



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Sergej Kronevald

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Sergej Kronevald

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils

Bachelor eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau/Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schelberg

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Frank-Helmut Schäfer

Abgabedatum: 28.07.2020

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Sergej Kronevald

Thema der Bachelorthesis

Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils

Stichworte

Entwicklung, Konstruktion, Kunststoffteil, Hybrid, Recycling, Spritzgießen,
Ultraschallschweißen, Spritzgussanalyse, Gadget

Kurzzusammenfassung

Diese Bachelorthesis behandelt die methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils für das Labor Kunststofftechnik. Es soll ein multi-funktionales Gadget entwickelt werden, an dem exemplarisch die einzelnen Prozessschritte vom Recycling über das Spritzgießen bis zur abschließenden Montage und dem Ultraschallverschweißen demonstriert und geübt werden soll.

Name of Student

Sergej Kronevald

Title of the paper

Methodical development and design of a hybrid plastic part.

Keywords

development, design, plastic parts, hybrid, recycling, injection moulding, ultrasonic welding, mould analysis, gadget

Abstract

This bachelor thesis deals with the methodical development and construction of a hybrid plastic as a part for the laboratory plastics technology. A multi-functional gadget must be developed, on which the individual process steps from recycling to injection moulding up to the final assembly and welding using ultrasound are demonstrated and practiced.

Inhaltsverzeichnis:

I.	Abbildungsverzeichnis	iii
II.	Tabellenverzeichnis	v
1.	Einleitung	1
1.1.	Aufgabenstellung der Arbeit	2
1.2.	Vorgehensweise der Arbeit	3
2.	Theoretische Grundlagen.....	4
2.1.	Werkstoffbeschaffung durch das Recycling.....	4
2.2.	Formteilherstellung durch das Spritzgießverfahren	5
2.2.1.	Herstellungsrelevante Kunststoffeigenschaften	7
2.4.	Verschweißen der Formteile durch das Ultraschallschweißen.....	9
2.4.1.	Kunststoffeigenschaften und ihre Einflüsse auf die Schweißbarkeit	11
3.	Anforderungen und Rahmenbedingungen des Schlüsselanhängers	12
3.1.	Konstruktionsrichtlinien und Rahmenbedingungen für Spritzgussteile.....	12
3.2.	Konstruktionsrichtlinien und Rahmenbedingungen für das Ultraschallschweißen.....	15
3.3.	Anforderungen aus dem Kunststofflaborversuch	20
3.4.	Anforderungen aus der Checkliste	20
3.5.	Anforderungsliste für den Schlüsselanhänger	21
4.	Entwicklung der grundlegenden Produktidee.....	22
4.1.	Suche nach Lösungen für die Einzelfunktionen	23
4.2.	Morphologischer Kasten.....	24
4.3.	Auswahl und Konkretisierung der Lösungsvarianten	26
5.	Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten	28
5.1.	Auslegung und Grobgestaltung der Lösungsvariante 1.....	28
5.1.1.	Anfertigung und Beurteilung des ersten Prototypen	28

5.2.Ausarbeitung und Optimierung des ersten Prototypen.....	29
6.Kontrolle der Produktgeometrie mittels Füllanalyse.....	34
7.Optimierung und Verbesserung des zweiten Prototypen	39
8.Für die Herstellung benötigte Werkzeuge	42
8.1 Der Aufbau und die Funktionen eines Spritzgießwerkzeuges.....	42
8.1.1.Das Werkzeugkonzept für das Spritzgießverfahren	43
8.2.Aufbau und Funktion der Sonotrode und des Aufnahmewerkzeugs.....	45
9.Ermittlung der Kosten für die Zukaufteile	46
10.Zusammenfassung	48
VIII. Literaturverzeichnis	vii
IX. Eidesstattliche Erklärung.....	x

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Spritzgießmaschine [9].....	6
Abbildung 2: Plastifiziereinheit und schematische Darstellung des Spritzgießprozesses [10, S. 163].....	6
Abbildung 3: Aufbau einer Ultraschallschweißmaschine [18, S.8]	10
Abbildung 4: Zentrierungsmöglichkeiten der Formteile [18, S.18].....	15
Abbildung 5: Beispiel, Kopplungsfläche zwischen Sonotrode und dem Oberteil [In Anlehnung an 20, S.71].....	16
Abbildung 6: Identische Flächenverhältnisse vermeiden [In Anlehnung an 20, S.71].....	17
Abbildung 7: Der Energierichtungsgeber [20, S.73].....	18
Abbildung 8: Beispielhafte Gestaltungsmöglichkeiten einer Stufennaht [20, S.75].....	18
Abbildung 9: Auslegungsbeispiel einer Nut-Feder Naht [20, S.75]	19
Abbildung 10: Black-Box des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]	22
Abbildung 11: Funktionsstruktur des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]	23
Abbildung 12: Die Darstellung der Wirkprinzipien eines Schlüsselanhängers als Mind Map [Eigene Darstellung].....	24
Abbildung 13: Erste Ausarbeitung: Grobgestaltung, Form und Funktionen des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]	28
Abbildung 14: Erster Prototyp von außen und von innen [Eigene Darstellung].....	29
Abbildung 15: Das Halterungssystem für den Chip [Eigene Darstellung]	30
Abbildung 16: Lagerung und Auslegung der Zahnräder [Eigene Darstellung]	30
Abbildung 17: Der Ausschnitt der Zahnradverbindung im Gehäuse [Eigene Darstellung].....	31
Abbildung 18: Die Nut als Verbindungssystem für den Schlüsselring [Eigene Darstellung]..	31
Abbildung 19: Vertiefung als Schutz für das Etikett [Eigene Darstellung]	32
Abbildung 20: Innenleben, Passungen und Stifte des Formoberteil und Unterteils [Eigene Darstellung]	32
Abbildung 21: Der Energierichtungsgeber des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]	33
Abbildung 22:Hauptabmessungen des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung].....	33
Abbildung 23: Die Anschnittpositionsanalyse des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung] 35	
Abbildung 24: Die Füllzeit des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung].....	35
Abbildung 25: Die Zeit zum Erreichen der Entformungstemperatur des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]	36
Abbildung 26: Der Verlauf der Bindenähte im Formoberteil [eigene Darstellung].....	37
Abbildung 27: Die Einfallstellen des Formunterteils [Eigene Darstellung].....	38

Abbildung 28: Die vorgenommenen Optimierungen des Formoberteil und Unterteils [Eigene Darstellung]	40
Abbildung 29: Vorgenommene Optimierungen am Zahnradkranz und dem Ausschnittfenster [Eigene Darstellung].....	40
Abbildung 30: Endgültige Zusammenbau des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung].....	41
Abbildung 31: Der Aufbau eines Spritzgießwerkzeuges [38].....	42
Abbildung 32: Das Schnellwechselsystemwerkzeug „Quick-Change-Kassettensystem“ [Eigene Darstellung]	44
Abbildung 33: Beispielhafte Konzeption und Aufbau der benötigten Werkzeuge [18, S.23 ..	45

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wandstärkeempfehlungen nach Kunststofftyp [26].....	13
Tabelle 2: Anforderungsliste	21
Tabelle 3: Morphologischer Kasten	25
Tabelle 4: Gewichtungsmatrix.....	26
Tabelle 5: Bewertungsliste	27

1. Einleitung

Im Rahmen des bestehenden Labors für Kunststofftechnik des Instituts für Konstruktion und Produktentwicklung der HAW Hamburg, soll ein neuer End-to-end Herstellungsprozess für Kunststoff-Hybridbauteile etabliert werden. Der vorhandene Versuch soll mit neuen Verfahren erweitert und das Labor somit attraktiver gestaltet werden. Der Laborversuch besteht aus dem Spritzgießverfahren und einem Zugversuch, in dem man die spritzgegossenen Prüfstäbe auf ihre Materialeigenschaften untersucht. Zu den neu eingeführten Verfahren gehört das Ultraschallschweißen sowie der Recyclingprozess. Durch letzteres wird die Gestaltung des Versuchs in Bezug auf die Nachhaltigkeit unterstützt.

Gegenstand und Kern der vorliegenden Arbeit ist es ein multi-funktionales Gadget zu entwickeln, an dem exemplarisch die einzelnen Prozessschritte vom Recycling über das Spritzgießen bis zur abschließenden Montage und Verschweißung demonstriert und in Lehrveranstaltungen geübt werden sollen. Die Hauptkomponenten für die Durchführung des neuen Prozesses sind bereits im Labor vorhanden und müssen nicht extra erworben werden. Darüber hinaus soll das Gadget als Giveaway für Veranstaltungen der HAW Hamburg dienen. Somit haben die Studenten die Möglichkeit ein fertiges Produkt nach dem Labor mitzunehmen. Das regt das Interesse an und steigert die Motivation der Studenten an der Teilnahme des Kunststofflabors. Selbige Gründe sorgen für die Verwendung des Gadgets im Rahmen weiterer Veranstaltungen, wie beispielsweise dem „Tag der offenen Tür“.

Im Rahmen eines Vorprojektes „Bachelorprojekt“ wurden die ersten zwei Entwicklungs- und Konstruktionsphasen „Analyse“ und „Konzipieren“ durchgeführt. Dabei kam man zu dem Entschluss, dass ein Schlüsselanhänger unter den gegebenen Voraussetzungen das Best mögliche Gadget ist. Dieser Anhänger soll zusätzlich zwei Zusatzfunktion beinhalten. Diese sind eine Chiphalterung und ein bewegliches Zahnradpaar aus Metall. Daher geht die vorliegende Arbeit nicht auf den allgemeinen Konstruktionsprozess eines Gadgets ein, sondern fokussiert sich auf die Konstruktion des finalen Schlüsselanhängers, der aus einer Vielzahl an erprobten Varianten ausgesucht wurde.

Bevor man aber mit der Entwicklung anfängt, muss erstmal geklärt werden was überhaupt ein „Schlüsselanhänger“ ist. Unter einem Schlüsselanhänger wird im Allgemeinen ein Gegenstand verstanden, der mit einem einzelnen Schlüssel oder einem Schlüsselbund verbunden ist. Ein wesentliches Merkmal spielt dabei die Erleichterung der Zuordnung sowie der Auffindbarkeit des Schlüssels. Die Schlüsselanhänger zeichnen sich in ihrer Gestaltungsvielfalt aus. Sie sind in den verschiedensten Formen, Farben, Größen, Funktionen und auch Materialien vorzufinden [1].

Um den Erfolg des Produktes „Schlüsselanhänger“ zu gewährleisten, wird strukturiert und nach der VDI 2221 gearbeitet. Alle Konstruktionsprozesse werden abgearbeitet. Zudem wurden mehrere Prototypen erstellt und Änderungen sowie Optimierungen während der Ausarbeitung des Produkts vorgenommen.

Aufgrund der speziell angefertigten Werkzeuge darf das vorhandene Produkt keine Fehler enthalten, da es sonst zu hohen Verlusten kommen würde. Um solch einen Fehler zu vermeiden, wurden zwei Prototypen mit dem 3D-Druck erzeugt und anschließend erprobt. Zusätzlich wurde, zusammen mit der Firma Jürgen Hass Kunststofftechnik GmbH eine Spritzgießanalyse durchgeführt, um sicherzustellen das die Konstruktion einwandfrei mit dem Spritzgießverfahren umgesetzt werden kann.

Abschließend wird in der vorliegenden Bachelorarbeit, die Eignung der herstellenden Werkzeuge für die Produktion des Schlüsselanhängers geprüft. Diese Werkzeuge werden für die Fertigung des Schlüsselanhängers benötigt. Durch die Kommunikation mit den Unternehmen wird geprüft, ob die Werkzeuge für die Konstruktion herstellbar sind. Bei Bedarf muss das Produkt geändert werden. Zur Validierung der Werkzeugkonstruktionen werden die Werkzeugabläufe simuliert. Dieser Vorgang dient der Erprobung, um mögliche Probleme zu erkennen und zu beseitigen. Am Ende dieser Arbeit werden die Kosten der Zukaufteile sowie die Kosten der zu herstellenden Werkzeuge vorgestellt.

