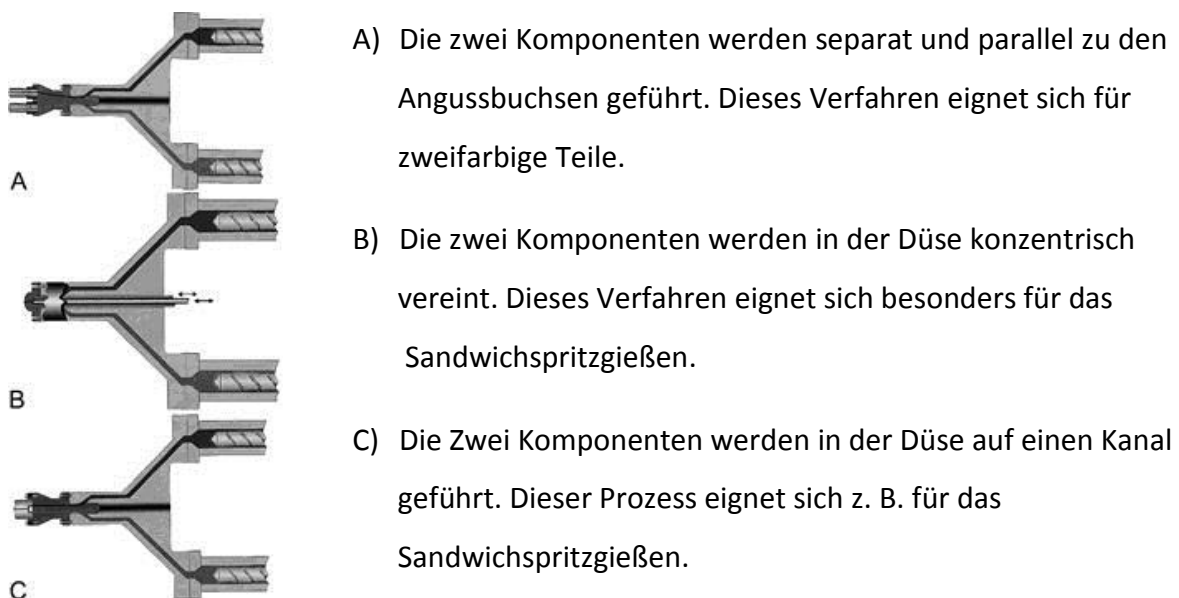


Abb. 15: Zweifachdüsen für unterschiedliche Mehrkomponentenspritzgießverfahren (Bauart Battenfeld) [14]

⁴⁴ Vgl. G. Steinbichler 2000, Mehrkomponenten- Spritzgießtechnik 2000 S. 2-3.

⁴⁵ Vgl. G. Steinbichler 2000, Mehrkomponenten- Spritzgießtechnik 2000 S. 2.

⁴⁶ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen: Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen S. 1026.

4.2 Mikrospritzgießen

Im Mikrospritzgießverfahren erfordern kleine Bauteile ein Höchstmaß an Genauigkeit und Präzision. Im Bereich der Miniaturisierung gibt es viele interessante Entwicklungen. Das Verfahren wird zum Beispiel in der Automobiltechnik, Nanomechanik aber auch in der Medizin- und Biotechnologie angewendet. Zum Beispiel verwendet die Sumitomo Demag (siehe Abb. 16) angepasste Systeme auf Basis der Standardplattform. Das Schussgewicht sollte beim Mikrospritzgießen zielgerichtet verwendet werden. Ein solches Schussgewicht beträgt dabei wenige Gramm und die Abmaße bzw. Toleranzen des Bauteils bewegen sich im Zehntel- bzw. sogar im Hundertstel-Bereich.⁴⁷

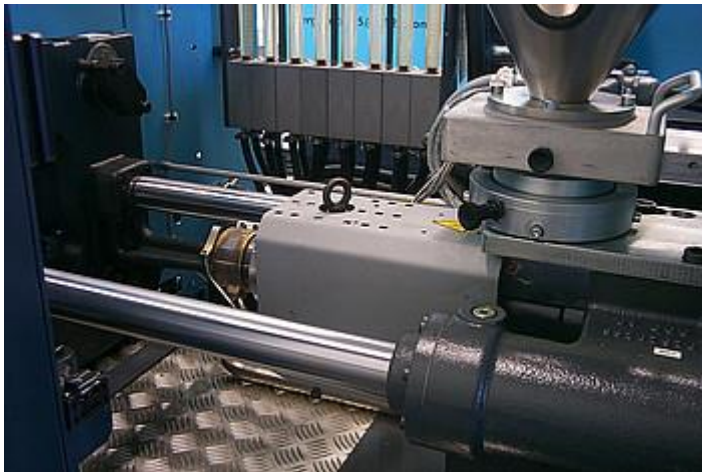


Abb. 16: Mikroeinspritzeinheit auf einer 250kN-Maschine [15]

Die Einsatzgebiete der Technologie sind die Anlagentechnik und der Werkzeugbau. Die Untergrenze stellt der Schneckendurchmesser D (12 bis 14 Millimeter) der Schneckenspritzgießmaschine dar. Es werden für eine reproduzierbare Prozessführung und Prozessbeherrschung Schneckenhübe von $1 D$ bis $3D$ angenommen. Dies steht in Bezug auf den Schneckendurchmesser D . Das realisierbare Schussgewicht bewegt sich im Bereich von $0,1 g$ und mehr. Allerdings sollte man deutlich unter $1 D$ liegen. Wenn ein exaktes, reproduzierbares Schussgewicht bis herunter zu wenigen Milligramm in Serie entstehen soll, muss die Verweilzeit der Schmelze in der Spritzeinheit sowie die Scherbelastung des Materials gering bleiben. Die aufbereitete Schmelze muss thermisch und mechanisch hohe Homogenität aufweisen.⁴⁸

⁴⁷ Vgl. Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH 2018, Beitrag zum Verfahren: Mikrospritzgießen.

⁴⁸ Vgl. Karl-Herbert Ebert/Daniel Ammer/Marc Hoffstetter/Erich Wintermantel 2009, Medizintechnik S. 641.

Zwischen dem Standard- und dem Mikrospritzgießen gibt es keine klare Grenzlinie. Andererseits markieren produktspezifische und technologische Daten den Übergangsbereich der zwei unterschiedlichen Verfahren. Man kann hinsichtlich der herzustellenden Produkte zwischen verschiedenen Arten von Mikroteilen unterscheiden. Man unterscheidet zwischen dem „Singulären Mikroteil, dem Bauteil mit Mikrostrukturen, dem Bauteil mit mikrostrukturierter Oberfläche und dem Mikro-Präzisions-Bauteil (siehe Tabelle 3).⁴⁹



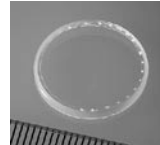

	Singuläres Mikroteil	Bauteil mit Mikrostrukturen	Bauteil mit mikrostrukturierter Oberfläche	Mikro-Präzisions-Bauteil
Beschreibung des Bauteils	sehr klein	makroskopisch, Mikrostrukturen im Sub- mm Bereich	makroskopisch, Oberflächenstrukturen im Sub-mm Bereich	makroskopisch, Bauteil mit Toleranzen im Sub-mm Bereich
Typisches Gewicht	< 0,1g	>> 0,1g	>> 0,1g	>> 0,1g
Typische Abmessungen	Sub-mm bzw. µm Dimensionen und Sub-mm Toleranzen	Mehrere mm bis cm mit Sub-mm bzw. µm Strukturen	Mehrere mm bis cm mit Sub-mm bzw. µm Strukturen	Mehrere mm bis cm mit Sub-µm Toleranzen
Aspektverhältnis (Strukturhöhe zu -breite)	≥ 1	> 1	≤ 1	
Beispiele	Mikrozahnräder, Mikroschalter	Ventilgehäuse	Mikroencoderscheibe, CD, DVD	Kunststoff- Linsen, Glasfaser-Stecker
Beispielbild	 Zahnrad mit Schrägverzahnung	 Dichtkegel eines Präzisionsventils	 Ring mit Innenrippe von 1µm Stärke	 Einkoppelung in Glasfaserlichtleiter

Tabelle 3: Einteilung der Bauteile im Mikrospritzgießen⁵⁰

⁴⁹ Vgl. Karl-Herbert Ebert/Daniel Ammer/Marc Hoffstetter/Erich Wintermantel 2009, Medizintechnik S. 641.

⁵⁰ Vgl. Karl-Herbert Ebert/Daniel Ammer/Marc Hoffstetter/Erich Wintermantel 2009, Medizintechnik S. 641.

4.3 TSG- Verfahren

Die Formteile, die mit dem Thermoplastschaumspritzgießen (TSG) hergestellt werden, besitzen eine kompakte Außenhaut und einen geschäumten Kern. Man kann die porenarme Randzone sowie die geschäumte Kernschicht erkennen (siehe Abb. 17).

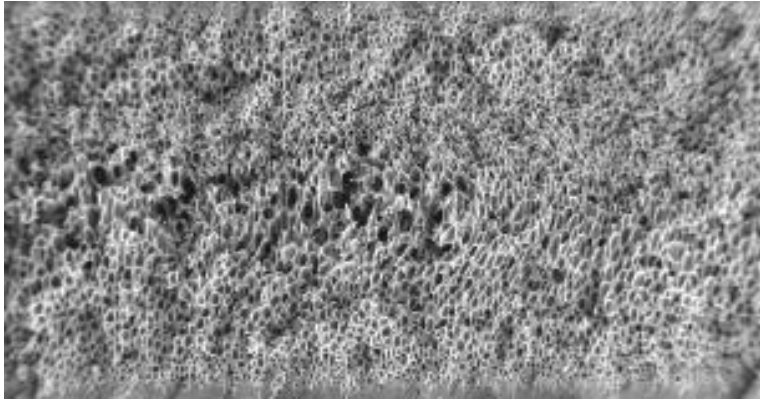


Abb. 17: Gesamtquerschnitt TSG-Verfahren [16]

Das Thermoplastschaumspritzgießen kann physikalisch und chemisch aufgeschäumt werden. Bei den chemischen Schäumen kommt es zur Zugabe von Treibmitteln, die bei den vorherrschenden Verarbeitungstemperaturen gasförmige Stoffe in der Schmelze freisetzen. Hingegen werden beim physikalischen Schäumen komprimierte Gase direkt in die Schmelze gepresst. Wenn das Treibmittel hinzugefügt wurde, wird es in thermische Bestandteile zersetzt und danach gasförmig aufgelöst. Die Bauteile werden durch diese Zugabe mit einem Schaumkern versehen. In Folge dessen können Wanddickenunterschiede ohne große Einfallstellen und Verzug hergestellt werden. Dabei wird eine Gewichtsreduzierung erreicht.⁵¹

Ein Problem ist die relativ raue Oberfläche. Diese resultiert aus den Werkzeugwänden kollabierenden und aufreißen Blasen. Die Oberfläche führt zu Schlieren mit einer Rautiefe von 20 – 100 µm. Früher wurde das typische Erscheinungsbild von TSG-Teilen in der Möbelindustrie gezielt ausgenutzt, da es eine holzartige Optik besaß. Dagegen werden heute die TSG-Teile entsprechend nachgearbeitet, wenn die Struktur der Oberfläche nicht akzeptiert werden kann. D. h. die Teile müssen geschliffen, eventuell gespachtelt und lackiert werden.⁵²

⁵¹ Vgl. THIEME GmbH & Co. KG 2018, Beitrag zu TSG thermoplastischen Schaumguss.

⁵² Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen: Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen S. 477.

Für die TSG-Teile existiert eine Reihe von Anwendungen. Zum Beispiel werden mit diesem Verfahren viele Objekte und Objektbestandteile hergestellt. Diese sind z. B. das Gehäuse (für z. B. Medizingeräte, siehe Abb. 18 rechts), die Behälter, die Paletten (siehe Abb. 18 links), Sportgeräte oder Spezialprodukte (wie Futtertröge und Windkraftmaschinen). Es werden aber auch vermehrt Komponenten für die Automobilindustrie hergestellt.⁵³

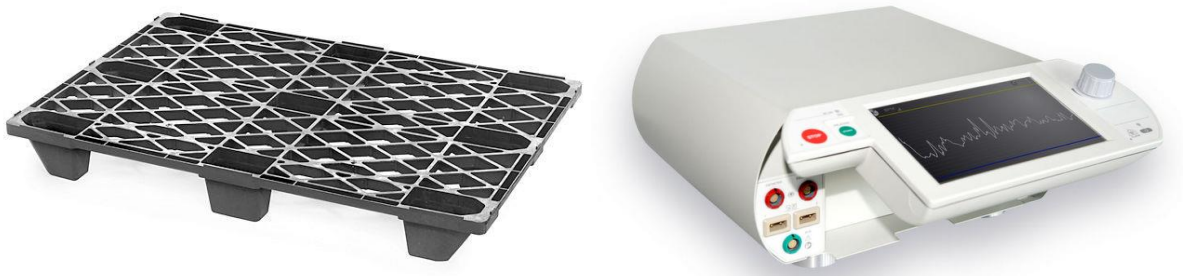


Abb. 18: Produktbeispiele des TSG-Verfahrens [17]

⁵³ Vgl. Johannaber/Michaelis 2002, Handbuch Spritzgießen: Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen S. 477.

5 Erstellung eines Videos über den Spritzgießprozess

5.1 Konzeption

Zielgruppe

Die 3D-Animation soll sich an Anfänger des Bereiches „Spritzgießen“ richten. Diese sind z. B. Quereinsteiger, Kaufleute und QS-Mitarbeiter. Das ist wichtig, damit die Teilnehmer erst einmal ein Überblickswissen zum Spritzgießverfahren erwerben. Des Weiteren soll diese 3D-Animation später in den Bereichen Periphere Technik, Werkzeugtechnik und Sonderverfahren erweitert werden. Das heißt, die Vorlage der 3D-Animation richtet sich auch an fortgeschrittene Teilnehmer, wie z.B. Maschinenbediener oder Ingenieure.

Recherche

Um zielgerichtet arbeiten zu können ist es relevant, effektiv und methodisch vorzugehen. Analysen und Recherchen dienen dem Erarbeiten und Aneignen von nötigem Fachwissen. Die Kenntnisse wurden z. B. durch einen Aufbaukurs, durch Literaturquellen und der Praxisanwendung an den Maschinen erworben. Dabei sollte man den genauen Verfahrensablauf des Spritzgießens (siehe Kapitel Verfahrensablauf) kennen und verschiedene Softwarekenntnisse erarbeiten, um die 3D-Animation exakt darzustellen. Dazu gehören z. B. die Programme:

- *Autodesk Inventor®*,
- *Blender*,
- *Adobe After Effects- und*
- *Adobe Premiere Pro.*

Die Literaturrecherche bestimmt die Qualität der Argumentation. Deswegen sollte darauf geachtet werden, dass die Quellen Relevanz und Aktualität besitzen. Beim Recherchieren wurde mit unterschiedlichen Varianten gearbeitet. Diese Varianten sind: Suchmaschinen, Videotutorials, Bücher, Skripte sowie die praktischen Handhabung an der SGM. Dies kann man auch aus der Abb. 19 entnehmen.

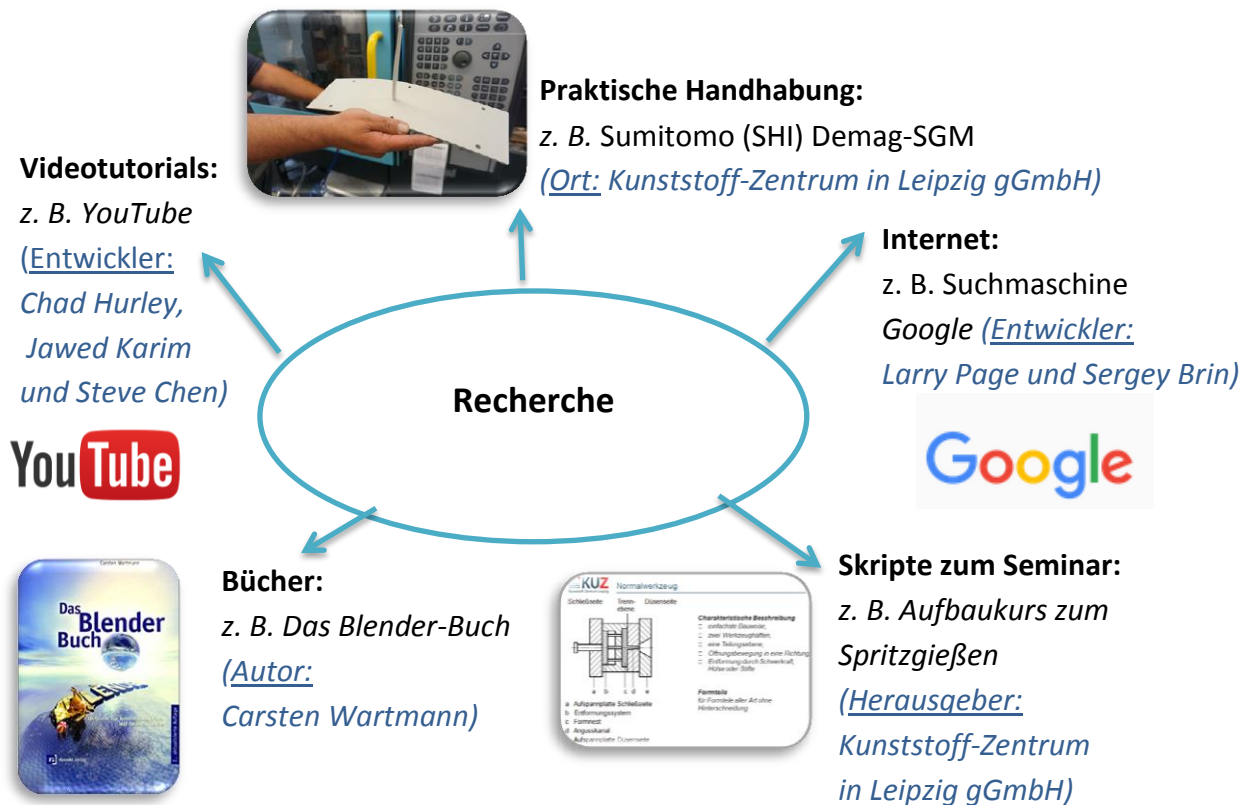


Abb. 19: Recherche und deren Methoden

Um zu Beginn der Recherche einen gewissen Überblick zu bekommen, bietet sich das Internet mit verschiedenen Suchmaschinen an. Einer der bekanntesten Suchmaschinen ist *Google*. Des Weiteren wurden anschließend Bücher und Skripte aus der Bibliothek im KUZ benötigt, um die Recherche fortzuführen. Darüber hinaus kam es zur praktischen Bedienung der *Sumitomo (SHI) Demag-Spritzgießmaschine*. Durch das Maschinentraining wurden die Prozessphasen repräsentiert und das Wissen über das Spritzgießen gefestigt. Um zu überprüfen, wie man die 3D-Animation erstellt, wurden verschiedene Videotutorials im Internetportal *YouTube* gesucht. Die verständlichsten Tutorials wurden genutzt, um die 3D-Animation in verschiedenen Softwareprogrammen zu realisieren.

Blackbox Darstellung

Die *Blackbox-Darstellung* ist für die Bereiche Kybernetik (Steuerung und Regelung) und Systemorientierung sehr bedeutend. Die Funktionen und die realistische Vorhersage des Vorgehens werden mit der *Black Box* bestimmt und dargestellt. Es gibt immer eine Eingangsgröße (Input) und eine Ausgangsgröße (Output). Die Eingangsgrößen sind in diesem Fall die menschliche Arbeit oder die Aufnahmen einer 3D-Animation. Danach sollte man auf Störgrößen achten, wie z. B. Bedienfehler oder Umwelteinflüsse (Lärm in der Animation). Die Restriktionen werden genutzt, um spezielle Software zu verwenden und die vorgegebene Zeit der Praxisarbeit über die 3D-Animation einzuhalten. Zum Schluss soll als Ausgangsgröße eine Video-Datei herauskommen (siehe Abb. 20). Die Abbildung zeigt den aufbauenden Lösungsweg der Erstellung einer 3D-Animation.

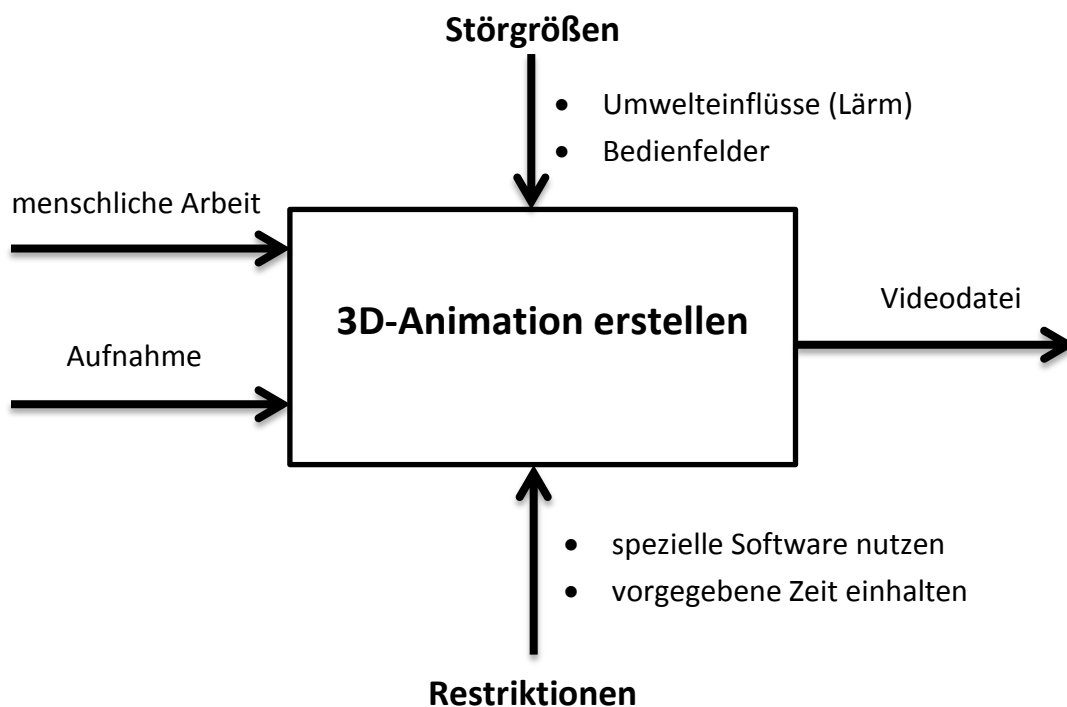


Abb. 20: Blackbox Darstellung der 3D-Animation

Schema

Vorab wurde ein Schema erstellt (siehe Abb. 21), das den Ablauf der Vorgehensweise für die Erstellung der 3D-Animation darstellt und damit auch die wichtigsten Ziele erläutert. Dabei werden explizit die Ziele Konzeption und Planung, 3D-Konstruktion, Animation sowie die Präsentation im Zusammenhang mit dem Spritzgießprozess beschrieben.

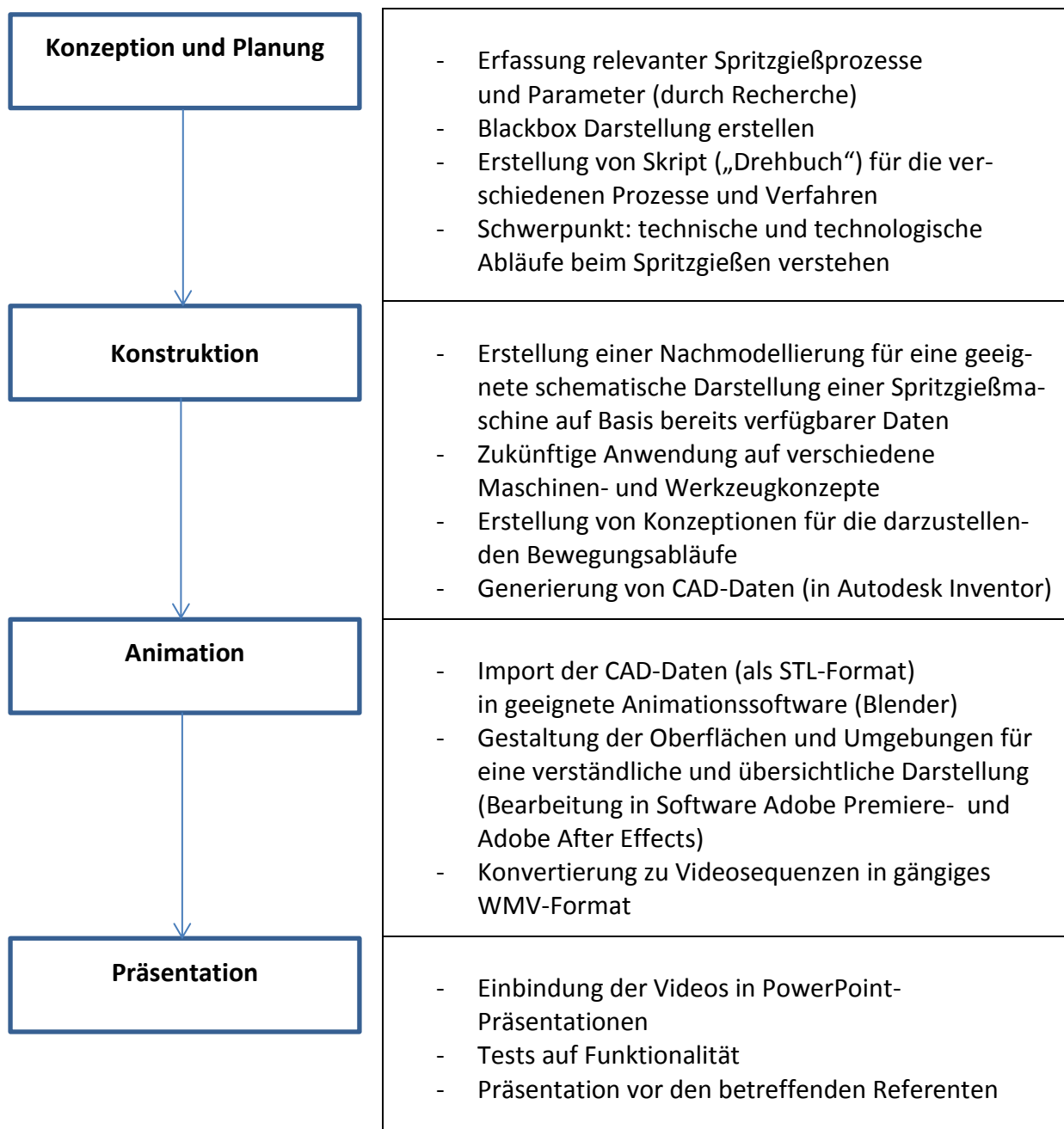


Abb. 21: Schema für den Ablauf der Masterarbeit

5.2 Das Konstruktionsprogramm Autodesk Inventor®

Autodesk Inventor® wurde von Autodesk im Jahre 1999 entwickelt zählt momentan zu den modernsten 3D-CAD-Systemen für den Maschinenbau.⁵⁴ Damals war man der Ansicht, dass im Maschinenbau 2D-Zeichnungen ausreichen. Der Trend hat sich in den letzten Jahren gewandelt und von 3D-Konstruktionen ist heutzutage nicht mehr wegzudenken.

Mit dieser Software werden Volumenmodellierungen sowie 3D-Prototypen erstellt. Es können auch Konstruktionselemente im *Autodesk Inventor*® erzeugt werden. Diese sind zum Beispiel Bohrungen, Rundungen oder Schrägen. Des Weiteren können diese Elemente umdefiniert, gespiegelt oder kopiert werden. Man kann außerdem Einstellung in Bezug auf Parameter vornehmen und Ansichten, Schnitte und Bemaßungen erzeugen. Benutzer können nicht nur 3D-Modelle mit *Autodesk Inventor*® erstellen, sondern auch Produkte entwickeln und visualisieren. Zum Schluss können die Dateien in unterschiedliche Formate abspeichern werden. Diese sind z. B.:

- Bauteildatei (IPT),
- Baugruppendatei (IAM),
- Blechabwicklungsdatei (DWF),
- Inventor-Zeichnung (DWG) sowie
- Präsentationsdatei (IPN).