1.1.Aufgabenstellung der Arbeit

Aufgabenstellung

Für die Bachelorthesis

Von Herrn Sergej Kronevald

Matrikel-Nummer: 2236236

Thema:

„Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils“

Motivation:

Im Labor für Kunststofftechnik des Instituts für Konstruktion und Produktentwicklung der HAW Hamburg soll ein neuer End-to-end Herstellungsprozess für Kunststoff-Hybridbauteile etabliert werden. Gegenstand und Kern dieses neuen Prozesses ist ein multi-funktionales Gadget, an dem exemplarisch die einzelnen Prozessschritte vom Recycling über das Spritzgießen bis zur abschließenden Montage demonstriert und in Lehrveranstaltungen geübt werden sollen. Darüber hinaus soll das Gadget als Giveaway für Veranstaltungen der HAW Hamburg geeignet sein.

Im Rahmen dieser Arbeit ist ein geeignetes Konzept für dieses Gadget zu entwickeln und im Detail technisch wie wirtschaftlich zu detaillieren und abzusichern:

- Festlegung der Anforderungen und Rahmenbedingungen für das Gadget
- Konzeption und Entwicklung des Gadgets als multi-funktionales Kunststoff-Hybridbauteil
- Iterative Konstruktion der Komponenten und des Gesamtprodukts unter Berücksichtigung von Zukaufteilen und Fremdfertigung
- Spritzgussanalyse der Kunststoff-Komponenten mit der Simulationssoftware „Cadmould“
- Anfertigung von Funktionsprototypen unterschiedlicher Reifegrade und Optimierung der Komponenten und der Gesamtkonstruktion
- Konzeption der für die Herstellung des Gadgets benötigten Werkzeuge
- Ermittlung der einmaligen wie der laufenden Kosten für das Gadget und die zugehörigen Fertigungsmittel
- Abschließende Bewertung der Lösung

28.01.20

Datum, Erstprüfer

1.2.Vorgehensweise der Arbeit

Die vorliegende Arbeit richtet sich im Konstruktionsprozess an die VDI 2221 Normen. Diese VDI 2221 Normen unterteilen den gesamten Konstruktionsprozess in vier Phasen: Analysieren, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten. Je nach Konstruktionsaufgabe können ausgewählte Abschnitte vollständig, teilweise oder sogar mehrmals iterativ durchlaufen werden. Um den Erfolg eines Produktes zu gewährleisten, muss das Produkt allen Phasen im Verlauf des Produktlebens entsprechen und den jeweiligen Herausforderungen gewachsen sein. Aus diesem Grund ist es wichtig neben der Konstruktion ein weites Feld an angrenzenden Prozessen und Gegebenheiten zu analysieren und zu berücksichtigen. Der Einsatz dieser Methoden erleichtert den Weg zum „richtigen“ Produkt. Dabei ist die Planbarkeit von großer Bedeutung, da der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nicht zufällig verlaufen soll. Unter der Anwendung dieser Methoden soll das Ziel planbar erreicht werden [2].

Die vorliegende Bachelorarbeit beginnt mit der Ausarbeitung der Produkthanforderungen anhand der Produktumgebung, Konstruktionsrichtlinien und der Kundenwünsche. In der Produktplanung wird die Aufgabenstellung für die eigentliche Konstruktionsarbeit definiert. Durch die Anwendung der Methoden wird die Kundenorientierung sichergestellt und die Erwartungen des Kunden erfüllt. Die konstruktiven Gestaltungsrichtlinien, die an den Schlüsselanhänger gestellt werden, müssen in jedem Fall als Rahmenbedingungen in der Anforderungsliste berücksichtigt werden. Es soll ausgeschlossen werden, dass ein wichtiger Aspekt vernachlässigt wird. Alle Anforderungen werden überarbeitet, präzisiert und in einer Anforderungsliste aufgestellt.

In der Phase des Konzipierens werden die Kernprobleme anhand der Funktionsstruktur ermittelt und Lösungen für diese Einzelprobleme mittels der Ideenfindungsmethoden erarbeitet. Dies geschieht, indem methodisch nach Wirkprinzipien gesucht wird. Diese werden in unterschiedlichen Variationen zusammengestellt und gegebenenfalls konkretisiert. Hierbei wird exemplarisch die Entwicklung eines Morphologischen Kastens, zum Kombinieren der Einzellösungen, genutzt. Die Bewertung der verschiedenen Varianten, erfolgt mittels der Gewichtungsmatrix und dem Wertigkeitsverfahren. Anschließend kann dadurch das endgültige Konzept festgelegt werden. Mit dem ausgewählten Konzept geht es nun in die Entwurfsphase, in der die Komponenten gestaltet werden.

Schlussendlich erfolgt die Ausarbeitung. Dabei werden alle Einzelteile im Detail festgelegt. Nach diesen Arbeitsschritten folgen die Phasen der Erprobung, hier werden die physikalischen Prototypen erstellt und auf ihre Funktionalität erprobt. Die Konstruktion bzw. das CAD-Modell stellen die nötigen Unterlagen für die Fertigung des Produktes dar.

2.Theoretische Grundlagen

Teil der vorliegenden Arbeit ist es, ein Schlüsselanhänger als multifunktionelles Gadget zu entwickeln. Im folgenden Abschnitt werden die notwendigen theoretischen Grundlagen für die Herstellung dargestellt.

2.1.Werkstoffbeschaffung durch das Recycling

Die Werkstoffbeschaffung für die Herstellung des Kunststoff-Schlüsselanhängers, im Rahmen der Laborveranstaltung, soll mittels eines Recyclingprozesses erfolgen. Hierfür werden zunächst die allgemeinen Grundlagen behandelt und die Technologie des Recyclingprozesses beleuchtet. Der Recyclingprozess ermöglicht durch die Wiederverwertung von bereits gebrauchten Ressourcen eine Kosteneinsparung in der Herstellung. Aus diesem Grund soll den Studenten die Möglichkeit geboten werden, ihren Plastikmüll im Labor zu verarbeiten und sich dadurch mit dem Thema Nachhaltigkeit zu befassen. Zusätzlich wird durch den neu eingeführten Recyclingprozess ein neuer Teilversuch für die Lehre geschaffen. Die Studenten können hierbei beispielsweise den Einfluss des Recyclingprozesses auf die Materialeigenschaften untersuchen und optimieren.

Neben den Vorteilen für die Umwelt, ergibt sich auch für den Anwender ein Nutzen. Dieser kann Materialkosten sparen, indem er Abfälle wiederaufbereitet und wiederverwendet. Da die Kunststoffe sich durch eine sehr gute Wiederverwertbarkeit auszeichnen. Da der Recyclingprozess jedoch erst bei einem gut sortierten und sauberen Abfall durchgeführt werden kann, bleibt die Rate der Wiederverwertung derzeit noch gering. Aufgrund der chemischen Struktur hat grundsätzlich jede Kunststoffart einen eigenen Recyclingprozess. Die Möglichkeiten sind hierbei vielfältig und reichen vom werkstofflichen oder rohstofflichen Recycling bis hin zur thermischen Verwertung. Der heutige Stand der Technik ermöglicht das Erzeugen von hochwertigen Recyclerzeugnissen und Regranulaten [3].

Es gibt drei Recycling Methoden: Die **Energetische Verwertung**- Diese macht 44% der Recyclingprozesse aus. Hierbei wird der Kunststoff, durch die Verbrennung in Energie umgewandelt. Die **Rohstoffliche Verwertung** – Diese macht lediglich 1% der Wiederverwertung aus. Sie ermöglicht die Zerlegung der Kunststoffe in Ursprungs-Monomere oder andere verwertbare Stoffe [4].

Für die Herstellung des Schlüsselanhängers wird die **Werkstoffliche Verwertung** verwendet. Hierbei werden 33% der Kunststoffe werkstofflich aufbereitet. Diese Methode ist ausschließlich für thermoplastische Kunststoffe geeignet. Die Thermoplaste lassen sich, nachdem sie bereits einmal zu einem Werkstoff geformt wurden, bei hohen Temperaturen wieder einschmelzen. Zuvor müssen diese zerkleinert, gereinigt und nach Sorten getrennt werden. Anschließend können erneut Formteile daraus hergestellt werden. Zu häufige Wiederholungen der Wärmebehandlungen führen jedoch zu einem fortschreitenden Qualitätsverlust des Materials. Zusätzlich wird das Recycling durch die Mischung verschiedener Kunststoffe erschwert. Das Vermischen der verschiedenen Kunststoffe führt in der Regel zu einem starken Qualitätsverlust, sowie zur Bildung von schlechteren mechanischen Eigenschaften. Um dies zu verhindern und verschiedene Kunststoffe einfacher trennen zu können, wurde 1988 der Recycling-Code, zur Kennzeichnung verschiedener Materialien, eingeführt. Die derzeit eingesetzten Trennverfahren erfordern jedoch einen hohen Energie- und Wassereinsatz und sind zudem personalintensiv. Dadurch fällt sowohl die Ökobilanz der Mülltrennung als auch der Kosten-Nutzen-Vergleich negativ aus. Die Werkstoffliche Verwertung wird daher oft nur bei einer großen Menge sortenreiner Kunststoffe verwendet [ebd].

2.2. Formteilherstellung durch das Spritzgießverfahren

Teil der Bachelorarbeit ist es, die benötigten Werkzeuge für die Herstellung des Schlüsselanhängers zu beschaffen, die im Spritzgießverfahren zum Einsatz kommen. Deshalb werden zuerst die Funktionen einer Spritzgießanlage, der Spritzgießprozess und die relevanten Kunststoffeigenschaften grob aufgeführt.

Spritzgießverfahren – Dies ist eines der wichtigsten und am häufigsten eingesetzten Verfahren, welches der Hauptgruppe „Urformverfahren“ zugeordnet ist. Das Verfahren hat heutzutage eine breite Anwendung in der Herstellung von Kunststoffformteilen. Mit Hilfe des Spritzgießens können verschiedenste Kunststoffe mit einem bestmöglichen Leistungsverhältnis bezüglich des eingesetzten und genutzten Werkstoffes verarbeitet werden. Hierbei sind die Werkstoffkosten der Ausgangsmaterialien höher als bei diversen anderen Materialien. Durch das Einbeziehen von Funktionalitäten in den Formteilen und der nacharbeitsarmen oder gar nacharbeitsfreien Herstellung wird eine hohe Wirtschaftlichkeit in dem Produktionsprozess gewährleistet [5]. Des Weiteren können selbst Kunststoffformteile mit komplexen Geometrien und verschiedensten Größen in kürzester Zeit und hoher wirtschaftlicher Effizienz hergestellt werden. So können Formteile mit einem Gewicht bis zu 150kg in einer Zykluszeit von ca. 15min hergestellt werden. Die heutige Verwendung von Spritzgießteilen erstreckt sich über alle Industriebereiche. Auch in naher Zukunft wird keine Einsatzverringerung des Verfahrens erwartet. Zusätzlich sorgt das Verfahren für eine Minimierung der Werkstoffmenge und des Gewichts einer Konstruktion, wodurch der Einsatz von Kunststoffen als eine ressourcenschonende Variante gilt [6].

Spritzgießmaschine - Die Aufgabe eines Konstrukteurs ist es die richtige Maschine für das gewünschte Formteil auszuwählen. Die Hochschule verfügt über eine Spritzgießmaschine ALLROUNDER 270 C GOLDEN EDITION von der ARBURG GmbH + Co KG [7]. Die Spritzgießmaschine hat einen Säulenabstand von 270 x 270 mm, eine max. Klemmkraft von 400 kN sowie ein hochverschleißfestes Spritzaggregat der Größe 80,100 [8]. Im Folgenden wird ein Überblick über den allgemeinen Aufbau einer Spritzgießmaschine gegeben.

Trotz verschiedenster Maschinenvariationen haben alle einen ähnlichen Aufbau und lassen sich nach verschiedenen Kriterien unterteilen, wie z.B. nach der Zuhaltkraft oder der Lage der Trennebene des eingesetzten Werkzeuges. Bei der Lage gibt es Horizontalspritzgießmaschinen, Vertikalspritzgießmaschinen und Rundtischmaschinen. Alle Spritzgießmaschinen weisen folgende drei Hauptkomponenten auf (siehe Abb. 1): Die Plastifiziereinheit, die Schließeinheit und die Steuerung (Schaltschränke). Obwohl jede Spritzgießmaschine über ein Formwerkzeug verfügt wird diese nicht als Bestandteil der Spritzgießmaschine betrachtet, da für jedes Formteil ein Unikat hergestellt wird. Des Weiteren gehören zum Aufbau eines Gesamtsystems: Das Maschinenbett worauf sich die Hauptkomponenten befinden, ein Formwerkzeug, welches das Formgebende Element eines Spritzgießsystems ist und die Bedieneinheit zum Bedienen der Maschine. Im Maschinenbett sind Rohrleitungen und das Antriebssystem verlegt [5]. Werkzeugaufnahmeplatten, Holme zur Führung der beweglichen Werkzeugaufnahmeplatte sowie eine Temperiereinheit, um die Temperaturverhältnisse in der Spritzeinheit zu regulieren werden ausführlich in dem Kapitel 8.1 beschrieben.