Dabei kann die Präsentationsdatei (IPN) als Videoformat (VWL, AVI) exportiert werden. Mit dieser Videopräsentation können Prozessbewegungen und Explosionsdarstellungen ausgegeben werden. Ein weiteres wichtiges Ausgabeformat ist die 3D-PDF, die man in erster Linie exportieren muss. Danach kann diese mit unterstützenden (und kostenlosen) PDF-Viewern, wie zum Beispiel *Adobe Acrobat Reader DC* geöffnet werden. Es entstehen dabei hochwertige 3D-Inhalte mit vielen Interaktionsmöglichkeiten.

⁵⁴ Vgl. techopedia 2018, Beitrag: „What is Autodesk Inventor®?“

5.2.1 Möglichkeiten mit Autodesk Inventor®

Bevor man mit der Nachmodellierung in *Autodesk Inventor*® beginnt, müssen gewisse Verhältnisse einer Spritzgießmaschine (und deren Komponenten) logisch aufgebaut werden. Dabei ist es sinnvoll, eine Skizze zu erstellen und sich an einer bereits erbauten Spritzgießmaschine zu orientieren. Die Spritzgießmaschinen sind in diesem Fall die Demag- und Engel-Spritzgießmaschine (siehe Abb. 22).



Abb. 22: Aufbau der Demag- und Engel-Spritzgießmaschine [18]

Nach dem Skizzieren wurden die Grundkomponenten einer Spritzgießmaschine nachmodelliert. Dabei wurden die wichtigsten Komponenten aus einer 2D-Skizze erzeugt und später durch das Extrudieren als Volumenkörper erweitert und ausgegeben. Des Weiteren müssen die Abhängigkeiten mit den Bauteilen verknüpft werden, um die Position der einzelnen Bauteile richtig zu bestimmen. In der Regel werden immer Komponentenflächen für die Abhängigkeiten einer 3D-Skizze ausgewählt, aber es können auch Kurven, Ebenen, Kanten oder Punkte ausgewählt werden, um die Verknüpfung aller Bauteile und Baugruppen optimal darzustellen. In Abb. 23 sind diese Bauteile und Baugruppen als Hauptkomponenten ersichtlich.

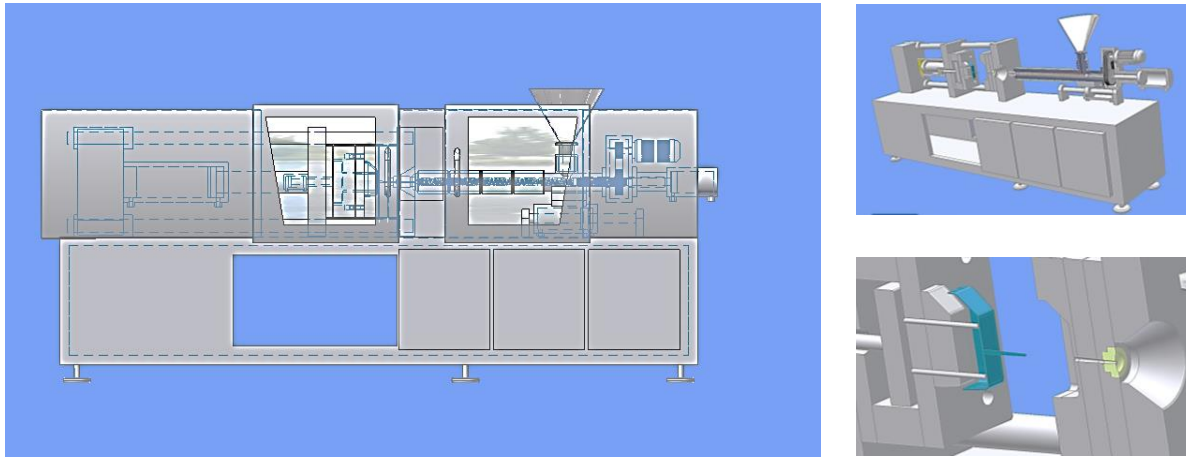


Abb. 23: Hauptkomponenten einer SGM, erstellt mit Autodesk Inventor®

Die fertigerstellten Hauptkomponenten werden aus der Baugruppe heraus zu STL-Dateien konvertiert und gespeichert. Eine erstellte STL-Datei ist im unteren Baugruppenbeispiel (siehe Abb. 24) dargestellt. Wenn die gesamte (nachmodellerte) SGM mit ihren STL-Dateien konvertiert wurde, können sie in Blender importiert und weiterverarbeitet werden. Im Gegensatz zu Inventor deckt Blender sehr viele Bereiche, wie z. B. in der Kameraführung oder im Ausgabeformat ab (siehe Kapitel 5.3.2 Verwendung von Animationsprogrammen).

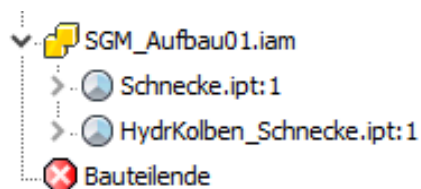


Abb. 24: Konvertierung einer STL-Datei in Autodesk Inventor®

5.3 Erstellung der 3D-Animation

Mithilfe von 3D-Animationen werden komplexe technische und funktionale Zusammenhänge verständlich erläutert. Mittlerweile sind 3D-Daten in der Technischen Dokumentation ein grundlegendes Kriterium. Im Wesentlichen erstellt man aus 3D-Daten:

- animierte Produktfilme (Videos) für Produktpräsentationen aller Arten,
- animierte Produktfilme zur eindeutigen Darstellung der Produktvorteile,
- animierte Produktfilme zur Erklärung von Funktionen, Prozessen und Abläufe sowie
- animierte Montageanleitungen und animierte Bedienungsanleitungen.

Man kann Anlagen fotorealistisch visualisieren und bestimmte Komponenten mit verschiedenen Kameraansichten zeigen. Auch beim Spritzgießprozess können komplexe technische Sachverhalte beim Spritzgießen einfach und ansprechend veranschaulicht werden. Weitere didaktisch gestalterische Elemente für die 3D-Animation sind unterstützende Texte und Bilder. Ein entworfenes Bild wird in Abb. 25 gezeigt. Es stellt ein Kreisdiagramm dar und spezialisiert sich auf den Spritzgießzyklus. Bei dem dargestellten Zyklus wurde sich an den KUZ-RGB-Farbschema orientiert, damit das Corporate Design (gleichartige Gestaltung aller Produkte eines Unternehmens) erkennbar ist.

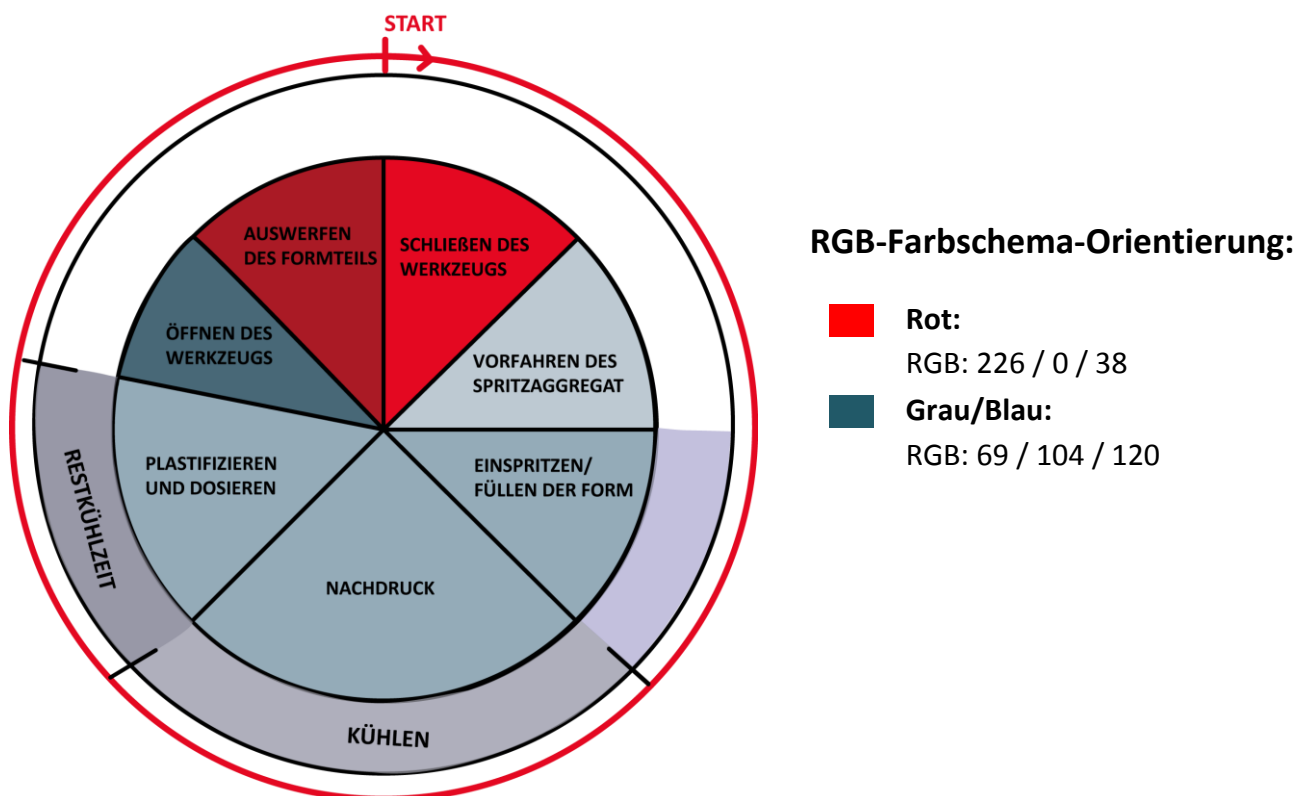


Abb. 25: Das didaktisch gestalterische Element "Spritzgießzyklus" (Orientierung an Abb. 11: Der Spritzgießzyklus [10])

Die Animation befasst sich auch mit Text. Dieser besteht aus Anfangstitel und Abspann. Die nähere Beschreibung eines Bildes wird auch durch einen Text bzw. ein Wort gekennzeichnet. Denn Text und Bild sollte immer möglichst nahe beieinander präsentiert werden. Außerdem werden auch bestimmte Pfeile (z. B. beim Einspritzen des Granulats) dargestellt, damit die Teilnehmer den Prozess noch besser verstehen (siehe z. B. Abb. 26).

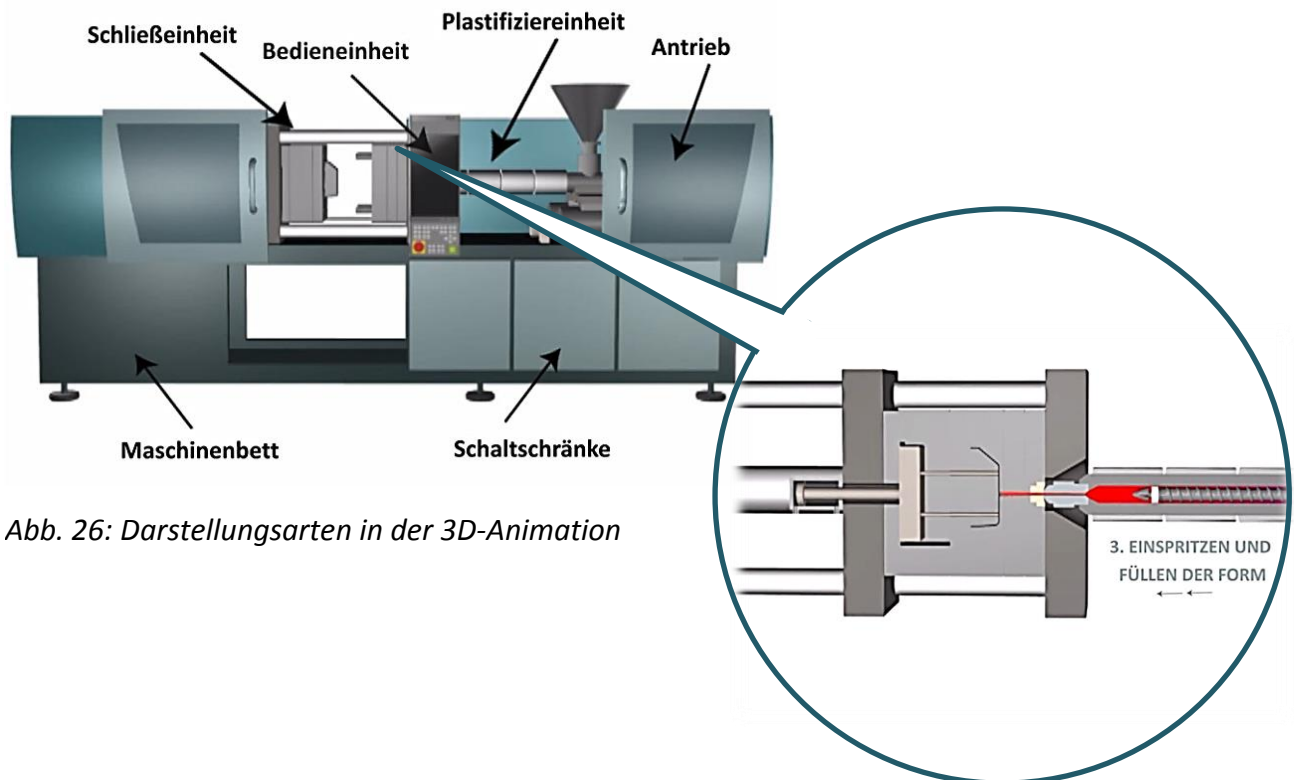


Abb. 26: Darstellungsarten in der 3D-Animation

Es gibt viele Softwareprogramme, mit denen man eine solche 3D-Animation erstellen kann. Neben dem Softwareprogramm „Blender“ werden auch immer wieder Programme hervorgehoben, wie „Unity 3D“, „Autodesk Maya“ und „Amabilis 3D Crafter“.⁵⁵ Des Weiteren werden zur Verarbeitung von Animationen weitere Programme verwendet, wie zum Beispiel After Effects und Premiere Pro. Diese kann man auch beim dargestellten Schema betrachten (siehe Abb. 27).

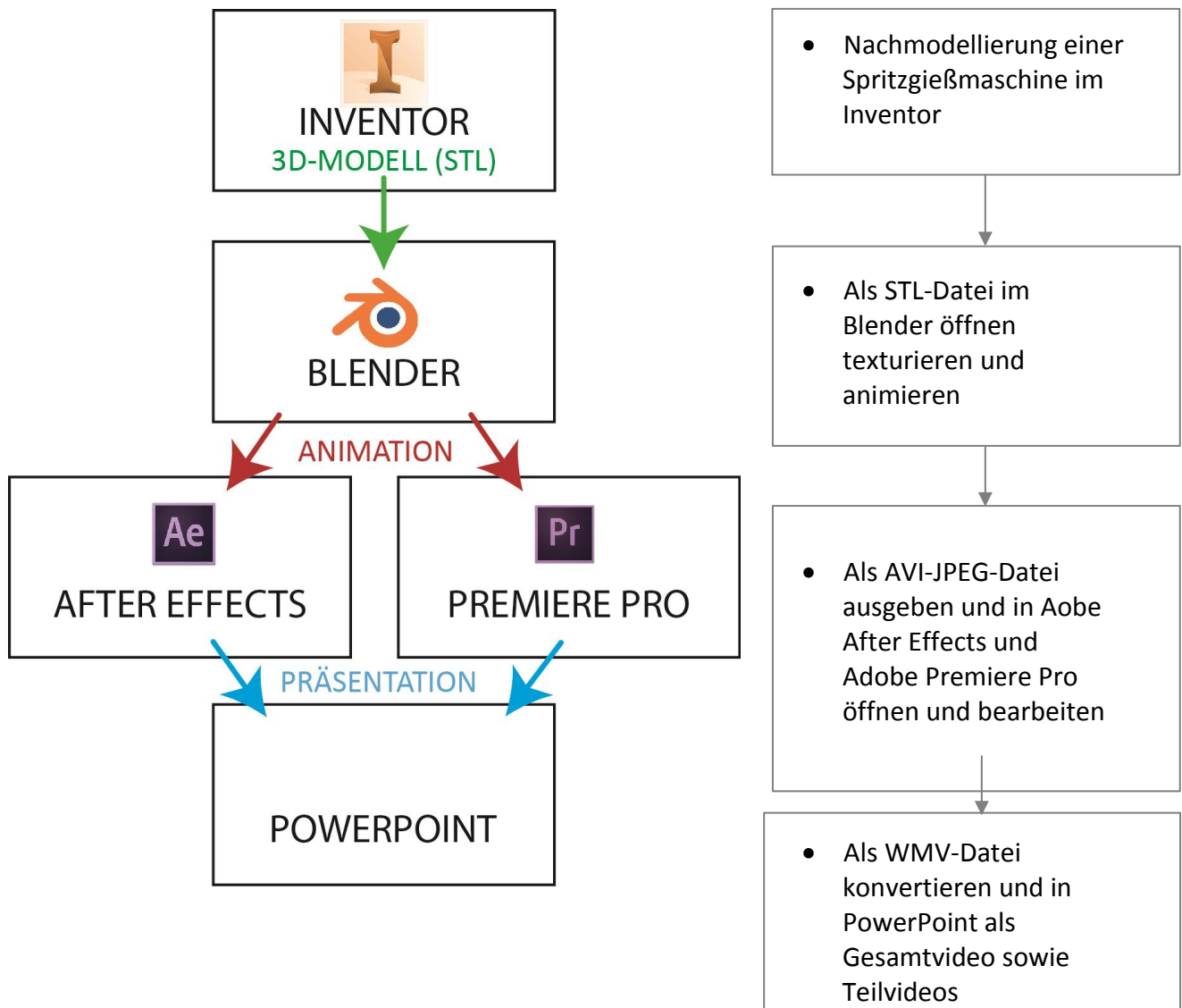


Abb. 27: Vorgehensweise zur Erstellung einer 3D-Animation

⁵⁵ Vgl. Markus Seiler 2017, Blogbeitrag: 10 kostenlose Animationsprogramme zur Erstellung der 2D/3D Animation.

5.3.1 Entwicklung eines Drehbuches zum Spritzgießzyklus

Das Drehbuch liefert genaue Angaben der Einzelaufnahmen in Form von Text für einen Film. Außerdem beschreibt ein Drehbuch im technischen Bereich Prozesse in Form von Bildern und erläutert diese in äußeren Details. Der Leser sieht genau, was die Kamera sieht. Alle Drehbücher besitzen eine geradlinige Struktur. Man bezeichnet diese Struktur als „Paradigma“. Ein Drehbuch ist aus Szenen und Sequenzen zusammengesetzt. Dabei gilt die Sequenz als wichtigstes Element eines Drehbuchs. Die Sequenz ist eine Serie von Szenen, die durch eine einzige Idee zusammengehalten wird.⁵⁶

Das Drehbuch für die Darstellung eines Spritzgießprozesses beschäftigt sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich mit den realisierten Verfahrensschritten einer hydraulisch angetriebenen Spritzgießmaschine. Diese Verfahrensschritte werden aus wiederholenden Kapiteln bzw. Sequenzen realisiert, sodass unterschiedliche Videos erstellt werden. Zunächst wurde ein Gesamtvideo des Spritzgießzyklus erstellt. Später folgten zwei weitere Videos über die realisierten Verfahrensschritte. Diese Schritte sind das Schließen des Werkzeugs und das Einspritzen sowie der Nachdruck. Die Konzeptionierung und der Ablauf der 3D-Animation sind in Tabelle 4 festgehalten.

⁵⁶ Vgl. Mandy Jura 2018, Beitrag: Das Drehbuch in der Theorie.

Nr.	Kapitel/ Sequenz	Aktion	Bemerkung	Gesamtzeit* (Sekunden)
1	Video mit Titel beginnen	1a) Logo einblenden / ausblenden	Einbinden der EPS-Datei: <i>KUZ_Logo_RGB</i> (Umsetzung mit After Effects, Premiere)	16
		1b) Text des Prozesses sowie Hintergrund einblenden / ausblenden	Text: „Der Spritzgießprozess Die Herstellung eines Formteils aus Kunststoff“(Umsetzung mit After Effects, Premiere)	
2a)	Komplette SGM	2a) a) Einblenden und Kamera- fahrt	Richtung: von links nach rechts, (Umsetzung mit Blender)	15
		2a) b) Standbild der SGM	Die Spritzgießmaschine auf einen Blick zeigen (Umsetzung Blender)	
		2a) c) kurzer Aufbau der Hauptkomponenten	Text integrieren (Umsetzung After Effects)	
2b)	Schutztüren	2b) a) mittlere Schutztüren öffnen sich	Von rechts nach links öffnen in der Vorderansicht (Umsetzung mit Blender)	
		2b) b) rechte Schutztür öffnet sich	Von links nach rechts öffnen in der Vorderansicht (Umsetzung mit Blender)	
3	Komplette SGM mit offenen Türen	3a) Standbild der SGM	Die Spritzgießmaschine auf einem Blick zeigen ca. 2 Sekunden (Umsetzung mit Blender)	16
		3b) Ausblenden des Gestells und der Schutzvorrichtungen	in Abhängigkeit zum Prozess (Umsetzung mit Blender)	
		3c) Reinzoomen	Fokus liegt dabei auf Plastifizier- und Schließeinheit (Umsetzung mit Blender)	
		3d) Ausblenden der Werkzeug- hälfte / Plastifiziereinheit	(Umsetzung mit Blender)	
		3e) Standbild: 1. Plastifiziereinheit 2. Schließeinheit	Die Plastifizier- oder Schließeinheit auf einen Blick (Umsetzung Blender)	

4	Spritzgießprozess abspielen	4a) Verfahrensschritte abspielen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Schließen des Werkzeugs 2. Vorfahren des Spritzaggregats 3. Einspritzen / Füllen des WZs 4. Nachdruck 5. Plastifizieren und Dosieren (sowie Abkühlen des Formteils) 6. Öffnen des Werkzeugs 7. Auswerfen des Formteils Spezialisierung auf realisierte Verfahrensschritte: siehe Tabelle 5: <i>Drehbuch über realisierte Verfahrensschritte des Spritzgießens</i> (Umsetzung Blender)	44
		4b) zusätzliche Informationen hinzufügen	Text integrieren / Diagramme einbinden (Umsetzung After Effects)	
5	Komplette SGM	5a) Ausblenden der zusätzlichen Informationen	Deckkraft auf 0% stellen (Umsetzung After Effects)	29
		5b) Rauszoomen	Rauszoomen aus der Plastifiziereinheit / (Umsetzung mit Blender)	
		5c) Einblenden der gesamten Spritzgießmaschine	Dabei wird die Position nicht verändert (Umsetzung in Blender)	
		5d) Alle Türen schließen	Schließen von der Mitte nach Außen (Umsetzung mit Blender)	
6	Video mit Abspann	6a) schwarzen Hintergrund einblenden / kurzes Einblenden des Spritzgießzyklus	Für Abspann schwarzen Hintergrund auf Deckkraft 100% stellen	24
		6b) Einblenden und Ausblenden des Textes	Text (Eine Animation erstellt von...) (Umsetzung After Effects / Premiere)	

* Gesamtlänge: 2,26 Minuten

Tabelle 4: Konzeptionierung der 3D-Animation

Zu Beginn wird das Video mit dem Titel eingeblendet und zeigt unter anderem das KUZ-Logo. Nun werden der Titel und das Logo ausgeblendet und eine Spritzgießmaschine wird im Video ergänzt. Dabei findet eine Kamerafahrt von links nach rechts statt. Als Nächstes werden die Türen der Maschine geöffnet. Nachdem die Türen geöffnet wurden, ermöglicht das Zoomen einen näheren Einblick in die Maschine. In diesem Moment werden das Gestell, die Schutzvorrichtung und die Bedieneinheit ausgeblendet und die Plastifizier- und Spritzeinheit hervorgehoben. Des Weiteren werden die Phasen des Spritzgießzyklus abgespielt. In diesem

Augenblick werden zusätzliche Informationen mit Text und Bildern eingeblendet. Dazu findet man ein Beispiel im Kapitel 5.3 Erstellung der 3D-Animation.

Dabei wird der Prozess an einigen Stellen um 30% verlangsamt, damit der Zusammenhang Bild und Text optimal wirkt. Danach wird aus der Spritzgießmaschine wieder rausgezoomt und das Gestell, die Schutzvorrichtung und die Bedieneinheit werden wieder eingeblendet. Die Türen der Schutzvorrichtung werden geschlossen und der Gesamtspritzgießzyklus wird nochmal gezeigt. Zum Schluss werden die Namen im Abspann erwähnt, die an der 3D-Animation mitgewirkt haben. Dieser Abspann-Text wird zum Schluss ausgeblendet.

Das Video bringt auch Überblendungen und Videozuschnitte mit sich, die hauptsächlich mit der Software Premiere Pro erfolgen. Das Video zeigt den zunächst den gesamten Standardspritzgießprozess. Später folgten zwei weitere Animationen der realisierten Verfahrensschritte. Wenn diese Verfahrensschritte vervollständigt sind, wird in anderen Bereichen erweitert. Diese Bereiche sind zum Beispiel:

- die Peripherie (Trockner, Linearhandling, etc.),
- die Werkzeugtechnik (Schließmechanismus, etc.) sowie
- die Sonderverfahren (Mehrkomponentenspritzgießen, Mikrospritzgießen, etc.).

Im Augenblick liegt der Fokus allerdings auf dem Verfahrensablauf des Spritzgießens und den damit verbundenen Teilschritten. In der 3D-Animation werden die unterschiedlichen Spritzgießphasen (als Szenen) gezeigt. Außerdem werden die jeweiligen Phasen des Spritzgießzyklus als zusätzliche Informationen eingeblendet. Zum Schluss folgen weitere Animationen über die Teilschritte des Spritzgießens. Dabei werden Formeln, Kräfte oder Maschinenbeschreibungen dargestellt. Diese können aus dem Drehbuch der realisierten Verfahrensschritte entnommen werden (siehe Tabelle 5: Drehbuch über realisierte Verfahrensschritte des Spritzgießens). Dabei ist ersichtlich, dass das Schließen des Werkzeugs und das Einspritzen bereits als Animation umgesetzt wurden.

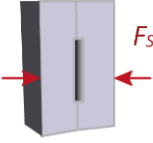
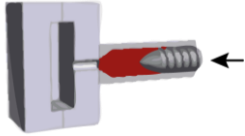
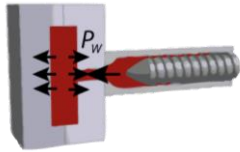
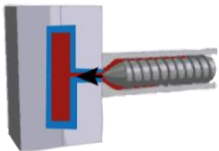
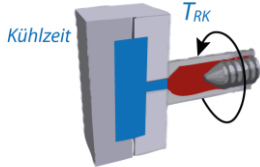
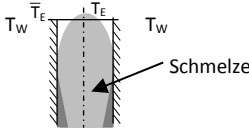
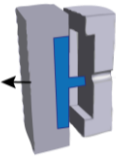
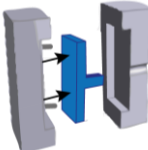
Einzelne Phasen des Spritzgießzyklus	Bild	Zusätzliche Informationen
1. Schließen des Werkzeugs <i>(50 Sekunden mit Titel und Abspann)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Geschwindigkeitsprofil beim WZ-Schließen - Werkzeugsicherung - Schließkraftaufbau
2. Bewegung des Spritzaggregats <i>(wird noch umgesetzt)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Heizelemente anzeigen - Bewegung des Spritzaggregats
3. Einspritzen/ Füllen des Werkzeugs <i>(23 Sekunden mit Titel)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Rückstromsperre - Spritzdruck - Einspritzgeschwindigkeit - Werkzeuginnendruck
4. Nachdruck <i>(27 Sekunden mit Abspann)</i>	<p style="text-align: center;"><i>Zusammengefasst 50 Sekunden</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückstromsperre - Umschaltpunkt - Nachdruckhöhe - Nachdruckzeit/Siegelpunkt
5. Plastifizieren und Dosieren (und Kühlen) <i>(wird noch umgesetzt)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur der Masse - Rückstromsperre - Schneckendrehzahl - Staudruck - Dekompression - Kühlzeit - Abfahren des Spritzaggregats
6. Abkühlen des Formteils <i>(wird noch umgesetzt)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Kerntemperatur, Randtemperatur und Kühlzeitformel
7. Öffnen des Werkzeugs <i>(wird noch umgesetzt)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Geschwindigkeitsprofil beim WZ-Öffnen
8. Auswerfen des Formteils <i>(wird noch umgesetzt)</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Entformungskräfte - Bewegung der Auswerfstifte (Pfeile)

Tabelle 5: Drehbuch über realisierte Verfahrensschritte des Spritzgießens

5.3.2 Verwendung von Animationsprogrammen

Blender

Blender ist eine kostenlose Open Source Software. Mit dieser können 3D-Animationen oder 3D-Modelle gestaltet werden. Blender bietet einen enormen Funktionsumfang. Dieser Funktionsumfang ist für Profis wie auch für Einsteiger geeignet. Die kostenlose Freeware erspart hohe Kosten, welche für andere Tools anfallen würde. Die Software lässt sich für die Erstellung von Videos, Bildern oder Computerspielen einsetzen. Das Programm besitzt außerdem eine modulare Benutzeroberfläche, d.h. die Anwender können Funktionen, Werkzeuge und Features ganz nach eigenem Geschmack zusammenstellen. Blender bietet unterschiedlichste Funktionen an, wie zum Beispiel:

- Objekt- und Figuren-Sculpting,
- Modellierung und Skript-Unterstützung,
- Bewegungsmöglichkeiten von Figuren,
- Animation mit Sound-Synchronisierung und
- automatisch oder individuell definierten Bewegungen.⁵⁷

Diese Funktionen werden durch komplexe Partikel-Simulationen, einer kompletten Spiel-Engine sowie durch ein Videoschnitt- und Effekte-Tool ergänzt.⁵⁸

⁵⁷ Vgl. heise.de 2014, Blogbeitrag: Blender.