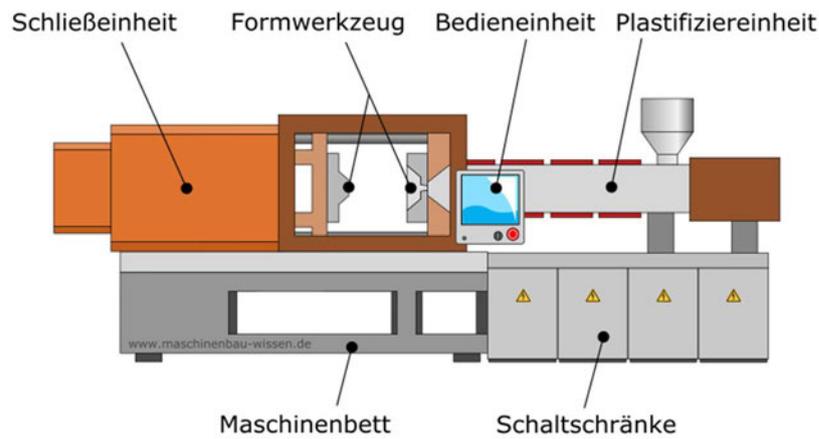


Abbildung 1: Aufbau einer Spritzgießmaschine [9]

Spritzgießprozess – Hierbei muss eine Prozesszeit durchlaufen werden, um von der schmelzähnen Formmasse zu einem entformenden Formteil (Spritzteil) zu kommen. Der Spritzgießprozess besteht aus einer Abfolge von Teilschritten. Über den Massetrichter, oberhalb der Plastifiziereinheit (bestehend aus: Schnecke, Massezylinder und Heizband), wird die Kunststoffausgangsmasse in den Schneckenraum eingeführt (siehe Abb. 2). Diese wird mit Hilfe der Schnecke zu den Düsen weiter transportiert. Durch die Abscherbeanspruchung der Schnecke und der Zylinderwand wird die Masse beim Transport erwärmt und plastifiziert. Mittels einem relativ hohen Drucks wird die Formmasse in den Werkzeughohlraum gespritzt. Nach einer Abkühlzeit können die Formteile aus der beweglichen und feststehenden Werkzeughälfte entnommen werden [10, S. 163-167].

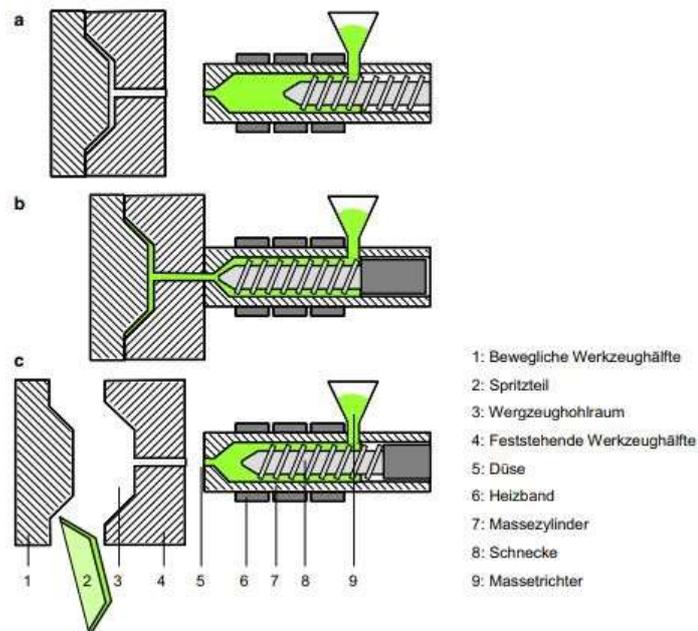


Abbildung 2: Plastifiziereinheit und schematische Darstellung des Spritzgießprozesses [10, S. 163]

2.2.1. Herstellungsrelevante Kunststoffeigenschaften

In dieser Bachelorarbeit geht es vorrangig um Kunststoffe, welche durch das Spritzgießen verarbeitet werden. Für ein qualitatives Ergebnis müssen die Eigenschaften der Polymere beachtet werden. Deshalb werden im Folgenden die, für die Herstellung eines Formteils, relevanten Kunststoffeigenschaften vorgestellt und deren Einfluss auf die Formteileigenschaften erklärt.

Kunststoffe sind synthetische oder natürliche organische Materialien, welche aus Makromolekülen bestehen. Diese Makromoleküle werden durch das Aneinanderreihen von Monomeren gebildet. Mit Hilfe der Moleküle entsteht eine Aneinanderreihung von langen Ketten, welche unter Wechselwirkungen einen Zusammenhalt ermöglichen. Es existieren drei verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung von polymeren: die Polymerisation, die Polyaddition und die Polykondensation [11]. Die Kunststoffe sind die am meisten verwendete Gruppe unter den Polymeren. Die Kenntnis über die Werkstoffeigenschaften der einzelnen Kunststoffarten ist von entscheidender Bedeutung für die Verwendung wie auch für die Verarbeitung. Die Wirtschaftlichkeit der Kunststoffe gegenüber den Metallen resultiert aus einem geringeren Energieverbrauch bei dem Urformprozess, der Gestaltungsfreiheit und der Funktionsintegration [12]. Die Kunststoffe werden anhand ihrer Leistungsfähigkeit in die folgenden Gruppen differenziert:

Standardkunststoffe: Sind alle gängigen Thermoplaste die z.B. in der Verpackungsindustrie vielfältigen Einsatz finden oder an die keine besonderen mechanischen oder thermischen Anforderungen gestellt werden. Beispiele hierfür sind: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol (PMMA). [12].

Technische Kunststoffe: Diese sind bestens für die Verwendung in Konstruktionen geeignet, wo gewisse mechanische und/oder elektrische Eigenschaften gefordert sind. Beispiele sind: Polyamid (PA), Polyoxymethylen (POM), Polycarbonat (PC) sowie Polyethylenterephthalat (PET) [ebd.].

Hochleistungskunststoffe: Dies sind Werkstoffe, welche besondere Eigenschaften aufweisen und für bestimmte Anwendungen vorgesehen sind. Beispiele sind: Polysulfone (PPS/PPSU), Polyetheretherketon (PEEK), Polyphenylensulfid (PPS), Polyvinylidenfluorid (PVDF) sowie Polytetrafluorethylen (PTFE) [ebd.].

Für den Spritzguss wichtige Kunststoffeigenschaften – Die Auswahl des Kunststoffes basiert auf dem Wissen des molekularen Aufbaus der Kunststoffe. Zudem hilft dieses Wissen bei der Optimierung der Kunststoffeigenschaften für den konkreten Anwendungsfall. Somit ist das Kunststoffverhalten für alle Verarbeitungsprozesse unabdingbar. Beispielsweise werden die Formteile, nach dem Füllprozess der Kavitäten, Wärme zu- oder abgeführt, was die Eigenschaften des eingesetzten Werkstoffs gravierend beeinflusst. Ohne die Kenntnis der Einflüsse auf die Eigenschaften, kann kein Formteil von guter Qualität produziert werden. Somit werden die Produkteigenschaften von dem Verarbeitungsprozess sowie der Kunststoffeigenschaft beeinflusst [10, S.1-2]. Wichtige Kunststoffeigenschaften werden deshalb im Folgenden kurz beschrieben.

Viskosität: Die Viskosität beschreibt die Zähigkeit von Fluiden, bzw. den inneren Widerstand einer Flüssigkeit gegenüber einer Scherkraft. Je kleiner die Viskosität, umso dünnflüssiger, fließfähiger ist das Fluid. Die Viskosität von Kunststoffschmelzen ist nicht nur abhängig von der Schergeschwindigkeit und der Temperatur, sondern auch vom Druck. Eine hohe Schergeschwindigkeit ist vorteilhaft, da die Viskosität und somit auch die einzubringende Energie zum Transport verringert wird. Auch verändert sich die Viskosität mit der Temperatur. Der

Temperaturverlauf hängt maßgeblich von der Wärmeleitfähigkeit der Schmelze, der Werkzeugwand, wie auch von der Einspritzgeschwindigkeit ab. Bei steigenden Temperaturen verringert sich die Viskosität, da sich die Beweglichkeit der Makromoleküle erhöht. Mit ansteigendem Druck nimmt die Viskosität, je nach Kunststofftyp, mehr oder weniger zu. Bei langsamer Einspritzgeschwindigkeit kommt es zu einem schnelleren Abkühlen der Schmelze, wodurch die Viskosität abnimmt. Folglich wird hierbei ein erhöhter Einspritzdruck benötigt [13].

Spezifisches Volumen: Das spezifische Volumen ist definiert als Kehrwert der Dichte und ist somit das Verhältnis von Volumen zu Masse. Die Dichte wird vornehmlich durch die Struktur der Kunststoffe beeinflusst. Je gepackter die Anordnung, desto höher ist die Dichte. Die Dichte und damit auch das Spezifische Volumen hängt von der Temperatur und von den Druckverhältnissen ab. Je höher die Temperatur und der Druck ist desto geringer wird die Dichte. Das spezifische Volumen nimmt durch die Abkühlung der Formmasse in dem Werkzeug leicht ab und das Formteil verliert an Volumen. Um maßhaltig und fehlerfrei fertigen zu können, muss man beim Spritzgießen durch eine Nachdruckphase, die Schwindung ausgleichen. Außerdem kann es durch die rasche Abkühlung der Außenflächen (Steifigkeitssteigerung der Außenwände) im Inneren zu Hohlräumen oder zu Einfallsstellen führen. Fällt die Schwindung des Formteils kleiner als die Rückstellverformung des Werkzeuges aus, so kommt es zu Entformungsproblemen oder/und zu Werkzeugschäden bzw. Beeinträchtigungen. Ebenfalls kann durch eine Biegeverformung ein Spalt entstehen, der zum Überspritzen führt. Deshalb ist es wichtig, dass das Schwindungsverhalten des Formteils bei der Konstruktion des Werkzeuges bekannt ist [14].

Eigenspannung: Eigenspannungen im Formteil entstehen hauptsächlich durch Scherbeanspruchungen und dem sich einstellenden Temperaturprofil. Dabei hat die Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze und der Werkzeugwand einen erheblichen Einfluss auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Formteile. In Wandnähe ist die Temperatur geringer als in der Mitte, deshalb erstarrt die Schmelze dort schneller und schirmt die zur Mitte hin restliche Schmelze ab. Auf Grund des Kontraktionsvermögens nach der Entformung versuchen sich die in der Mitte wie auch am Rand befindlichen Materialbereiche zusammen zu ziehen. Da das Kontraktionsvermögen in der Mitte höher ist als in den Randschichten, entstehen Druckspannungen in den Randschichten und Zugspannungen in den mittleren Bereichen. Grundsätzlich zeichnen sich Eigenspannungen durch Vorhandensein von Zug-, -und Druckspannungen aus, welche nach Außen hinaufheben. Diese Eigenspannungen führen bei zu geringer Steifigkeit der Formteile zu Verzug und damit zu sichtbaren Verformungen im Bauteil. Durch das Einspannen des entformten Teils in einer Abkühllehre, kann ein Verzug unterbunden werden [15, S.379-381].

Orientierungen: Unter Orientierung versteht man die Ausrichtung der Makromoleküle in einem Polymer während dessen Verarbeitung. Die Makromoleküle werden durch die Deformationen ausgerichtet. Dieser Vorgang wird zuerst in der Wandnähe stark ausgerichtet, da hier die größten Schubspannungen vorhanden sind. Da in diesem Bereich auch ein großes Temperaturgefälle herrscht, erstarren diese Bereiche ohne, dass sich die Orientierung selbstständig wieder lösen kann. Bei orientierten Spritzgussteilen entstehen Werkstoffeigenschaften, welche in Orientierungsrichtung besser und senkrecht dazu schlechter sind. Dadurch erhöhen sich die Festigkeitskennwerte und andere Eigenschaften, wie die Wärmeleitfähigkeit in Orientierungsrichtung. Dieses Anisotrope Verhalten ist jedoch meist unerwünscht. Zudem führt dies zu weiteren Problemen, wie dem Verzug und der Schwindung bei höheren Gebrauchstemperaturen. Ob im Formteil nach dem Abkühlen die Orientierungen erhalten bleiben, hängt vom Temperaturgradienten zwischen der Werkzeugwand und der Schmelze ab. Für die Bildung der Orientierung muss eine fließfähige ausgerichtete Polymerschmelze und eine ausreichend schnelle Kühlung vorliegen [ebd., S.386-390].