⁵⁸ Vgl. Carsten Wartmann 2000, Das Blender Buch S. 43 - 44.

Adobe After Effects

Adobe After Effects basiert auf der Programmiersprache C++ und ist auf den Betriebssystemen Microsoft Windows und Mac OS verfügbar. Das Programm wurde ursprünglich von der Firma für Wissenschaft und Kunst in Providence (Rhode Island) erstellt und existiert seit 25 Jahren. Im Juli 1993 wurde CoSA zusammen mit After Effects von der Aldus Coporation übernommen. Im Jahre 1994 entschloss Adobe die Software After Effects abzukaufen. Die erste Version von Adobe hieß „Adobe After Effects“ und war die Version 3.0.

Adobe After Effects ist eine Compositing- und Animationssoftware des Herstellers Adobe Systems. Mit dieser Software lassen sich Filmaufnahmen mit Bildern und Effekten zusammenfügen. After Effects ist in seiner Benutzeroberfläche und seinen Features sehr stark an Adobe Photoshop angelehnt. Das Programm besitzt auch eine Zeitleiste sowie bestimmte Parameter, die durch Schlüsselbilder (Keyframes) animiert werden können. Das heißt, dass Adobe After Effects sich hauptsächlich für Film- und Fernseh-Produktionen eignet. Man kann Motion-Design-Clips kreieren, wie z. B. Intros für TV- Sendungen, Typo- Animationen oder Bumper (Trenner). Die Visual Effects werden heutzutage als digitale Effekte in Filmen bezeichnet. Sie werden von der Postproduktion realisiert und grenzen sich stark von den Spezialeffekten ab, denn diese werden schon während des Filmdrehs am Set umgesetzt.⁵⁹ After Effects erlaubt die Kombination mit anderen 3D-Programmen, wie zum Beispiel 3D Studio Max, Maya, Blender oder Cinema 4D. Man hat ab Version 9 die Möglichkeit, 3D-Objekte aus Photoshop zu importieren (siehe Abb. 28). Diese Objekte können dann beliebig in After Effects bearbeitet werden. Das Programm besitzt mehrere Funktionen. Diese sind das Erstellen von animierten Clips in einen zwei- oder dreidimensionalen Raum und das Manipulieren von Videos durch Masken sowie Effekte.

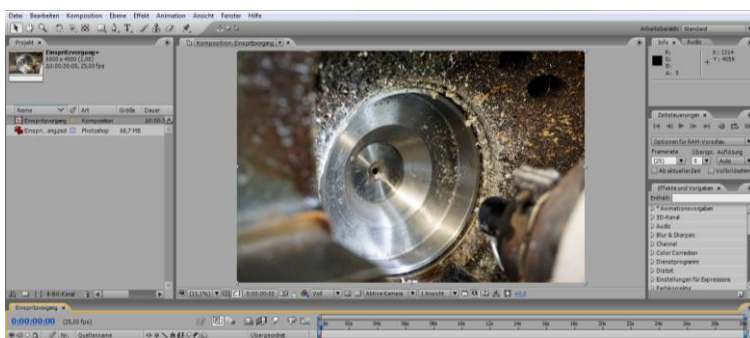


Abb. 28: Import einer PSD-Datei in After Effects

⁵⁹ Vgl. Tim Kurkoski 2016, Artikel: what's new and changed in the After Effects CC 2015 (13.7) update.

Adobe Premiere

Adobe Premiere ist eine Audio- und Video-Anwendung der Adobe Creative Cloud. Premiere Pro wurde mit der Version 10 (CS4) für ein 64-Bit System optimiert. Mittlerweile bietet die Software Unterstützung für Betriebssysteme Windows und Mac an.⁶⁰ Adobe Premiere Pro unterstützt eine Reihe gängiger Formate wie z. B. DV, HDV, Sony XDCAM, XDCAM EX, Panasonic P2 und AVCHD. Außerdem lassen sich unkomprimierte Daten von SD- und HD-Karten von Drittanbietern wie AJA, Blackmagic Design und Matrox importieren.

Seit der Version 9 gibt es das Feature gesprochene Dialoge des Videos in Textdaten umzuwandeln. Es ist somit möglich anhand des Filmskripts die Clips zu schneiden, indem man einfach Schlüsselwörter angibt, die im Dialogfenster auftauchen müssen. Eine besondere Stärke von Adobe Premiere Pro ist die Integration mit anderen hoch angesehenen Programmen der Adobe Creative Cloud. Diese sind z. B. Adobe Photoshop, Adobe Illustrator und Adobe After Effects. Die Programme können natürlich auch unabhängig von Premiere Pro genutzt werden, allerdings wurde die Integration von Adobe so in das Interface gebaut, dass die Nutzung der Softwarekombinationen stark verbessert wird.⁶¹ Man kann außerdem mit vielen speziellen Effekten der Software „Premiere Pro“ arbeiten, um z. B. den Übergang von Videospur zu Videospur noch interessanter zu gestalten (siehe Abb. 29). Dies gelingt z. B. durch Befehle wie „Bewegung“, „Deckkraft“ und „Zeit-Neuzuordnung“. Adobe Premiere Pro bietet eine große Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten des Videoschnitts.

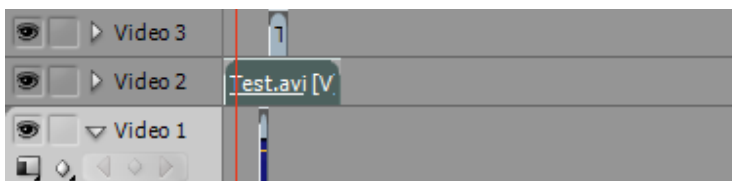


Abb. 29: Aufteilung Videospuren im Adobe Premiere Pro

⁶⁰ Vgl. cinefreaks.com 2013, Adobe Premiere Pro.

⁶¹ Vgl. cinefreaks.com 2013, Adobe Premiere Pro.

5.3.3 Möglichkeiten der 3D Animation mit Blender

Zunächst wurden die Möglichkeiten der Software untersucht. Danach wurde die in *Autodesk Inventor* generierte STL-Datei importiert und um den Faktor 10 verkleinert. Des Weiteren mussten die Bauteile und Baugruppen entsprechend rotiert werden, um eine Anpassung der Komponenten für die Animation zu bilden. Im Anschluss wurden einzelne Bauteile oder Bauteilgruppen sortiert und auf bestimmte Layer verteilt (siehe Abb. 30).



Abb. 30: Das Layersystem im Softwareprogramm Blender

Die deaktivierten (grauen) Layer enthalten keine Objekte, die berechnet oder dargestellt werden können. Man kann eine Mehrfachauswahl ermöglichen. Die Einteilung der Layer sieht wie folgt aus:

- Kamera und Belichtung,
- Bewegungsrichtungen der Bauteile/Baugruppen (Empty, Bones, etc.),
- Plastifiziereinheit (im Schnitt 2x),
- Schließereinheit (im Schnitt 2x) und
- Gestell.

Wenn diese Einteilung erfolgt ist, kann man über den *MaterialButtons* oder den *TextureButtons* eine geeignete Oberflächenstruktur bei jedem Objekt erzeugen. Der Einfülltrichter der Spritzgießmaschine besteht zum Beispiel aus einem Material und einer Textur, die den Werkstoff – Stahl darstellt. Danach wird das Material bestimmt und eine passende Textur als *Image* ausgewählt und eingefügt. Zum Schluss wird die Textur bzw. das Material dem jeweiligen Objekt oder ausgewählten Teilflächen zugewiesen (siehe Abb. 31). Für das Granulat und das Terminal wurden zusätzliche Texturen kreiert.

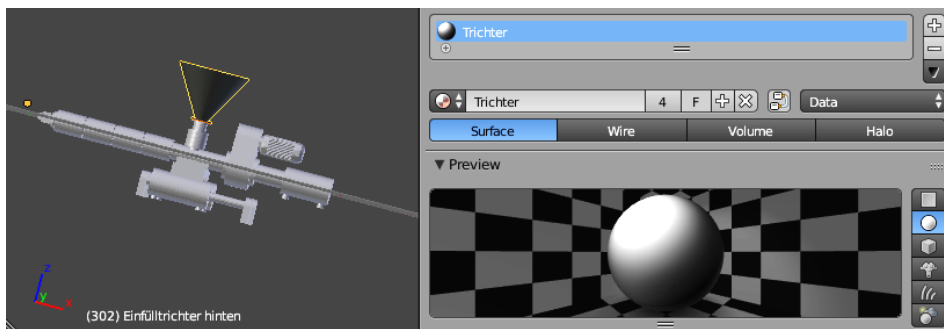


Abb. 31: Erstellung eines Materials für den Einfülltrichter in Blender

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, Objekte in einer Animation zu bewegen. Diese Animation entsteht durch sogenannte *Empties*. Ein *Empty* ist ein übergeordnetes Element von Objekten. Die Eigenschaften eines *Empties* (*Bewegung, Rotation*) kann außerdem an eine beliebige Anzahl anderer Objekte weitergegeben werden. Es besitzt kein Volumen, deswegen kann es auch nicht gerendert werden. Dennoch gibt es dem Benutzer die Möglichkeit, eine Gruppe von Objekten leicht zu steuern, ohne dass das Rendern beeinflusst wird.⁶²

Es besteht außerdem die Möglichkeit, dabei eine spezielle Gruppierung vorzunehmen. In diesem Zusammenhang wird ein Objekt übergeordnet. Dieses Objekt wird als „*Parenting*“ bezeichnet. Das *Parent-Objekt* kann Drehungen und Bewegungen anderer Objekte beeinflussen (siehe Abb. 32). Die Beziehung der Objekte wird durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet.

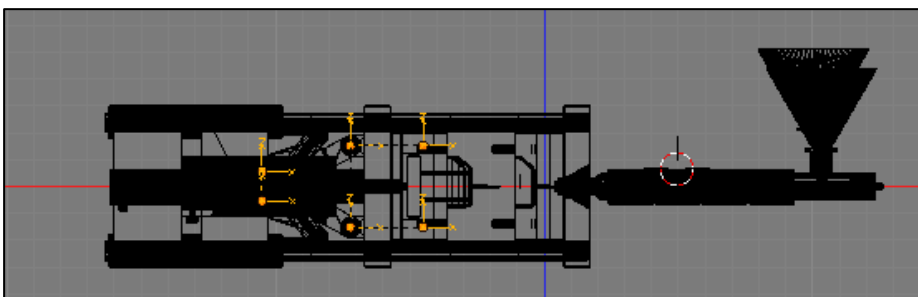


Abb. 32: Empty (Arrows) als Parent-Object

Die Animation kann zum Schluss in einem 3D-Fenster abgespielt und beliebig mit *Keyframes* und dem *Graph Editor* bearbeitet werden. Die *Keyframes* sind Punkte einer Animation, die bestimmte Zustände einer Animation kennzeichnen.

⁶² Vgl. Blender Documentation 2018, Dokumentation: Empties.

Diese sind zum Beispiel die Position, die Rotation, die Farbe oder die Skalierung. Für eine *Keyframeanimation* sind mindestens zwei Keyframes nötig.⁶³ Hingegen ermöglicht der *Graph Editor* die Steuerung der Hauptanimation. Man kann die Eigenschaften wie z. B. *Location* ändern. Dabei werden diese Eigenschaften neu berechnet und Zwischenwerten gespeichert. Außerdem werden einige *Keyframes* definiert, die mehrere Frames voneinander entfernt sind. Zwischen diesen *Keyframes* werden ebenfalls die Werte der Eigenschaften von Blender berechnet (interpoliert). Dadurch reduziert sich die Arbeitsbelastung der Animation erheblich.

Des Weiteren wurde mit einer Punktanimation gearbeitet. Diese kommt bei der Einspritz- und Nachdruckphase zum Einsatz, da sich der Schmelzefluss im Werkzeug als solcher ändert. Dieser wird in der Software *Blender* als Fläche dargestellt, deren Form sich während der Animation verändert. Um die Animation zu betrachten und abzuspielen, ist es relevant, dass man sich im *Object Mode* befindet. Dies gilt auch für Farbanimationen. Zum Beispiel wurde die Schmelze mit der Farbe Rot (siehe Abb. 33) gekennzeichnet und animiert. Der Abkühlprozess wird durch einen Übergang zur Farbe Blau dargestellt (Farbanimation).

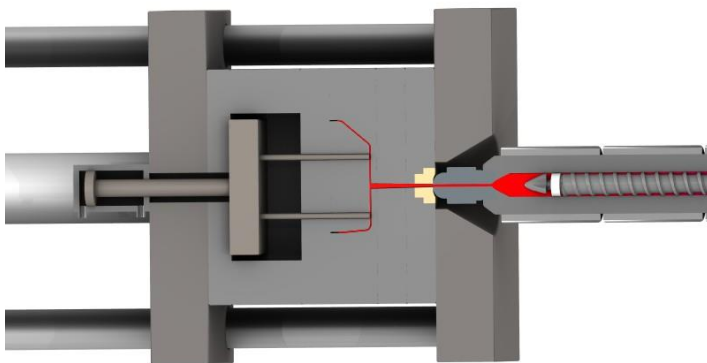


Abb. 33: Die Animation der Schmelze in Blender

⁶³ Vgl. Carsten Wartmann 2000, Das Blender Buch: Glossar S.289.

Zum Schluss wurde ein Video gerendert. Dabei sind vier Faktoren wichtig, auf die der Benutzer achten und eingehen muss: die Kameraeinstellung, die Einstellung der Beleuchtung für die Szene, das Material des Objektes und die Rendereinstellung (der Qualität, Bildgröße, Ebenen, etc.). Zunächst wird ein Testbild mit niedrigeren Qualitätseinstellungen gerendert, um zu sehen ob die Faktoren eingehalten wurden. Dabei wird der Vorgang solange wiederholt, bis man mit dem Ergebnis (und deren Einstellungen) zufrieden ist. Für die Kamerabewegung wurde ein *3D-Tracking* eingesetzt. Anhand der 3D-Kamerabewegung können die 3D-Objekte mit ihrer Animation aufgenommen werden. Danach wird ein qualitativ hochwertiges Bild gerendert und gespeichert (siehe Abb. 34). Die Datei kann jetzt als Animation bzw. Video gerendert werden. Die Ausgabe einer Videodatei wird als Ausgabeformat AVI JPEG gespeichert und z. B. mit einem Online Converter (z. B. Convertio) als WMV konvertiert.



Abb. 34: Einzelbild einer Videosequenz in Blender

5.3.4 Möglichkeiten der 3D Animation mit After Effects

Zunächst wurde in *Adobe After Effects* ein neues Projekt angelegt. Danach folgte das Anlegen einer neuen Komposition mit einem Kompositionsnamen, wie zum Beispiel *Titel*. Dabei müssen die Kompositionseinstellungen geändert werden. Zum Beispiel beträgt die Komposition 0:00:16:00 (16 Sekunden). Danach werden die einzelnen Ebenen importiert. In diesem Fall ist das zum Beispiel die Ebene: *KUZ_Logo*. Der *Animationshintergrund* und der *Text* (Der Spritzgießprozess etc.) werden separat im Programm platziert. Mit „Drag and Drop“ werden die importierten und eingefügten Dateien in die Kompositionsebene verschoben. Nun wurden einzelne Ebenen so angeordnet, dass die Animation wie gewünscht ersichtlich ist. Das heißt, dass z. B. der *Text* und das *KUZ_Logo* übergeordnet zum *Hintergrund* sind (siehe Abb. 35).

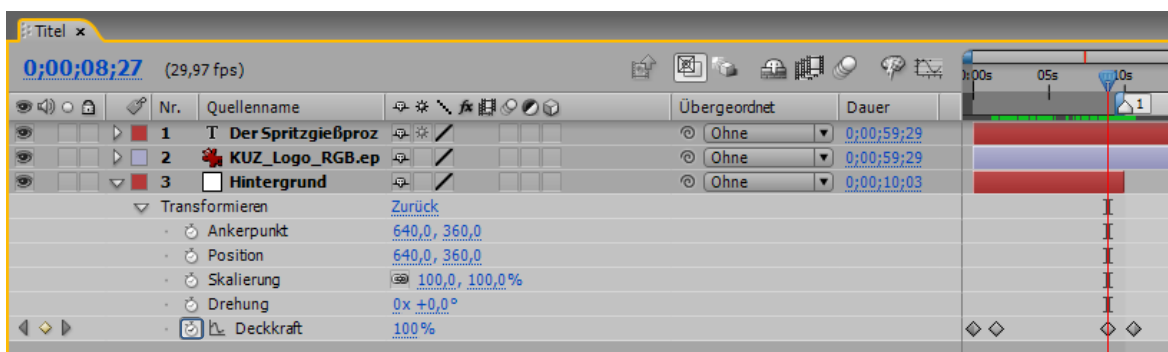


Abb. 35: Anordnung der Ebenen in Adobe After Effects

Danach wurden eine oder mehrere Eigenschaften einer Ebene über einen bestimmten Zeitraum hinweg geändert. Zum Beispiel wurde die Eigenschaft *Deckkraft* einer Ebene von 0% zum Zeitpunkt Null auf 100% zum Zeitpunkt 1 Sekunde animiert. Eine Ebene oder ein Effekt kann auf einer Ebene animiert werden, indem man eine oder mehrere Eigenschaften dieser Ebene über einen bestimmten Zeitraum hinweg ändert. Beispielsweise kann man die Eigenschaft „Deckkraft“ einer Ebene von 0% zum Zeitpunkt 2 Sekunden auf 100% zum Zeitpunkt 8,27 Sekunden animieren. Grundsätzlich kann jede Stopp-Schaltfläche (siehe Uhrsymbol oben) neben den Eigenschaften einer jeden Ebene im Zeitleistenfenster oder im Effekteinstellungsfenster animiert werden. Diese sind zum Beispiel der *Ankerpunkt*, die *Position*, die *Skalierung*, die *Drehung* oder die *Deckkraft*.

Der Text wurde durch das *Text-Werkzeug* platziert. Danach wurde in das *Kompositionsfenster* geklickt, um einen Text eingeben zu können. In den Bedienfeldern „*Zeichen*“ und „*Absatz*“ konnten *Schriftart*, *Schriftgrad*, *Farbe*, *Ausrichtung* und andere Texteingenschaften festgelegt werden. Es wurde zum Beispiel die Schriftart *Calibri* verwendet. Der Schriftschnitt wurde mit *Bold* (für Überschriften und Informationen) gekennzeichnet. Überschriften bekommen die Schriftgröße 40 Pixel und Unterüberschriften die Schriftgröße 20 Pixel. Bei der Animation des Titels wurden Position, Skalierung, Deckkraft sowie die Laufweite (in der Textanimation) verändert (siehe Abb. 36).



Abb. 36: Animation des Titels in After Effects

In *Adobe After Effects* können weiterhin Bildelemente, wie z. B. JPEG, EPS, GIF und PNG, importiert werden. In diesem Beispiel wurde der Spritzgießzyklus als EPS-Datei (siehe Abb. 25: Das didaktisch gestalterische Element "Spritzgießzyklus") importiert. Danach wurde diese Datei ins Kompositionsfenster gezogen und deren *Keyframes* (wie z. B. Deckkraft und Skalierung) bearbeitet. Der Spritzgießzyklus wird zum Schluss als Kreisdiagramm gezeigt, um nochmal einen gesamten Überblick der einzelnen Verfahrensschritte im Spritzgießen zu bekommen.

Für den Abspann wurde hauptsächlich mit der Maskenfunktion aus *Adobe After Effects* gearbeitet. In *After Effects* wird eine *Maske* als Pfad bezeichnet, der als Parameter dient. Dabei werden Ebenenattribute, -effekte und -eigenschaften geändert. *Masken* benutzt man häufig mit der Anwendung des Alphakanals. Im Alphakanal wird jede Ebene durch die Transparenz bei jedem Pixel festgelegt.⁶⁴ Das erstellte Beispiel für den Abspann zeigt, dass *ein Maskenpfad* eingesetzt wurde, um den Text zu animieren.

Zunächst wählt man eine *Ebene* an und klickt mit der rechten Maustaste auf *Maske*. Dann kann man eine *Neue Maske* erstellen und das passende Werkzeug (Rechteck, Abgerundetes-Rechteck, Ellipse-Werkzeug, Polygon-Werkzeug oder Stern-Werkzeug) bestimmen. In diesem Beispiel entschied man sich für ein Rechteck. Dabei wurden dessen Eckpunkte verschoben. Der *Maskenpfad* wurde von *Keyframe* zu *Keyframe* geändert. Zum Schluss ist der ganze Abspann sichtbar (siehe Abb. 37) und kann nun die *Position* (mit der Maske) verändern.

⁶⁴ Vgl. Adobe Systems Software Ireland Limited 2017, Benutzerhandbuch: Alphakanäle, Masken und Matten.

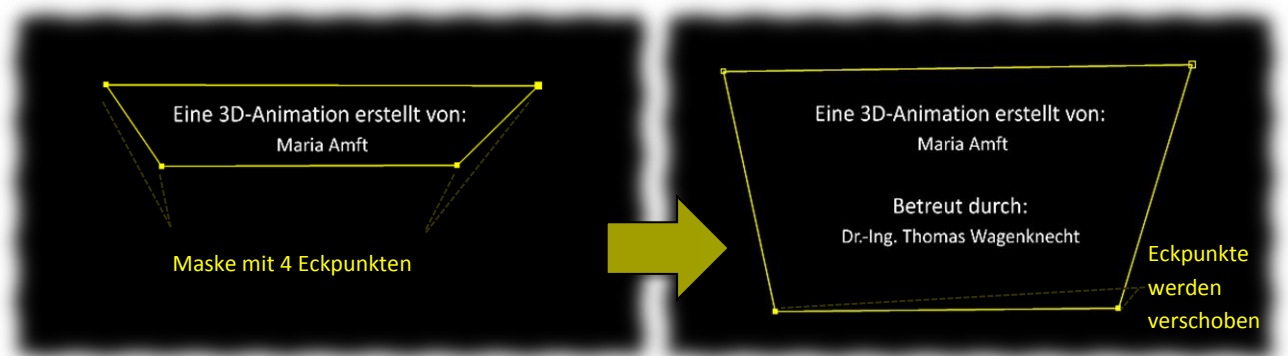



Abb. 37: Animation eines Maskenpfades in Adobe After Effects

Wenn die Kompositionen *Titel* und *Abspann* fertig sind, werden diese zunächst gerendert. Das heißt, dass ein Bild aus Rohdaten erzeugt wird. Dafür müssen die folgenden Einstellungen für die Ausgabe beachtet werden:

- **die Rendereinstellung** mit 25 Bilder pro Sekunde in bester Qualität (Anfangszeit liegt bei 0 Sekunden, Dauer in diesem Beispiel liegt bei 16 Sekunden) und
- **das Ausgabemodul** als H.264 (für hohe Leistung) oder WMV (Windows Media).

Danach muss der *Speicherort* bzw. *Speichernamen* festgelegt und auf *Rendern* geklickt werden. In diesem Beispiel dauert das *Rendern* bei einer WMV-Ausgabe ca. 30 Sekunden. Wenn die Datei fertig ist, kann das Videoformat abgespielt oder in eine *PowerPoint* als Präsentationsmittel integriert werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, in *Adobe Premiere Pro* das Video noch akkurater zu schneiden.

5.3.5 Möglichkeiten der 3D Animation mit Premiere Pro

Zunächst wurden in der Software *Adobe Premiere Pro* alle einzelnen Videos von *Blender* und *Adobe After Effects* importiert. Dabei ist es gleichgültig, ob man das AVI JPEG-Format (aus *Blender*) oder das WMV-Format (aus *After Effects*) importiert. Im Anschluss wurden die einzelnen Videodateien per „Drag and Drop“ auf die gewünschten Videospuren gezogen. Dabei entstand automatisch eine Sequenz. Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob die Überblendung bei jeder Videodatei angewählt ist, um einen besseren Übergang zu erzeugen. Wenn diese Einstellung erfolgt ist, kann mit der Schaltfläche *Rasierklinge*  das Video geschnitten und an die gewünschte Stelle eingefügt werden. In Abb. 38 ist eine geschnittene Animation mit zwei Videospuren dargestellt.

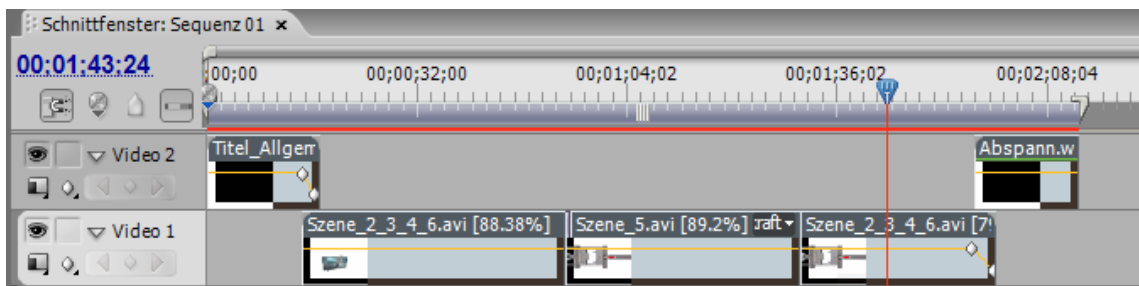


Abb. 38: Beispiel einer geschnittenen Animation in *Adobe After Effects*

Mit *Premiere Pro* können außerdem Standbilder erzeugt werden. Diese sind relevant, um ein Bild über einen längeren Zeitraum anzuzeigen. Außerdem kann die Zeitdauer eines Videoschnitts verlängert oder verkürzt werden. In diesem Fall wurde die Ausgabezeit um ca. 30 % verlängert, da die Schulungsteilnehmer das Wahrgenommene festigen sollen.

Zum Schluss wird das Format als H.264 gespeichert, da es eines der modernsten digitalen Encoding-Formate ist und zu den leistungsstärksten Komprimierungstechnologien gehört. Es besitzt außerdem eine niedrige Bit-Rate (Ziel-Bitrate: 6 Mbit/s, Maximale-Bitrate: 8 Mbit/s) und wird als MP4-Video ausgegeben. Dabei wurde die PAL-DV-Auflösung gewählt mit einem Seitenverhältnis von 4:3. Die Framerate beträgt 25 Bilder pro Sekunde, da das Video in Echtzeit abgespielt werden soll.