Kristallisation: Amorphe teilkristalline Thermoplaste bilden ausgehend von Keimen Kristallite und somit geordnete Bereiche, welche bessere mechanische Eigenschaften aufweisen als nur die amorphen Bereiche. Hier kommt es beim Erstarren der Schmelze zu einer partiellen Ordnung der Molekülketten im Polymer. Neben dem Erstarren kann eine Kristallisation auch aus einer Lösung erfolgen. Die Makromoleküle der Polymere weisen meist Seitenketten auf. Sind diese Seitenkettengruppen in einem Kunststoff klein genug und weisen entlang der Molekülkette eine gleichmäßige Anordnung auf, so können sich kristalline Strukturen bilden. Eine vollständige Kristallisation eines Polymers tritt nie auf, da sich die Molekülketten selbst bei der Anordnung behindern und es auch Unregelmäßigkeiten im Polymeraufbau gibt. Der Kristallisationsgrad beschreibt den Anteil des kristallinen Bereichs am ganzen Formteil. Dieser Anteil ist durch den Verarbeitungsprozess beeinflussbar. Je schneller das Werkzeug die Schmelze abkühlt, desto geringer ist der Kristallisationsgrad, da die Kettenmoleküle weniger Zeit haben sich anzuordnen und eine gepackte Struktur anzunehmen. Die Kristallisation kann sogar dadurch unterbunden werden. Jedoch kommt es mit der Zeit zu einer Nachkristallisation, was wiederum mit Verzug verbunden ist. Deshalb sollte beim Einsatz von solchen Kunststoffen darauf geachtet werden, dass das Werkzeug bei ausreichend hohen Temperaturen gehalten wird und der Nachdruck länger wirkt, um dem Kristallisationsvorgang mehr Zeit zur Verfügung zu stellen [ebd., S.391-392].

2.4.Verschweißen der Formteile durch das Ultraschallschweißen

Eine weitere Aufgabe im Rahmen der Bachelorarbeit ist es das Werkzeug: „Sonotrode“ und „Aufnahmewerkzeug“ für die Verschweißung des Schlüsselanhängers zu beschaffen, welches beim Ultraschallschweißen eingesetzt wird. Für die Verschweißung des Schlüsselanhängers wird die Ultraschall- Schweißmaschine der HAW genutzt. Hierbei handelt es sich um das Modell 2000x dt 20:2,5 [7]. Zuerst werden die allgemeinen Grundlagen zu der heutigen Technologie des Ultraschallschweißens beleuchtet. Die Ultraschallschweißanlage und ihre Funktionen werden nur kurz zusammengefasst.

Das Ultraschallschweißen ist ein Verfahren bei dem thermoplastische Kunststoffe zusammengefügt werden. Das Verfahren wird bereits seit den siebziger Jahren in der Serienfertigung von Kunststoffprodukten eingesetzt und findet in vielen Bereichen der Industrie Anwendung. Aufgrund von hohen Prozessgeschwindigkeiten und reproduzierbaren Schweißergebnissen wird das Verfahren vor allem bei der Großserienproduktion wie z.B. in der Automobil-, Elektro-, Medizin-, Verpackungs-, Hygiene-, Filter- und der allgemeinen technischen Industrie eingesetzt. Gute Schweißresultate hinsichtlich Festigkeit, Dichtigkeit und optisch gutem Eindruck lassen sich dabei erreichen. [40, S.2-3]. Aufgrund der eingeschränkten Schweißwerkzeuggröße können in der Praxis nur kleine bis mittel große Bauteile mit einer maximalen Schweißnahtlänge von ca.300mm hergestellt werden. Ist die Schweißnahtlänge zu lang, so kann keine gleichmäßige Schwingung der Sonotrode und somit auch keine gleichmäßige Energieeinkopplung gewährleistet werden. Die charakteristischen Merkmale des Verfahrens sind die sehr geringen Schweißzeiten (0,1 -1,0s) und die besonders kurzen Haltezeiten (0,1 -2,0s). Die schnelle Zykluszeit ergibt sich aus der geringen Menge an aufgeschmolzenen Material im Nahtbereich. Des Weiteren ist das Verfahren durch seine hohe Wirtschaftlichkeit gekennzeichnet. Auf Grund seiner besonders kurzen Zykluszeit ist das Ultraschallschweißen für die Serienproduktion von hohen Stückzahlen besonders gut geeignet [16, S.137].

Weitere Beispiele im Ultraschallschweißen sind:

- Das Nieten oder Punktschweißen mit Handschweißgeräten.
- Das Verschweißen von Folien bzw. Geweben mittels rotierender Sonotrode [ebd.].

Die Ultraschall-Schweißmaschine und der Schweißprozess - Allgemein bestehen Ultraschall-Schweißmaschinen aus der Steuerung und einem Generator, Aufnahmewerkzeug (Amboß), der Schweißpresse (Pneumatiksystem), der Schweißeinheit und der Grundplatte (siehe Abb.3) [17].

Der Generator dient der Stromversorgung des Konverters und erzeugt eine Spannung von mehreren hundert Volt mit einer Frequenz von 15 - 70 kHz. Dieser befindet sich meistens in einem eigenen und von der Schweißmaschine getrennten Gehäuse. Bei der Auswahl des Generators ist die Schweißanwendung entscheidend, denn über die Amplitudenregelung wird die benötigte Energie für die Fügezone eingestellt. Die Schweißeinheit besteht aus dem Konverter, dem Booster und der Sonotrode. Der Konverter wandelt, die vom Generator erzeugte hochfrequente elektrische Spannung in mechanische Schwingungen gleicher Frequenzen um. Die vom Konverter bereitgestellte Ausgangsamplitude hängt vom Generator und den eingesetzten Piezokeramiken ab. Diese Amplitude wird anschließend an den Booster weitergeleitet. Die Ausgangsamplitude wird anschließend von dem Booster an den benötigten Sonotrode Wert angepasst und weitergeleitet. Die Anpassung der Amplitude kann je nach Bauform und Masse des Boosters verkleinert oder vergrößert werden. Da Kunststoffe größere Amplituden benötigen, ist zu meist letzteres der Fall.

Die Sonotrode ist das Schweißwerkzeug, das in direktem Kontakt mit dem Formteil kommt, welches in dem Aufnahmewerkzeug fixiert ist. Für gewöhnlich werden die Sonotroden aus Aluminium, Titan oder Stahl gefertigt. Ihre Geometrie ist sowohl von der Bearbeitungsaufgabe als auch von den bereitgestellten Frequenzen des Generators abhängig [17]. Die angepassten Schwingungen werden anschließend durch den Druck der Sonotrodenarbeitsfläche auf die zu verbindenden Formteile übertragen. Die Übertragung erfolgt dabei meist vertikal zu den Fügepartnern. Die zu verbindenden Fügepartner werden hierbei nur geringfügig im Schweißbereich „Fügezone“ erwärmt und erweichen daraufhin. Aufgrund der geringfügigen Erwärmung ist eine Beschädigung des umliegenden Materials ausgeschlossen. Nach einer geringen Zeit sind die Fügepartner aufgeschmolzen und verbinden sich. Nach dem Abkühlen und Erstarren sind die Fügepartner fest miteinander verschweißt. Die Verschweißung wird i.d.R durch eine hochfrequente mechanische Schwingung im Bereich von 20 bis 35 kHz erreicht, welche zwischen den Bauteilen zu Erwärmung durch Molekular- und Grenzflächenreibung führt [18, S.7].

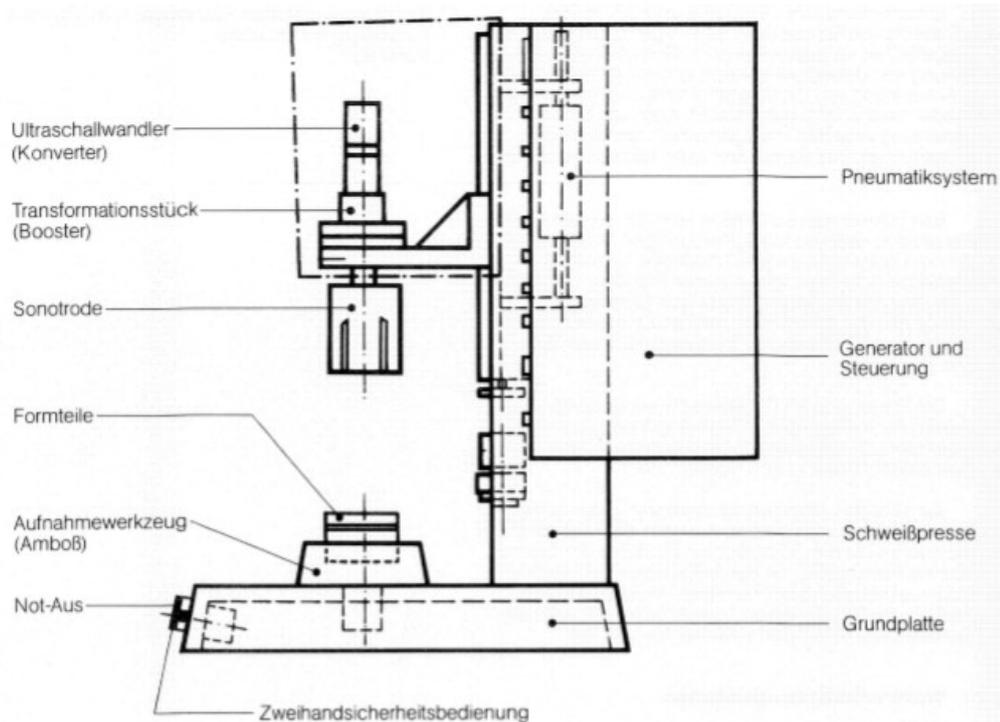


Abbildung 3: Aufbau einer Ultraschallschweißmaschine [18, S.8]

2.4.1. Kunststoffeigenschaften und ihre Einflüsse auf die Schweißbarkeit

Für eine allgemeine Beurteilung des Ultraschall-Schweißverhaltens von thermoplastischen Kunststoffen kann die Formteilgestaltung (Fügeflächen und Lage der Schweißnaht), die Optimierung des Schweißprozesses, die Ausführung der Schweißeinheit, das Aufnahmewerkzeug wie auch die Werkstoffeigenschaften herangezogen werden [18, S.13]. Die erreichbaren Schweißergebnisse hängen somit von einer Vielzahl von Faktoren ab. Im Folgenden werden die für den Schlüsselanhänger relevanten Werkstoffeigenschaften und Schweißparameter erläutert.

Werkstoffeigenschaften - Zunächst sind da die Werkstoffeigenschaften, wie Dichte (Fließfähigkeit), E-modul, Dämpfung (mechanischer Verlustfaktor), Reibungskoeffizient und Wärmeformbeständigkeit zu nennen [19, S.17-19]. Anders als beim Spritzgießverfahren haben hier die Werkstoffeigenschaften einen geringeren Einfluss auf den Herstellungsprozess. Prinzipiell können alle gleichartigen thermoplastischen Materialien mit dem Ultraschallschweißverfahren verschweißt werden. Um optimale Ergebnisse bei dem Schweißprozess zu erzielen ist es notwendig, dass die zu verbindenden Fügeteile aus der gleichen Werkstoffart und dem gleichen Werkstofftyp hergestellt werden. Dies gilt für alle teilkristallinen Kunststoffe [20, S.62]. Teilkristalline Kunststoffe zeichnen sich durch eine reduzierte Schalleitung aus, da sie stark dämpfend sind. Aus diesem Grund erfordern diese eine höhere Schweißkraft, Schweißamplitude und können ohne Verstärkung nur im Nahfeld (bis 6mm) geschweißt werden. Die amorphen Kunststoffe dagegen, haben eine gute Schalleitung, sind einfacher zu schweißen, benötigen eine niedrige Schweißamplitude und können auch ohne Verstärkung im Fernfeld geschweißt werden [40]. Bei den amorphen Kunststoffen gibt es einige Sonderfälle. Hierbei können auch unterschiedliche Kunststoffe verschweißt werden. Beispiele hierfür sind: ABS mit PMMA, ABS mit PVC, PMMA mit PVC. Das verschweißen von amorphen und teilkristallinen Kunststoffen hat bislang noch zu keinen brauchbaren Ergebnissen geführt [20, S.62].