5.4 Ausgabe der 3D Animation

5.4.1 Möglichkeiten mit PowerPoint

PowerPoint ist ein Werkzeug, um wichtige Informationen darzustellen. Es gilt heute als am häufigsten angewendetes Softwarepräsentationsprogramm. Die Basis bilden die einzelnen aneinander gefügten und austauschbaren Seiten bzw. Präsentations-Charts (Folien). Auf diesen Folien erfolgen gewisse Darstellungen für zu präsentierende Inhalte, wie z. B.: Texte, Bilder, Animationen, Grafiken und Weitere.⁶⁵

Wenn eine Folge von mindestens zwei Folien besteht, wird dies als Präsentation bezeichnet. Das Programm bietet außerdem umfassende Gestaltungsmöglichkeiten. Die Präsentationen lassen sich abwechslungsreich und leicht erstellen. Des Weiteren kann man auf einer Mastervorlage eine Vielzahl von Parametern festlegen. Diese bieten Einheitlichkeit und Kontinuität für die Präsentation.

Es besteht allerdings die Gefahr, dass man bei Präsentationen zum Beispiel zu viele Bilder, Texte und Diagramme verwendet. Das führt oft zu einem typografisch mangelhaften Ergebnis.⁶⁶ *Aus diesem Grund* sollten die Inhalte einer Präsentation kurz gehalten und in PowerPoint-Präsentationen nur das Nötigste dargestellt werden. Die Botschaft, die übermittelt wird, muss klar und fokussiert sein. Deswegen ist es relevant, dass der Sachverhalt (z. B. der Verfahrensschritte des Spritzgießens) einprägsam dargestellt wird.

Demnach soll *PowerPoint* genutzt werden, um die Einzelergebnisse der vorliegenden Arbeit übersichtlich zu präsentieren. Zum Beispiel wurden auch interaktive Schaltflächen erstellt, um von Folie zu Folie zu springen. Diese Präsentationvariante wurde für die fertig geschnittene 3D-Animation angewendet. Hier gibt es eine Hauptfolie, die sich auf den Spritzgießzyklus konzentriert. Diese Folie besitzt unterschiedliche Icons, die mit einem Klick verschiedene Videos abspielt (siehe Abb. 37). Die Icon-Darstellungen orientieren sich an dem Bedienfeld der Sumitomo (SHI) Demag-Spritzgießmaschine. Allerdings wurde das Symbol „Schneeflocke“ eigenständig erstellt, da das Abkühlen des Formteils auch zu einem der wichtigsten verfahrenstechnischen Schritte im Spritzgießprozess gehört. Hingegen erlaubt der Startknopf es, das Gesamtvideo der 3D-Animation komplett abzuspielen.

⁶⁵ Vgl. Onpulson.de GbR 2018, Lexikon: PowerPoint Präsentation.

⁶⁶ Vgl. Onpulson.de GbR 2018, Lexikon: PowerPoint Präsentation.

Hydraulische Spritzgießmaschine und die damit realisierten Verfahrensschritte

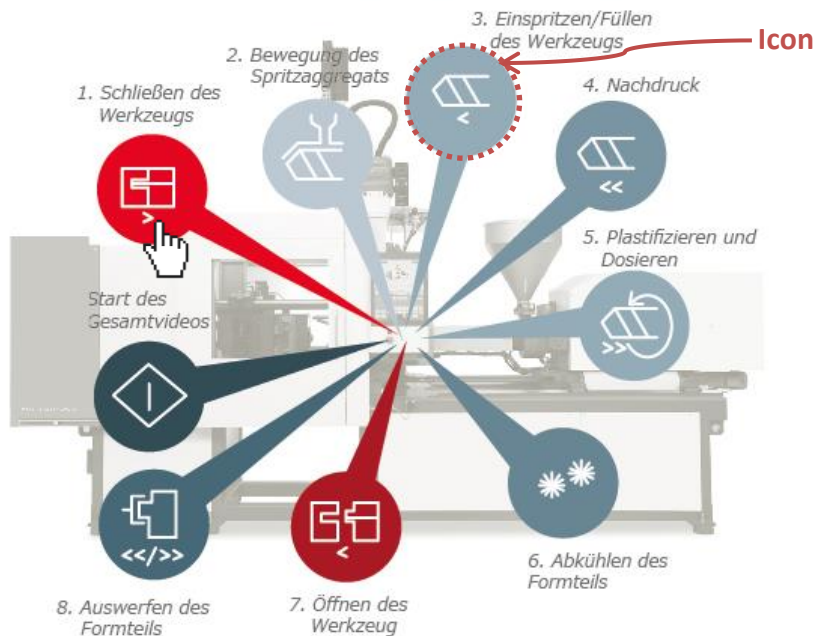


Abb. 39: Startseite der interaktiven Präsentation mit PowerPoint

Die farbigen Icons stellen Schaltflächen dar. Durch diese gelangt man zu den einzelnen Videos. Die anderen Icons sind ausgegraut und dienen nur der reinen Information. Wenn man auf eine farbige Schaltfläche klickt, wird das Video nicht sofort abgespielt. Der Playbutton muss noch betätigt werden, um das Video abzuspielen. In diesem Moment kann jeder Referent selbständig entscheiden, welchen Verfahrensschritt des Spritzgießens er zeigen und erklären möchte.

Die Farbkombination richtet sich nach dem KUZ-Logo. Hierbei wirken mehrere Farbkontraste. Zum einen der Warm-Kalt-Kontrast, der auf der psychologischen Wirkung bestimmter Farben beruht. Diese Farben sind rot (für Wärme) und blau (für Kälte). Des Weiteren wird auch der Qualitätskontrast angewendet, um eine Abstufung der Farbwerte zu bekommen. Dabei wird die Sättigung entzogen, sodass die Hauptfarben wirkungsvoll unterstrichen werden können.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Arbeit bestand darin, eine 3D Animation für den Spritzgießprozess zu erstellen und das Spritzgießverfahren für Teilnehmer in Schulungen bzw. Weiterbildungen des KUZ verständlich zu erläutern. Mittels dieser 3D-Visualisierung lässt sich das Spritzgießen besonders professionell abbilden und vereinfacht erklären. Der Fokus dieser wissenschaftlichen Arbeit setzte sich mit dem Standardspritzgießen und dessen Teilabläufen Plastifizieren, Einspritzen, Nachdrücken und Abkühlen auseinander.

Zunächst wurde Recherche (mit Büchern, Skripten, etc.) über den Spritzgießprozess und deren Teilabläufe betrieben. Dabei boten außerdem viele Tutorials eine große Unterstützung zu den Softwareprogrammen: *Blender*, *Adobe After Effects* und *Adobe Premiere Pro*. Nach der Recherche wurde ein Schema für die Erstellung und Visualisierung einer 3D-Animation für den Spritzgießprozess erarbeitet. Dabei wurden Konzeption und Planung erstellt. Vor der Konzeptionierung wurden die Ergebnisse eines Fragebogens zum Thema „Lernen mit digitalen Medien“ ausgewertet, um herauszufinden, mit welchen digitalen Medien technische Sachverhalte am besten vermittelt werden können.

Anschließend wurde ein Drehbuch erstellt. Dieses enthielt genaue Angaben über die Einzelsequenzen in Form von Text für die Gesamtanimation. Das Drehbuch beschäftigte sich ausschließlich mit den realisierten Verfahrensschritten der hydraulischen angetriebenen Spritzgießmaschine. Außerdem werden Sequenzen, Aktionen, Zeit und weitere zusätzliche Informationen angegeben, die aus dem Drehbuch entnommen werden können.

Danach erfolgte die Nachmodellierung der Spritzgießmaschine. Diese wurde im Konstruktionsprogramm *Autodesk Inventor*[®] durchgeführt (siehe Kapitel 5.2). Dabei wurde festgestellt, dass die Maschine viele Bauteile und Baugruppen besitzt, die von Bedeutung sind. Die einzelnen Bauteile und Baugruppen werden in der Software als *STL-Format* exportiert und im Grafikprogramm *Blender* importiert.

Danach wurde im Grafikprogramm *Blender* weitergearbeitet und bestimmte Materialien und Texturen den Komponenten der Spritzgießmaschine zugewiesen. Anschließend fügte man verschiedene Eigenschaften (der *Keyframes*) hinzu, um die Bauteile und Baugruppen der Spritzgießmaschine zu animieren. Es kamen für die 3D-Animation auch noch weitere Funktionen zum Einsatz, wie zum Beispiel eine *Punktanimation* für die Schmelze (im Werkzeug) oder der *3D-Kameratracker* für die optimale Kamerafahrt. Anschließend wird die Datei als gängiges Format (AVI-JPEG) gerendert und abgespeichert.

Durch die Software *Adobe After Effects* wurden zusätzliche Effekte und Informationen über den Spritzgießprozess eingefügt. Diese Informationen wurden in Form von Text dargestellt. Der Text befasst sich zum Beispiel mit dem Schließkraftaufbau, den Werkzeuginnendruck oder mit dem Spritzdruck. Des Weiteren werden in der 3D-Animation Bewegungsabläufe durch Pfeile unterstützt. Weiterhin unterstützt *Adobe After Effects* auch Bilddateien, die zum Beispiel im Abspann den umgesetzten Spritzgießzyklus zeigen.

Der letzte Schritt befasste sich mit dem Audio- und Videotool *Adobe Premiere*. Die Software ermöglicht das Schneiden eines Filmes bzw. Videos. Außerdem wurden Übergänge von Videospur zu Videospur verbessert und mit weiteren Gestaltungsmöglichkeiten verziert. Man arbeitete mit verschiedenen Überblendungen und Videospuren, damit das Video nicht ins Stocken gerät. Außerdem sind die Videospuren sehr wichtig, um unterschiedliche Kameraansichten zu zeigen. Diese Kameraansichten befassten sich hauptsächlich mit der Plastifizierereinheit und der Schließereinheit.

Letztendlich wurden im Gesamtvideo das Maschinengestell, die Bedieneinheit sowie Plastifizier- und Schließereinheit fehlerfrei in einem dreidimensionalen Raum illustrativ dargestellt. Die einzelnen Videodateien wurden sowohl als AVI-JPEG (in *Blender*) als auch als MP4-Datei (in *Adobe After Effects* und *Adobe Premiere Pro*) gespeichert. Zur allgemeinen Betrachtung werden die Bewegungen der Komponenten in 25 Bildern pro Sekunde gespeichert und in ein H.264-Format zusammengefasst. Dabei kam es bei Videoformaten sowie bei Skalierungen des Videos des Öfteren zur Qualitätsverlust der Datei. Durch mehrere Tests beim Rendern wurde dieser Qualitätsverlust aufgehoben und ein passendes Format ausgegeben. Es wurde außerdem keine Audiodatei zu den Videospuren angelegt, weil das Referieren in Weiterbildungen selbstständig erfolgen soll.

Zum Schluss wurde die MP4-Datei (mit den Online Converter *Convertio*) als WMV-Datei konvertiert und in die Software *PowerPoint* eingefügt. Im KUZ wird diese Software als Präsentationssoftware verwendet. Außerdem werden durch *PowerPoint* Informationen (z. B. über das Spritzgießen) an Schulungs- und Weiterbildungsteilnehmer übermittelt. Die übermittelten Informationen beinhalten Texte, Bilder, Grafiken und Animationen. Die Videoeinbindung in *PowerPoint* erfolgt über verschiedenfarbige Icons, die als interaktive Schaltflächen dienen. Wenn man auf eine der Schaltflächen klickt, gelangt man zu einer 3D-Animation. Zum Schluss entstanden ein Gesamtvideo des Spritzgießprozesses und zwei Videos der realisierten Verfahrensschritte.

Die Videos besitzen eine geringe Länge, da die Informationen sich nicht überhäufen sollen. Die Länge des Gesamtvideos beträgt 2,26 Minuten (mit 3650 Frames). Die daraus abgeleiteten Prozessvideos belaufen sich jeweils auf insgesamt 50 Sekunden. Die Renderzeiten für die einzelnen Szenen betragen: 31 Sekunden für die Szene 1 (als MP4-Ausgabe), 2 Minuten und 47 Sekunden für die Szenen 2, 3, 4 und 5 (als AVI JPEG) sowie 29 Sekunden für die Szene 6 (als MP4-Ausgabe). Die Renderzeit des Gesamtvideos betrug 20 Minuten und 55 Sekunden. Die Renderzeit der visualisierten Verfahrensschritte beträgt knapp über 1 Minute. In Abb. 40 ist das Einzelbild des Gesamtvideos sowie ein Einzelbild der realisierten Verfahrensschritte (1. Schließen des Werkzeugs) in der Präsentationssoftware *PowerPoint* ersichtlich.

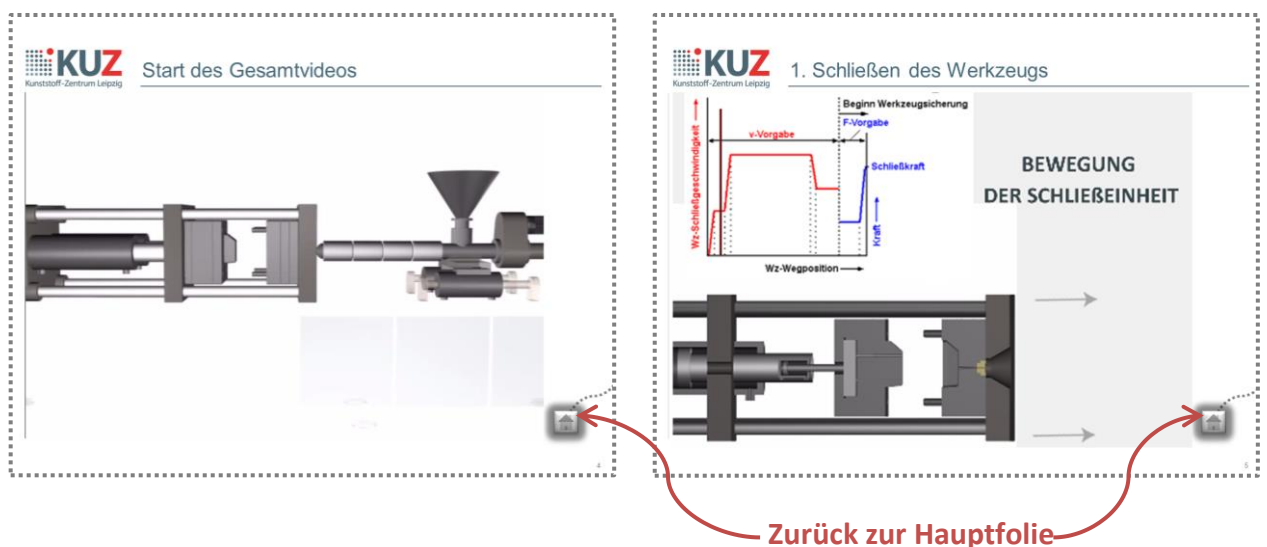


Abb. 40: Darstellung der 3D-Animation in PowerPoint

Die Präsentationen der Animation erfolgen zunächst bei Weiterbildungen und Schulungen im Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ). Im Hinblick darauf wird überlegt, die 3D-Animationen in Sozialen Medien zu veröffentlichen. Die präsentesten sozialen Medien die dafür in Frage kommen sind: *YouTube, Facebook, Instagram, Xing* und *Pinterest*. Es wird erwartet, dass die Bekanntheit der Forschungseinrichtung KUZ steigt und durch soziale Medien an höherer Medienpräsenz gewinnt. Im Resultat gesehen, kann man den Zweck der 3D-Animationen aus zwei Perspektiven betrachten. Diese sind Schulungs- und Marketingzwecke.