Schweißparameter - Von großer Bedeutung für die Schweißqualität sind die gerätebedingten Parameter, wie Druck (Schweißkraft), Amplitude, Schweißzeit, Haltezeit und Haltekraft [19, S.15]. Das Ultraschallschweißen bietet durch die Vielzahl an möglichen Einstellparametern wesentliche Vorteile. Mit Hilfe zahlreicher detaillierter Messwerte kann eine Einstellung und Auswertung erzielt werden. Mit einer genauen Parametrierung erreicht man: die optimale Aufschmelzgeschwindigkeit, eine dichte und feste Schweißnaht und eine gute Reproduzierbarkeit der Schweißnahtqualität [40]. Für ein bestmögliches Ergebnis empfiehlt es sich daher die Schweißbarkeit der Fügeteile mit dem Ultraschall zu untersuchen. Mit Hilfe der Musterteile im Laborversuch werden die optimalen Arbeitsbedingungen ermittelt und festgehalten [19, S.15].

3. Anforderungen und Rahmenbedingungen des Schlüsselanhängers

Die Anforderungsliste ist ein nützliches Werkzeug, um die Kriterien bei einer Konstruktion in der Frühphase möglichst vollständig erfassen zu können. Durch das systematische Vorgehen wird eine vollständige Aufzählung der Anforderungen, gegliedert nach Forderungen und Wünschen, gewährleistet. Um diese zu finden werden in der vorliegenden Arbeit die Aufgabenstellung, der bisherige Versuchsaufbau, Konstruktionsrichtlinien für Spritzgussteile und Ultraschallschweißen, sowie die Checkliste analysiert und nach Anforderungen und Wünschen durchleuchtet. Um Fehler und nachträgliche Änderungen im Entwicklungsprozess zu vermeiden, ist eine sorgfältige Ausarbeitung der Anforderungen von Nöten. Von besonderer Wichtigkeit sind hierbei die gestaltungsbestimmenden Anforderungen, da diese den größten Einfluss auf das grundlegende Konzept haben [21, S.144-150].

Anforderungen aus der Aufgabenstellung - Die Aufgabenstellung: „Konstruktion eines multifunktionalen Hybrid-Kunststoffteils“ gilt als Grundlage für die Konstruktion des Schlüsselanhängers. Hierfür soll ein neuer End-to-end Herstellungsprozess für Kunststoff-Hybridbauteile etabliert werden. Die daraus erlangten Kenntnisse werden im Labor veranschaulicht und vertieft. Des Weiteren wird in Zukunft das Verfahren „Ultraschallschweißen“ sowie „Recycling“ im Kunststofflabor eingeführt. Somit muss bei der Entwicklung und Konstruktion des Schlüsselanhängers auch auf die Rahmenbedingungen des Ultraschallschweißens und des Spritzgießens geachtet werden. Zur Umsetzung des Recyclingprozesses wird ein thermoplastisches Material benötigt. Zusätzlich soll der Schlüsselanhänger die Hochschule repräsentieren und einen HAW Logo beinhalten. Dadurch werden folgende Anforderungen gestellt:

- Kunststoff-Hybridbauteile: verwendete Materialien sind Kunststoff und Metall
- Beschriftung: „HAW- Logo“
- Fertigungsverfahren: Spritzgießen
- Fügeverfahren: Ultraschallschweißen

3.1. Konstruktionsrichtlinien und Rahmenbedingungen für Spritzgussteile

Das Spritzgießen von Kunststoffformteilen erfordert eine gute Werkzeugkonstruktion und eine auf das Formteil abgestimmte Prozessführung. Des Weiteren müssen die Formteile gewissen Anforderungen wie der Werkstoff-, Verfahrens- und Werkzeuggerechten Konstruktionen entsprechen [15, S.237]. Aufgrund des Prozessverlaufs beim Spritzgießen und dem Verhalten der Kunststoffe, müssen gewisse Gestaltungsrichtlinien beachtet werden. Diese sind wesentliche Rahmenbedingungen, um ein funktionsfähiges und anforderungsgerechtes Spritzgussteil herzustellen [22]. Durch die Einhaltung der Konstruktionsrichtlinien können die Formbarkeit der Teile verbessert werden. Zusätzlich kann dadurch die Wahrscheinlichkeit von Stolperfallen, gestalterischen Fehlern und sonstigen Problemen reduziert werden [24]. Folglich werden die wichtigsten Gestaltungsfehler und die Designrichtlinien, die bei der Konstruktion des Schlüsselanhängers auftreten können, vorgestellt [22].

Rundungsradius – Alle Kunststoffe weisen eine Kerbspannungsempfindlichkeit auf. Bei Belastungen an Kanten und Ecken kommt es daher an jenen Stellen zu Belastungsspitzen. Die Ausprägung der Belastungsspitzen ist von der Schärfe der Einkerbung abhängig. Bei Kunststoffen kommt es bei einer ungünstigen Belastung solcher Stellen oft zu Brüchen. Steile Ecken weisen im Gegensatz zu abgerundeten Ecken eine hohe Spannungskonzentration auf und beeinträchtigen den Kunststofffluss [15, S.472]. Aus diesem Grund sollten alle Bereiche mit

scharfen Kanten abgerundet werden. Für den Innenradius sollte das Verhältnis von Rundungsradius und Wanddicke des Formteils das 0,5-Fache der Wanddicke betragen. Für den Außenradius gilt als Richtwert das 1,5-Fache der Wanddicke oder der Innerradius mit der Wanddicke addiert. Dabei gilt, je höher der Ausrundungsradius desto besser [23]. Des Weiteren weisen die Ausrundungen einen positiven strömungstechnischen Effekt in den Spritzgießprozess auf. Durch die Abrundung der scharfen Kanten, können die Auswaschungen im Werkzeug gemindert werden. Des Weiteren unterstützen diese den Entformungsprozess. Durch die abgerundeten Ecken des Formteils wird das Risiko der Verhakung, Verformung oder gar Brüchen reduziert [24].

Entformungsschrägen – Nach der Abkühlphase muss das Formteil entformt werden. Durch die Schwindung lassen sich die Formteile an das Formwerkzeug heften. Mit Hilfe der zuvor eingebrachten Entformungsschrägen, kann das Formteil mit geringer Reibung aus der Form gelöst werden [15, S.475]. Bei zu geringen Formschrägen wird ein übermäßiger Druck des Auswerfsystems notwendig. Hierdurch können Teile oder auch die Form beschädigt werden. Um solche Schäden zu vermeiden, gilt die Regel: 1 Grad Formschräge pro 25 mm Hohlraumtiefe. Diese Angaben müssen an den gewählten Werkstoff und die Form angepasst werden [24].

Wanddicke – Die gespritzten Formteile weisen entlang der unterschiedlichen Wanddicke eine ungleichmäßige Abkühlung auf. Dies wirkt sich negativ auf die Formteilqualität aus, da unterschiedliche Kühlzonen auch unterschiedliche Schwindungsbereiche mit sich bringen. Je größer die Wanddicke, desto größer sind die möglichen negativen Auswirkungen. Es empfiehlt sich daher eine möglichst dünnwandige Konstruktion. Hierbei gilt: Je dünnwandiger die Konstruktion, desto besser. Die Wanddicke sollte jedoch die 0,5mm Grenze nicht unterschreiten. Werden die Wände zu dünn konstruiert, so rollt sich das Formteil zusammen. Diese Verformungen lassen sich durch Befolgung der folgenden allgemeinen Richtlinien zur Wandstärken vermeiden [25]:

- Die Wandstärke sollte innerhalb der empfohlenen Dickenbereiche des ausgewählten Werkstoffs liegen (siehe Tabelle 1) und nicht weniger als 40% bis 60% der Stärke der benachbarten Wände betragen [26].

Tabelle 1: Wandstärkeempfehlungen nach Kunststofftyp [26]

Kunststoff	mm
ABS	1,143 - 3,556
Acetal	0,762 - 3,048
Acryl	0,635 - 3,810
Flüssigkristall-Polymere	0,762 - 3,048
Lanfaserige verstärkte Kunststoffe	1,905 - 25,40
Nylon	0,762 - 2,921
Polycarbonat	1,016 - 3,180
Polyester	0,635 - 3,175
Polyethylen	0,762 - 5,080
Polyphenylensulfid	0,508 - 4,572
Polypropylen	0,635 - 3,810
Polystyrol	0,889 - 3,810
Polyurethan	2,032 - 19,05

- Teilgeometrien, wie ungestützte, lange Kanten, schlecht konzipierte Verstärkungen und scharfe Innenecken sollten unabhängig von der Wandstärke vermieden werden [26].
- Zur Verstärkung von hohen Wänden, sollte man Rippen verwenden [23].
- Bei unterschiedlichen Dicken sollte der Übergang mit einer Fase oder Verrundung mit einer Länge, die das 3-fache der Dickendifferenz beträgt, geglättet werden [ebd.].

Werden diese grundlegenden Regeln ignoriert, so können Einfallstellen, Verformungen oder eine fehlende Funktionsfähigkeit auftreten [25].

Das Aushöhlen dicker Abschnitte - Dicke Abschnitte können zu verschiedenen Defekten, wie beispielsweise dem Verziehen und Absinken führen. Daher ist es wichtig die Dicke an jedem beliebigen Abschnitt des Entwurfs an die zuvor empfohlenen Werte anzupassen. Die empfohlene Dicke kann hierbei durch das Aushöhlen einzelner Abschnitte erzielt werden [23].

Um die Festigkeit und Steifigkeit von Hohlprofilen zu verbessern, sollten Rippen verwendet werden [ebd.]. Auch hierbei sollten folgende Richtlinien beachtet werden:

- Dickere Abschnitte sollten ausgehöhlt und mit Rippen verstärkt werden, um so die Festigkeit und Steifigkeit des Teils zu verbessern [ebd.].
- Die Rippen sollten eine maximale Dicke des 0,5-fachen der Wanddicke aufweisen [ebd.].
- Die Rippen sollten eine maximale Höhe des 3-fachen der Wanddicke aufweisen [ebd.].

Ebene Flächen vermeiden – Herstellung ebener Flächen im Spritzgießprozess gehören mit zu den schwierigsten Herausforderungen und sollten vermieden werden. Ebene Flächen neigen zu Einfallstellen und Beulen, weil geringste örtliche Änderungen, wie beispielsweise unterschiedliche Abkühlung im Werkzeug, Schwindungen und Nachschwindungen zu anfälligen und instabilen Zuständen führen [25].

Hinterschneidungen – sind Formelemente, die eine Entformung des Formteils behindern, weil sie quer zur Entformungsrichtung ausgeprägt sind. Diese sind generell bei der Konstruktion zu vermeiden, da sie die Werkzeugkosten durch zusätzliche Elemente, wie z.B. Schieber oder faltbare Kerne, deutlich erhöhen können. Mithilfe der Zwangsentformungen können solche Hinterschneidungen bis zu einem gewissen Grad überwunden werden. Entscheidend dabei ist, dass die zulässige Spannung bei der herrschenden Entformungstemperatur nicht überschritten wird. Werkzeugtechnisch löst man Hinterschneidungen mit beweglichen Schiebern oder mit faltbaren Kernen (Innengewinde oder innenliegende Hinterschneidungen) auf. Eine weitere Möglichkeit zur Entformung von Hinterschneidungen bieten Schmelzkerne oder die Herstellung und Verschweißung von Halbschalen. Des Weiteren gibt es zur Vermeidung von Hinterschneidungen weitere kreative Lösungen [ebd., S.475].

Angussreste – Hierbei handelt es sich um kleine, unschöne Stellen am Anfang des Formteils, die nach dem Spritzgießen beim Entfernen des Angusses zurückbleiben. Zur Vermeidung des Angusspunkts wird das Formteil in der Werkzeugform so ausgerichtet, dass die zusehenden Oberflächen unbeeinträchtigt bleiben [22].