Literaturverzeichnis

Bücher:

Wartmann, Carsten: *Das Blender Buch: 3D Grafik für Internet und Video mit freier Software*. Heidelberg: dpunkt-Verlag 2000, 2. Auflage.

Thomaschke, Heinz/ Richter, Klaus/ Dipl.-Ing.-Päd. Siewert, Christine/ Burkon, Gernot/ Dipl.-Ing. Steinert, Walter: *Fachkunde der Plastikverarbeitung: Technologische Verfahren I*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1983.

Bürkle, Erwin/ Wobbe, Hans: *Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens*. München: Carl Hanser Verlag 2016.

Johannaber, Friedrich/ Michaeli, Walter: *Handbuch Spritzgießen*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2002.

Michaeli, Walter: *Einführung in die Kunststoffverarbeitung*. München: 5. Auflage. Hanser Verlag, 2006.

Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH: *Verarbeitungstechnik: Spritzgießen von Thermoplasten*. Leipzig, 2006.

Dipl.-Ing. Steinbichler: *Mehrkomponenten-Spritzgießtechnik 2000: Aktueller Stand der Mehrkomponententechnik – Verfahrensvarianten, Maschinenteknik, Anwendung und Perspektiven*. Düsseldorf: Springer- VDI- Verlag GmbH & Co. KG 2000.

Holz Müller, Günther: *Aufbau und Wirkungsweise von Spritzgießmaschinen: Steuerung*. Skript aus dem Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH. Leipzig, April 2001.

Internet:

heise.de: <https://www.heise.de/download/product/blender-13137>, November 2014, Zugriff am 25.05.2018.

ISB Information und Kommunikation GmbH & Co. KG: <http://www.isb-ik.de/home/technische-redaktion/3d-animation/vorteile.aspx>, 2018, Zugriff am 07.06.2018.

cinefreaks.com: <http://www.cinefreaks.com/articles/Adobe+Premiere>, 2013, Zugriff am 07.06.2018.

Tim Kurkoski: <https://theblog.adobe.com/whats-new-and-changed-in-the-after-effects-cc-2015-13-7-update>, Januar 2016, Zugriff am 11.06.2018.

Jura, Mandy: https://www.uni-potsdam.de/u/slavistik/vc/filmanalyse/arb_stud/ehrenhart_goeckeler_jura/theorie/, 2018, Zugriff am 11.06.2017.

techopedia: <https://www.techopedia.com/definition/24055/autodesk-inventor>, 2018, Zugriff am 15.06.2018.

Markus Seiler: <https://www.aiseesoft.de/tutorial/kostenlose-animationsprogramme.html>, Juli 2017, Zugriff am 18.06.2018.

Klaus Diebold, https://www.plastverarbeiter.de/wp-content/uploads/migrated/docs/2409_32097.pdf, 2007, Zugriff am 26.06.2018.

Onpulsion.de GbR: <https://www.onpulsion.de/lexikon/powerpoint-praesentation/>, 2018, Zugriff am 27.06.2018.

Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH: <https://www.sumitomo-shi-demag.eu/de/verfahren/mikrotechnik.html>, 2018, Zugriff am 10.07.2018.

Welt der Wunder: <http://www.weltderwunder.de/artikel/spritzguss-vorteile-und-einsatzmoeglichkeiten>, 2018, Zugriff am 11.07.2018.

Maschinenbau-Wissen.de: <http://www.maschinenbauwissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/391-aufbau-spritzgiessmaschine>, 2009, Zugriff am 20.7.2018.

Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH: <https://www.sumitomo-shi-demag.eu/de/verfahren/plastifizierung.html>, Zugriff am 20.7.2018.

Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.: <https://www.form-werkzeug.de/themen/fw-wiki/werkzeuge-formen/spritzgiesswerkzeuge/artikel/werkzeugaufbau-von-spritzgiesswerkzeugen-1006000.html>, 2018, Zugriff am 24.7.2018.

LUMITOS GmbH: <http://www.chemie.de/lexikon/Spritzgie%C3%9Fmaschine.html#Schlie.C3.9Feinheit>, 2018, Zugriff am 21.08.2018.

Dipl.-Wirt.-Ing. Haman, Soromo: <https://core.ac.uk/download/pdf/95666843.pdf>, Dezember 2003, Zugriff am 24.7.2018.

Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung: <https://docplayer.org/46085951-Kunststoffverarbeitung-spritzgiessen.html>, 2017, Zugriff am 01.08.2018.

Kern GmbH: <https://www.kern.de/de/kunststofflexikon/kolbenspritzgiessmaschine>, 2018, Zugriff am 14.08.2018.

Wirtschaftsgesellschaft des Kfz-Gewerbes mbH: <https://www.chemie-am-auto.de/kunststoffe/>, 2014, Zugriff am 14.08.2018.

Maschinenbau-Wissen.de: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/85-duroplast>, 2009, Zugriff am 14.08.2018.

THIEME GmbH & Co. KG: <https://www.thieme.eu/de/tsg-thermoplastischer-schaumguss>, 2018, Zugriff am 15.08.2018.

Blender Documentation: <https://translate.google.com/translate?hl=de&sl=en&u=https://docs.blender.org/manual/en/dev/modeling/empties.html&prev=search>, 2018, Zugriff am 15.08.2018.

Giesel Verlag GmbH: <https://www.k-zeitung.de/deutschland-bleibt-us-partner-nummer-1/150/4814/107466/>, Zugriff am 21.08.2018.

Adobe Systems Incorporated: <https://helpx.adobe.com/de/after-effects/using/alpha-channels-masks-mattes.html>, Juni 2017, Zugriff am 23.08.2018.

Brockmann, Mirjam: <http://kirste.userpage.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/thermopl.htm>, 2000, Zugriff am 23.08.2018.

Ebert, Karl-Herbert / Ammer, Daniel/ Hoffstetter, Marc/ Wintermantel, Erich: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-93936-8_28, Juli 2009, Zugriff am 04.09.2018.

chemie-schule.de: https://www.chemie-schule.de/Organische_Chemie/Wirtschaftliche_Bedeutung_der_Kunststoffe.php, Mai 2018, Zugriff am 07.09.2018.

Bilder:

[1] Tennessee Eastman Corp: Spritzgießmaschine der Gebrüder Hyatt

https://www.plastverarbeiter.de/wp-content/uploads/migrated/docs/2409_32097.pdf, Zugriff am 26.06.2018.

[2] Nach Umsetzung von Martin Karl: Vergleich Thermoplast, Duroplaste und Elastomere

*<http://www.isovolta.de/deutsch/Kunststoffe.htm>,
Zugriff am 20.07.2018.*

[3] Nach Umsetzung von Martin Karl: Unterschied amorpher und teilkristalliner Thermoplast

*<http://www.isovolta.de/deutsch/Kunststoffe.htm>,
Zugriff am 29.06.2018.*

[4] Paker David/ Bussink Jan/ van de Grampel, Hendrik T./ Wheatley, Gary W./ Dorf, Ernst-Ulrich/ Ostlinning/ Reinking, Klaus/ Schubert, Frank/ Jünger, Oliver: Einteilung der thermoplastischen Kunststoffe

*<https://www.google.com/search?q=Thermoplast+Kunststoffpyramide&client=firefox-b-ab&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiQs9nPmavcAhXGXCwKH TcUCaoQsAQISA&biw=1440&bih=743#imgrc=kvr2joQGKrXLxM;>
Zugriff am 19.07.2018.*

[5] Maschinenbau-Wissen.de: Thermisches Verhalten von Duroplasten

<http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/85-duroplast>, Zugriff am 04.09.2018.

[6] Maschinenbau-Wissen.de: Die Hauptkomponenten einer SGM

<http://www.maschinenbauwissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/391-aufbau-spritzgiessmaschine>, Zugriff am 20.07.2018.

[7] Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH: Dreizonenschnecke

Verarbeitungstechnik: Spritzgießen von Thermoplaste: Plastifizieren – Dosieren, Leipzig, Januar 2006.

[8] Maschinenbau-Wissen.de: Die einzelnen Elemente des Normalwerkzeuges

<http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/403-spritzgiesswerkzeug>, Zugriff am 04.09.2018.

[9] KUZ, nach Vorlage von Schaab/Stoeckert:

Die Struktur einer Spritzgießmaschinensteuerung

Günter Holzmüller: *Aufbau und Wirkungsweise von Spritzgießmaschinen*, Leipzig, April 2001.

- [10] Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.: Der Spritzgießzyklus
<https://www.kunststoffe.de/themen/basics/verarbeitung-thermoplaste/spritzgiessen/artikel/spritzgiessen-645644>, 2018, Zugriff am 31.07.2018.
- [11] oncampusFHL: *Plastifizierphase*
<https://www.youtube.com/watch?v=ABWJrh1OvBo>,
Zugriff am 24.07.2018.
- [12] oncampusFHL: *Einspritz- und Nachdruckphase (Beginn der Kühlung)*
<https://www.youtube.com/watch?v=ABWJrh1OvBo>,
Zugriff am 24.07.2018.
- [13] oncampusFHL: *Abkühlungsphase und Trennung der Werkzeughälften*
<https://www.youtube.com/watch?v=ABWJrh1OvBo>,
Zugriff am 24.07.2018.
- [14] N.N.: *Zweifachdüsen für unterschiedliche Mehrkomponentenspritzgießverfahren*
N.N.: Mehr-Rohstofftechnologie. Firmenschrift Battenfeld, Spritzgießtechnik, Meinerzhagen, September 1998.
- [15] Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH:
Mikro einspritzeinheit auf einer 250kN-Maschine
<https://www.sumitomo-shi-demag.eu/de/verfahren/mikrotechnik.html>,
Zugriff am 26.07.2018.
- [16] Altstädt, Volker/ Mantey, Axel: **Gesamtquerschnitt TSG-Verfahren**
http://files.hanser.de/Files/Article/ARTK_LPR_9783446412514_0001.pdf,
Zugriff am 26.07.2018.
- [17] Alpha Paletten & Boxen / DeviceMed online: **Produktbeispiele des TSG-Verfahrens**
<https://www.devicemed.de/index.cfm?pid=10749&pk=510408&fk=0&type=article>,
Zugriff am 27.07.2018.
<https://www.alpha-paletten.de/mehrwegpaletten/>,
Zugriff am 20.08.2018.
- [18] Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH:
Orientierung an der DEMAG
<https://www.neue-verpackung.de/53748/spritzpraegen-im-sekundentakt/>, Zugriff am 27.07.2018. *Thomas Brettnich: Vorlesungen zum Thema Spritzgießen, Leipzig, April 2011.*
- [18] ENGEL AUSTRIA GmbH:
Orientierung an der ENGEL
<https://www.alema.cz/lisovna-plastu>, Zugriff am 27.07.2018.
<https://plasticker.de/news/shownews.php?nr=7789&klasse2=d12&backto=>,
Zugriff am 27.07.2018.

Anhang



Fragebogen: Lernen mit digitalen Medien

Vielen Dank, dass Sie an meiner Befragung „Lernen mit digitalen Medien“ teilnehmen. Ich heiße Maria Amft und studiere derzeit „Informationsdesign und Medienmanagement“ an der Hochschule Merseburg. Derzeit schreibe ich meine Masterarbeit im Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ). Zusammen mit Ihnen mochte ich ausgewählte Lernmethoden (eigenständiges Lernen/Präsenzunterricht) genauer untersuchen, um herauszufinden, mit welchen digitalen Medien technische Sachverhalte vermittelt werden konnen. Ich würde Sie bitten, diesen kurzen Fragebogen anonym auszufllen.

Allgemeine Fragen

- **Welche Medien bevorzugen Sie zum Lernen?**

- klassische Lernmaterialien (Skripte, Handouts,...)
- digitale Lernmaterialien (PC, Mobilgeräten)

- **Welche digitalen Medien benutzen Sie am häufigsten zum eigenständigen Lernen von technischen Sachverhalten? Kreuzen Sie maximal 2 an!**

- Präsentationen (PPT, PDF)
- Präsentationen mit 3D-PDF
- Präsentationen mit Videos
- Präsentationen mit Animationen
- Webinare (ist über PC „live“ bertragbar)

- **Welche digitalen Medien helfen Ihnen am besten bei Tagungen oder Weiterbildungen (Präsenzunterricht), um technische Sachverhalte besser zu verstehen? Kreuzen Sie maximal 2 an!**

- Präsentationen (PPT, PDF)
- Präsentationen mit 3D-PDF
- Präsentationen mit Videos
- Präsentationen mit Animationen

Angaben für die Statistik

- **Alter**

- jünger als 20 Jahre
- 20 - 30 Jahre
- 31 - 40 Jahre
- 41 - 50 Jahre
- 51 – 60 Jahre
- über 60 Jahre

- **Welche Qualifikation haben Sie?**

- angelernt
- Fachschulabschluss
- Fachhochschulabschluss

- **Welche „Sozialen Medien“ nutzen Sie am meisten? Kreuzen Sie maximal 2 an!**

- Facebook
- Instagram
- Pinterest
- Vimeo
- XING
- YouTube

Danke für Ihre Teilnahme.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Maria Amft