Die meisten der aufgeführten Probleme können durch leichte Änderungen am Design oder durch die Wahl eines anderen Werkstoffs gelöst werden. Bei schwierigen Geometrien ist häufig eine Feinabstimmung der Einspritzgeschwindigkeit, der Einspritztemperatur, der Verweilzeiten oder aller drei Faktoren notwendig [ebd.].

3.2. Konstruktionsrichtlinien und Rahmenbedingungen für das Ultraschallschweißen

Bereits während der Konstruktionsphasen „Analysieren und Konzipieren“ wird die Qualität der Schweißnaht entscheidend mitbestimmt. Die Konstruktion der Fügepartner als auch der Schweißprozess selbst sollten daher schweißgerecht ausgeführt sein. Die Schweißnaht der Fügepartner sollte den Anforderungen im Hinblick auf die Belastbarkeit, Dichtigkeit oder Optik, unter Berücksichtigung des Schmelzeaustriebs, entsprechen. Das Weiter ist das unterschiedliche Schweißverhalten der thermoplastischen Kunststoffe bei der Werkstoffauswahl zu berücksichtigen. Neben der Auswahl des Werkstoffs und den maschinenbedingten Parametern, spielen die konstruktiv beeinflussbaren Faktoren ebenfalls eine wesentliche Rolle [18, S.17]. Im Folgenden werden daher die wichtigsten Gestaltungsrichtlinien, die für die Konstruktion des Schlüsselanhängers relevant sind, vorgestellt.

Zentrierung der Formteile – Das Formteil (Ober- und Unterteil) muss so zentriert sein, dass es beim Ultraschallschweißen seine Position beibehält. In der Regel ist eine Zentrierung über das Formteil anzustreben. Die Zentrierhöhe sollte nicht unter 1 mm liegen. Das Passungsspiel zwischen Ober- und Unterteil sollte möglichst gering sein und dabei die 0,05 mm Grenze nicht unterschreiten. Dieses Spiel muss auch bei Schrägen und konisch zulaufenden Wandungen bis zur endgültigen Einsinktiefe vorhanden sein [18, S.18]. Des Weiteren gilt es den Einsenkweg des Oberteils freizuhalten. Kanten, Stege oder Rippen dürfen das Einsenken nicht beeinträchtigen [ebd., S.19]. Im Folgenden werden einige Zentrierungsmöglichkeiten aufgeführt (siehe Abb. 4): die Geometrie der Fügeflächen, das Zapfen und die Bohrung, das Aufnahmewerkzeug, die Zentrierung und das Aufnahmewerkzeug [ebd., S.18].

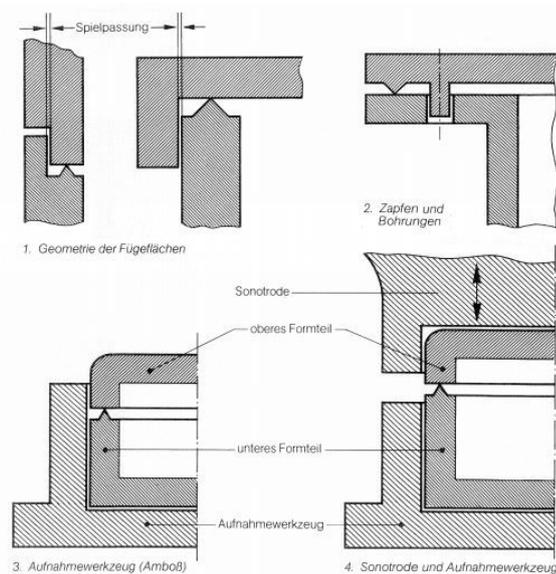


Abbildung 4: Zentrierungsmöglichkeiten der Formteile [18, S.18]

Konstruktion der Formteile – Die Formteile sind formsteif und mit genügend Wanddicke auszuführen. Ansonsten kann es bei dünnwandigen Formteilen zu einer Beschädigung kommen [18, S.17].

Ausrunden von Ecken und Kanten – Alle Ecken und Kanten sind an den Formteilen genügend auszurunden. Optimal werden Mindeststradien von 0,2 bis 0,5 mm vorgeschlagen. Dies ist besonders bei harten Kunststoffen wichtig, da zu scharfe Übergänge zu Rissen führen können [ebd., S.17].

Lage und Entfernung der Fügefläche zur Sonotrode – Die Fügeflächen sind so auszulegen, dass sie möglichst parallel zur Sonotrodenstirnfläche und senkrecht zur Sonotrodenachse angeordnet sind. Hierbei sollte die Entfernung der Fügefläche zur Sonotrodenstirnfläche geringgehalten werden [ebd., S.17].

Kopplung – Um möglichst verlustlos Ultraschallenergie von einem Formteil in ein anderes überzuleiten, sind entsprechende Kopplungseigenschaften die wichtigste Voraussetzung. Es wird eine glatte und flache Koppeloberfläche vorausgesetzt. Eine gewölbte Oberfläche gilt es zu vermeiden, da die Sonotrode wegen der im Spritzgussteil auftretenden Fehler schlecht angepasst werden kann. Ist eine gewölbte Oberfläche unvermeidlich, so ist die Kopplung zwischen Sonotrode und dem oberen Formteil nahezu perfekt auszulegen. Dadurch wird das Oberteil praktisch zu einem Teil der Sonotrode (siehe Abb.5) [20, S.70-71].

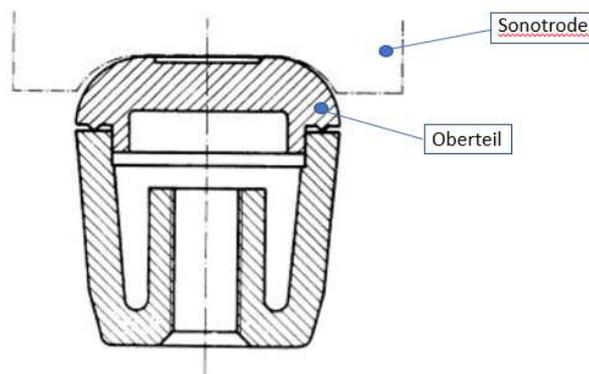


Abbildung 5: Beispiel, Kopplungsfläche zwischen Sonotrode und dem Oberteil [In Anlehnung an 20, S.71]

Ausreichend große Kopplungsflächen sind vorzusehen. Wird die Kopplungsfläche zu klein ausgelegt, so besteht die Gefahr, dass die aufgebrachten Schließkräfte der Presse eine mechanische Überlastung verursachen. Zum anderen kann es zu lokalen Überhitzungen führen, die zu starken Markierungen an der Formteiloberfläche führen [ebd., S.71].

Weisen die Koppelflächen zwischen Sonotrode und Formteil und zwischen den beiden Formteilhälften gleiche oder identische Flächenverhältnisse auf (siehe Abb. 6), so besteht die Gefahr eines mechanischen Ankoppelns. Dies führt wiederum zu einer Ultraschallenergieübertragung in die jeweilige Aufnahmevorrichtung. Ist die Kopplung zwischen unterer Formteilhälfte und der Aufnahmevorrichtung zu intensiv, so wird die gesamte Ultraschallenergie in die Aufnahme geleitet. Als Folge wird keine Schweißverbindung stattfinden. Zur Erreichung einer guten Schweißung müssen also gute Koppelverhältnisse zwischen den beiden Formteilhälften vermieden werden [ebd., S.71].

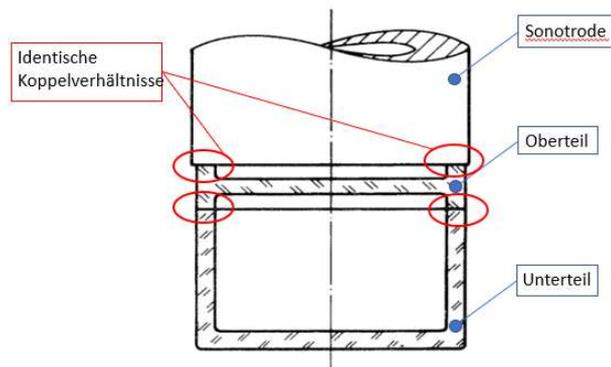


Abbildung 6: Identische Flächenverhältnisse vermeiden [In Anlehnung an 20, S.71]

Nahfeld-/Fernfeldverschweißung - Grundsätzlich sollte man konstruktiv versuchen, den Aufsetzpunkt der Sonotrode möglichst dicht an die Fügefläche in das sog. Nahfeld zu legen. Muss aus konstruktiven Gründen die Verbindungsstelle mehr als 6 mm von der Sonotrodenkoppel­fläche entfernt sein, also im sog. Fernfeld liegen. So ist zu berücksichtigen, dass die Wandungen des Kunststoffteiles die Ultraschallenergie zur Verbindungsstelle leiten müssen. Diese Wand­bereiche unterliegen selbstverständlich den physikalischen Schwingungsgesetzen. Deshalb las­sen sich nur genügend steife (amorphe) Kunststoffe, wie PS, PMMA, SAN, ABS, PVC und PC, im „Fernfeld“ verschweißen. Auch einige teilkristalline Kunststoffe wie POM, glasfaserver­stärktes PA und PET sind bei günstiger Formteilgeometrien im Fernfeld schweißbar. Ist eine Fernfeldschweißung notwendig, so sollte bei dem Maschinenhersteller angefragt werden ob eine zufriedenstellende Verschweißung möglich ist [20, S.72].

Gestaltung der Fügezone – Die Geometrie des Energierichtungsgebers der Formteile besteht aus Spitzen oder Kanten. Mittels der Energierichtungsgeber wird eine exakte Energieeinleitung erreicht, die Schmelzeinleitung definiert und das flächige Ankoppeln verhindert. Hierbei wer­den die Ultraschallwellen von den Formteilen bis hin zu der Füge­stelle übertragen. Die Schmelze bildet sich an den Kontaktstellen der Energierichtungsgeber. Für eine zuverlässige Prozessführung ist die Nahtgestaltung zwingend notwendig. Die Schweißzeit verlängert sich, sobald der Energierichtungsgeber fehlt. Zudem kommt es statt zur Nahtbildung zur Flächen­verschweißung. Hieraus resultiert eine mangelnde Festigkeit, eine Uneinheitlichkeit im Schweißergebnis und eine thermische Schädigung des Materials. Die Wahl der Nahtgestaltung sollte demnach anhand der gestellten Anforderungen (hohe Festigkeit und besonders empfind­liche Sicht- und Oberflächen), dem genutzten Kunststoff (amorph/teilkristallin) sowie der Bau­teilgeometrie (Wandstärken) erfolgen [ebd., S.73].

Energierichtungsgeber - Normalerweise hat der Energierichtungsgeber einen Winkel von 90° (siehe Abb.7, links). In Fällen, in denen diese Auslegung zu viel Schmelze erzeugt, kann der Winkel spitzer gewählt werden (60°). Bei mechanisch stark belasteten Teilen ist die spitzwink­lige Auslegung nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Höhe des Energierichtungsgebers richtet sich nach der Anforderung und der Größe des zu verschweißenden Formteils. Er kann zwischen 0,15 und 1,5 mm liegen. Der Größere Energierichtungsgeber produziert mehr Schmelze, die das optische Aussehen eines Teils ungünstig beeinflussen kann (siehe Abb.7, rechts). Bei schlecht gespritzten Kunststoffteilen kommt ein zu kleiner Energierichtungsgeber unter Um­ständen durch die Unebenheiten, wie z.B. Einfallstellen, nicht mehr zu Wirkung [ebd., S.74].

In Fällen, bei denen die Gleichmäßigkeit der Schweißung aus funktionellen Gründen oder an­deren Forderung nicht erfüllt werden kann, ist es ratsam die Menge des zu plastifizierenden Materials zu reduzieren. Die Reduktion kann durch die Verwendung eines unterbrochenen Energierichtungsgebers umgesetzt werden. Kleinere zu plastifizierende Mengen bedeuten, dass

zum einen die Schweißzeit niedrig gehalten werden kann und zum anderen eine leistungsschwächere und damit kostengünstigere Maschine zum Einsatz kommen kann [ebd., S.74].

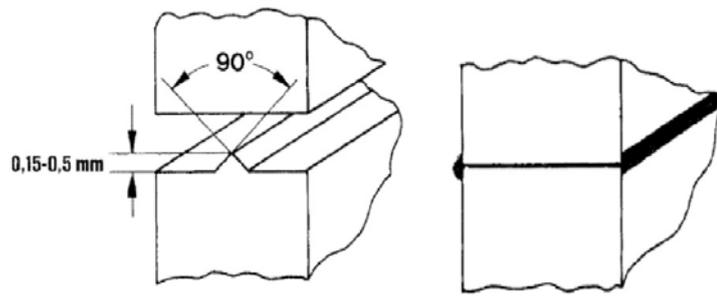


Abbildung 7: Der Energierichtungsgeber [20, S.73]

Stufennaht – Bei einer Nahtgestaltung mit einfachem Energierichtungsgeber tritt Schmelze zwischen die beiden zu verbindenden Formteile (siehe Abb.7). Wenn Schmelzgut dem Druck zweier Flächen ausgesetzt ist, so wird unvermeidlich ein Teil dieser Schmelze nach außen gelangen (Sichtfläche). Durch eine stufenweise Nahtgestaltung kann dieser Schmelzaustritt vermieden werden (siehe Abb.8). Hierbei wird an einem der zu verschweißenden Teile ein Kragen angespritzt, der sich in die Aussparung des Gegenstückes setzt. Zur Energiekonzentration wird auch hier wieder der Energierichtungsgeber verwendet. Diese Verbindung wird hauptsächlich eingesetzt, um ein Austreten von Schmelzgut zu verhindern und ein optisch sauber verschweißtes Teil zu bekommen [20, S.74].

Auch ist mit dieser Nahtausführung eine höhere Festigkeit als mit einem herkömmlichen Energierichtungsgebern erreichbar, da ein Teil des Schmelzgutes in den Spalt fließt. Mit der Stufennaht können spezielle Forderungen berücksichtigt werden. Beispielhaft hierfür ist die Vermeidung des Materialeintritts in den Innenraum des Formteils. Diese Nahtgestaltung eignet sich auch gut für teilkristalline Kunststoffe (z.B. PA). Die Stufenverbindung erfordert im Vergleich zu einfachen Energierichtungsgebern einen höheren Herstellungsaufwand bei der Spritzgießform. Zusätzlich ist diese Verbindung anfälliger auf Schwindung und Nachschwindung der zu verarbeitenden Formteile. Dies kann zu einem Klemmen der zu verschweißenden Formteile führen [ebd., S.75].

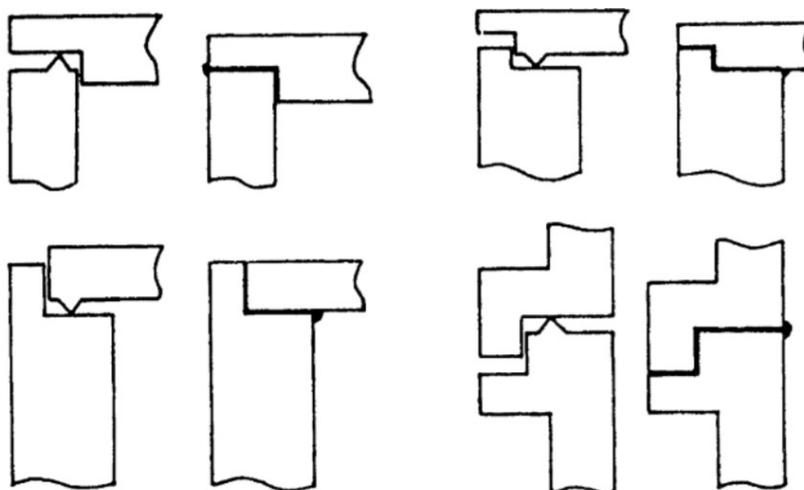


Abbildung 8: Beispielhafte Gestaltungsmöglichkeiten einer Stufennaht [20, S.75]

Nut-/Feder-Naht (Schmelze-Einkapselung) – Dies ist die theoretisch idealste Auslegung einer Schweißnahtverbindung und bietet die höchstmögliche Festigkeit. Die gut eingekapselte und austriebsfreie Schweißnaht bietet die bestmögliche Grundlage für die Selbstausrichtung (siehe Abb.9). Der eng tolerierte Luftspalt (ca. 0,1mm) sorgt für einen Kapillareffekt. Dadurch wird der komplette Nahtbereich mit Schmelze ausgefüllt und zugleich eine hohe Zuverlässigkeit für die Dichtschweißung ermöglicht. Für diese Form der Nahtgestaltung sind relativ große Wanddicken erforderlich. Sind diese Rahmenbedingungen gegeben, so gilt es diese Form der Nahtgestaltung zu präferieren [20, S.75-76].

In der Praxis wird diese Verbindung jedoch aufgrund des sehr hohen Herstellungsaufwands der Spritzgießform nur selten angewandt. Bei Schwierigkeiten in der Spritzgießtechnik sollte zumindest auf eine einseitige Kapselung zurückgegriffen werden. Aufgrund der Gefahr des Klemmens, ist diese Schweißnaht auf Formteile beschränkt, bei denen man Schwindung und Nachschwindung sehr gut erkennen kann. Die Wanddicke je Steg sollte mindestens 1 mm betragen. Bei dünneren Wanddicken kann diese wegplatzen und damit die Qualität der Schweißnaht und den Sichtbereich beeinträchtigen [ebd., S.75-76].

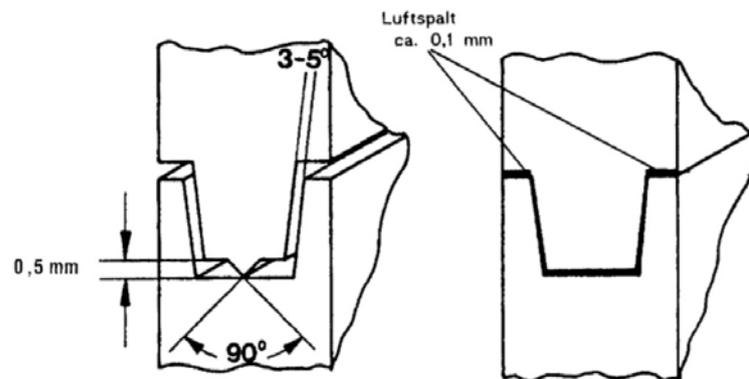


Abbildung 9: Auslegungsbeispiel einer Nut-Feder Naht [20, S.75]

Quetschnaht – Die Quetschnaht findet eine häufige Anwendung bei dem Verschweißen teilkristalliner Thermoplaste. Auch wird die Quetschnaht bei amorphen Kunststoffen, im Falle von dichten oder hochfesten Schweißverbindungen verwendet. Die Schwindungsmaße des Kunststoffes und die Bauteilgröße bestimmen die Stufenbreite der Naht. Die geforderte Qualität sowie die Festigkeit bestimmen die Schweißtiefe. Der Schweißvorgang bei der Quetschnaht beginnt mit dem Schmelzen der kleinen, anfänglichen Kontaktflächen und wird mit einer kontrollierten Interferenz entlang der Wand fortgesetzt, sodass sich die Teile zusammenschieben. Da bei die Schmelzfläche nicht mit der Umgebungsluft in Verbindung kommt, ergibt sich eine feste und luftdichte Abdichtung [20, S.77]. Für eine qualitative Quetschnaht sollte das untere Formteil eine Wanddicke von mindestens 2 mm aufweisen. Dies wirkt einen möglichen Ausknicken entgegen [27].

3.3. Anforderungen aus dem Kunststofflaborversuch

Im Laborversuch soll ein Spritzgießprozess für eine Kunststoffbauteilprobe aus Polypropylen erstellt werden. Dabei werden zwei Zugversuchsproben pro Spritzgießverfahren erstellt, analysiert und ggf. optimiert. Ziel ist schlussendlich durch den Zugversuch die Steifigkeit der Probe zu ermitteln. Der Versuchsdurchlauf soll innerhalb von 90 Minuten bearbeitet werden.

Im ersten Aufgabenteil sollen die benötigten Einstellparameter für die Spritzgießmaschine mithilfe einer Formelsammlung und Tabellen ermittelt und in die Maschine eingelesen werden. Soweit alles näherungsweise korrekt ist, kann die erste Probe gespritzt werden. Es gilt Fehler in den Proben zu erkennen und diese zu optimieren. Der Prozess wird solange wiederholt bis am Ende ein ideales Bauteil mit zufrieden stellender Oberflächengüte und Masse gegossen ist. Im Anschluss sollen die erstellten Proben direkt in der Zugprüfmaschine auf mechanische Werkstoffeigenschaften untersucht werden. Dazu wird die Probe in die Zugprüfmaschine eingespannt und mit einer genormten Geschwindigkeit auseinandergezogen. Beim Zugversuch mit Kunststoffen ist die Zuggeschwindigkeit die essenzielle Stellgröße. Die Datensätze von zwei Proben werden gespeichert und können anschließend ausgewertet werden.

Die Spritzgießmaschine hat eine Beschränkung für die Formwerkzeuge. Aus diesem Grund muss der Schlüsselanhänger eine kompakte und unkomplizierte Bauweise haben. Für den Versuch ist eine Zeit von 90 Minuten vorgesehen. In dieser Zeit müssen folgende Schritte erledigt werden: Einweisung für die Geräte mit Bedienungs- und Sicherheitshinweisen, Besprechung des Versuches, Spritzgießen und die Zugprobe.

Der Fokus während des Laborversuches liegt auf der Vertiefung und Verdeutlichung. Aufgrund der Zeitbeschränkung muss der Schlüsselanhänger montagegerecht und aus einer kleinen Baugruppe konstruiert, sowie schnell und fehlerfrei gegossen werden. Zusätzlich muss ein genormter Probekörper hergestellt werden [28].

3.4. Anforderungen aus der Checkliste

Bei dem Aufstellen der Produkthanforderungen wird sich an die vorhandenen Checklisten gehalten. Diese Checklisten erfassen sämtliche Standardanforderungen, die sich bereits über einen langen Zeitraum bewährt haben [29, S.81-82]. Im Folgenden werden die Anforderungen aus der Checkliste, die für den Schlüsselanhänger in Frage kommen vorgestellt.

Kosten - Insgesamt sollen die Kosten für die Herstellung des Schlüsselanhängers unter drei Euro liegen. Die Materialbeschaffung sollte möglichst einfach und kostengünstig sein.

Sicherheit - Durch den häufigen Kontakt mit dem Schlüsselanhänger wird ein Sicherheitsaspekt gefordert. So könnten beispielsweise scharfe Kanten oder spitze Komponenten bei Kundenkontakt eine Verletzungsgefahr darstellen.

3.5. Anforderungsliste für den Schlüsselanhänger

Die herausgearbeiteten Anforderungen an den Schlüsselanhänger werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Anforderungsliste für den Schlüsselanhänger [Eigene Darstellung]

W4=sehr wichtig W3= wichtig W2= interessant W1= wenn möglich		Anforderungsliste		Erstellt am: 07.11.2019	
				von: Kronevald	
Lfd.	F / W	Anforderung		Änderung	Verantwortlich
		Allgemein			
1	F	Material: Schlüsselanhänger	Kunststoff, Thermoplast		
2	F	Material: Zahnräder	Metall		
3	F	Nutzfunktion	Bewegliche Zahnräder		
4	F	Nutzfunktion	Universal Chip		
5	F	Beschriftung	HAW-Logo		
6	F	Kosten	Max. 3 Euro		
7	F	Fertigung eines genormten Probekörper			
8	F	Sicherheitsaspekt	Keine scharfen und spitzen Bereiche		
9	W4	Erleichterte und montagegerechte Konstr.			
10	W4	Kompakte und unkomplizierte Geometrie	Spritzguswerkzeuggröße beschränkt		
11	W4	Kleine Baugruppe	Wenig Baukomponenten		
		Fertigungsverfahren	Spritzgießen		
12	W4	Rundungsradius innen (ri)	0,4 - 0,6 x Wanddicke		
13	W4	Rundungsradius außen (ra)	1,5 x Wanddicke oder ri + Wanddicke		
14	W4	Entformungsschrägen	Min. 1		
15	W3	Verstärkung der Wände	Rippen		
16	W3	Rippenhöhe	Max. 3 Fache der Wanddicke		
17	W3	Rippendicke	Max. 0,5 Fache der Wanddicke		
18	W4	Empfohlene Wanddicke	Siehe Tabelle 1		
19	W4	Wanddickenübergang als Fase oder Verundung	3 x Dickendifferenz "H"		
20	W3	Dickere Abschnitte mit Rippen verstärken			
21	W4	Aushöhlen dicker Abschnitte			
22	W3	Ebene Flächen vermeiden			
23	W2	Anguss nicht in Sichtfläche platzieren			
24	W4	Hinterschneidungen vermeiden			
		Fertigungsverfahren	Ultraschallschweißen		
25	W4	Zentrierung der Formteile			
26	W4	Zentrierhöhe	Min. 1 mm		
27	W4	Passungsspiel der Zentrierung	Min. 0,05 mm		
28	W4	Formsteife Konstruktion	Genügend Wanddicke		
29	W3	Ausrunden von Ecken und Kanten	Mindest Radien von 0,2 bis 0,5 mm		
30	W3	Glatte und flache Koppeloberfläche (Oberteil)			
31	W4	Ausreichend große Kopplungsfläche			
32	W3	Nahfeld: Fügezone möglichst nah an Sonotrode	Max. 6 mm		
33	W3	Lage der Fügefläche	Senkrecht zur Sonotrodenachse		
34	W3	Lage der Fügefläche	Parallel zur Sonotrodenstrahlfläche		
35	W4	Fügezone	Energierichtungsgeber		

4. Entwicklung der grundlegenden Produktidee

Nach dem die Anforderungsliste aufgestellt ist, beginnt die Konzeptionsphase. In dieser Phase wird die grundlegende Produktidee entwickelt und der Lösungsweg festgelegt. Um die Hauptaufgabe der zu entwickelnden Konstruktion klar zu erkennen, muss die Aufgabenstellung auf den eigentlichen Zweck des Produktes analysiert werden [29, S.89].

Abstraktion - Der erste Schritt des Konzipierens ist die Abstraktion. Diese ermöglicht das Finden von übergeordneten Zusammenhängen, die Definition von tatsächlichen Problemen, die Reduktion der Komplexität, sowie das Hervorheben von wesentlichen Merkmalen [ebd., S.91]. Da es sich im Rahmen der Arbeit um die Konstruktion eines Schlüsselanhängers handelt, ist eine Abstraktion nicht erforderlich und wird im Weiteren nicht weiter ausgeführt.

Black-Box - Nach der Abstraktion folgt die Black Box Darstellung der obersten Funktionsebene. Diese dient der Verdeutlichung des Kernproblems und der Definition der Ein- und Ausgangsgrößen. Bei der Erstellung der Funktionsstruktur wird der Verlauf der Energie-, Stoff- und Signalflüsse durch das Produkt aufgezeigt. Je besser ein Produkt analysiert und die Eingangs- und Ausgangsgrößen beschrieben werden, desto besser wird das Verständnis für die Aufgabe [21, S.126-129].

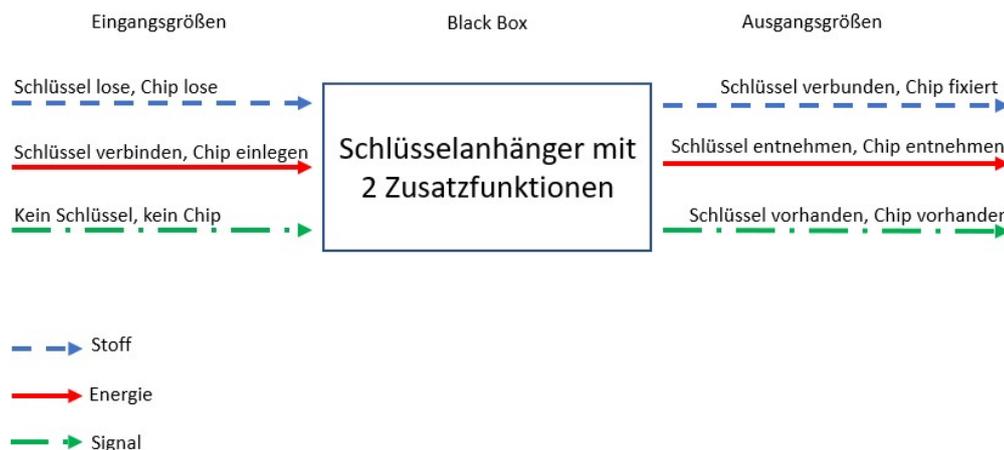


Abbildung 10: Black-Box des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

Funktionsstruktur - Nach der Black Box folgt die Funktionsstruktur. Hierbei wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufgeteilt, für die anschließend entsprechende Teillösungen gefunden werden müssen. Eine Funktionsstruktur wird erstellt, um sich von bekannten Lösungen nicht beeinflussen zu lassen. Aus dieser Erkenntnis lassen sich bei der Lösungssuche (Kapitel 4.1) Lösungsprinzipien generieren, die unter Umständen nicht gefunden werden, wenn das Produkt als Ganzes betrachtet wird [ebd.].

Obwohl der zu konstruierende Schlüsselanhänger eine simple Funktionsstruktur aufweist, muss diese dennoch erstellt werden, um zu verdeutlichen welche Vorgänge in welcher Abfolge erfolgen sollen. Hierdurch steigt die Wahrscheinlichkeit mögliche Denkfehler oder Fehlvorstellungen frühzeitig zu erkennen, wodurch Ressourcen für die Lösungsfindung eingespart werden können [21, S.129-136]. Die ermittelte Funktionsstruktur für den Schlüsselanhänger wird anhand der Abbildung 11 verdeutlicht.

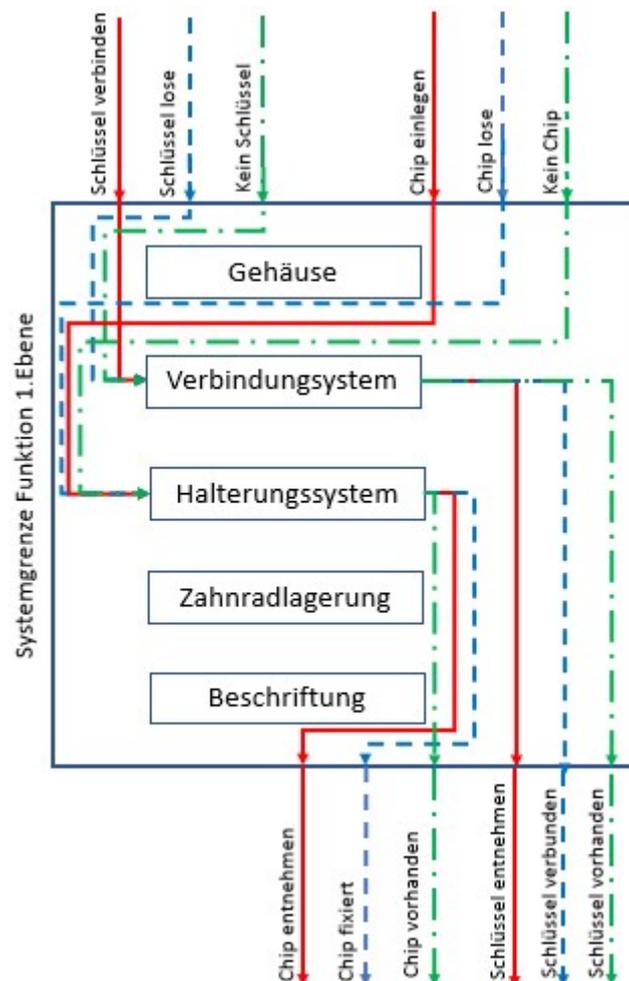


Abbildung 11: Funktionsstruktur des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

4.1. Suche nach Lösungen für die Einzelfunktionen

Nach der Aufstellung der Funktionsstruktur folgt die Lösungssuche. Hierbei werden Lösungen für die bereits ausgearbeiteten Funktionen des Schlüsselanhängers ermittelt. Die Findungsphase gehört dabei zu den anspruchsvollsten und kreativsten Vorgängen bei der Konstruktion. Entscheidend ist hierbei die Entwicklung von innovativen Möglichkeiten, ohne dabei von bereits bekannten Lösungen beeinflusst zu werden [30, S.22-24].

Das Vorgehen bei der Lösungssuche kann man wie folgt beschreiben werden:

- Suchen nach Wirkprinzipien für die jeweiligen Funktionen
- Kombinieren der Wirkprinzipien zu Lösungsvarianten
- Lösungsvarianten darstellen und beschreiben
- Auswählen geeigneter Lösungsvarianten

Ergebnis der konventionellen Methode der Internetrecherche - Diese beinhaltet die Suche nach Wirkprinzipien für das Verbindungssystem des Anhängers mit dem Schlüssel, das Halterungssystem für den Chip und die Beschriftungsmethode des Schlüsselanhängers.

Ein Wirkprinzip enthält den für die Erfüllung einer Funktion erforderlichen physikalischen Effekt, sowie die geometrischen und stofflichen Merkmale. Um ein optimales Produkt zu entwickeln, bedarf es einer möglichst großen Auswahl an Wirkprinzipien für die jeweiligen Funktionen. Es gibt drei Methoden, um die Suche effektiv voranzutreiben: Die konventionellen Methoden, die intuitiv betonten Methoden und die diskursiv betonten Methoden [29, S.112-114].

In der vorliegenden Arbeit wird die konventionelle Methode der Internetrecherche verwendet. Die Internetrecherche liefert unter den Schlagwörtern „Schlüsselanhänger, Beschriftung, Chiphalter“ unzählige Anbieter und verschiedenste Ausführungen. Die Herstellerwebseiten gewährleisten eine unkomplizierte Kontaktaufnahme zum Anbieter. Zudem wird eine genaue bildliche und schriftliche Darstellung der einzelnen Bestandteile, Materialien sowie dem Preis geboten. Diese Art der Informationsdarbietung führt zu einer Best möglichen und effizienten Recherche. Die Ergebnisse der Methode wurden geordnet und sind in Abbildung 12 mittels einer Mind-Map dargestellt.



Abbildung 12: Die Darstellung der Wirkprinzipien eines Schlüsselanhängers als Mind Map [Eigene Darstellung]

4.2. Morphologischer Kasten

Die morphologische Methode wird bei der Konstruktion sehr häufig angewendet. Sie beinhaltet die Analyse des konstruktiven Problems, die logische Gliederung des gesamten Problems in Teilprobleme, die Findung von Teilproblemlösungen und die Synthese dieser Teilproblemlösungen zu einer konstruktiven Gesamtlösung. Mit ihrer Darstellungsmethode hilft sie beim Aufzeigen von Lösungskombinationen und erleichtert die Kompatibilitätskontrolle [21, S.220-221].

Das Ergebnis der Lösungssuche ist in einem morphologischen Kasten (siehe Tabelle 3) abgebildet. Die Lösungen im morphologischen Kasten sind nach dem Relevanzgrad sortiert. Die realisierbaren Lösungen sind auf der linken Seite und die exotischen und somit schwer realisierbaren Lösungsvarianten rechts in der Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Darstellung der Lösungsvarianten eines Schlüsselanhängers anhand des Morphologischen Kastens [Eigene Darstellung]

Gesamtsystem: Schlüsselanhänger	Funktionen	Teillösung					
	1.Ebene	1	2	3	4	5	6
Verbindungssystem	Schlüsselring	Buchse	Durchgangsbohrung	S-Haken	Karabiner	Kette	
Halterungssystem	Klemmchiphalter	Chip mit einem Loch (Karabiner)	Klappchiphalter	Steckchiphalter	Magnetchiphalter	Schließfach für den Chip	
Beschriftung (Logo)	Embossing	Etikett	Prägung	Gehäuse in Form des "HAW-Logos"	Lackierung	Lasern	

4.3. Auswahl und Konkretisierung der Lösungsvarianten

Aus dem Morphologischen Kasten können die drei Lösungsvarianten aus der Kombination der Wirkprinzipien entnommen werden. Dieses Kapitel dient der Erläuterung, sowie der Konkretisierung der Lösungsvariantenauswahl.

Bewertung der Varianten mittels Gewichtungsmatrix - Mit Hilfe der Gewichtungsmatrix werden die drei gefundenen Lösungsvarianten bewertet. Um eine möglichst objektive Bewertung der Lösungsvarianten vornehmen zu können, müssen Sinnvolle Bewertungskriterien eingeführt werden. Dabei werden Bewertungskriterien, die sich aus den Anforderungen ergeben, in einer Matrix paarweise verglichen. Die verschiedenen Bewertungskriterien haben einen unterschiedlichen Einfluss auf den Erfolg des Schlüsselanhängers. Ist ein Kriterium wichtiger als das Vergleichskriterium, so wird es mit einem „+“ gekennzeichnet. Sobald das Vergleichskriterium eine höhere Bedeutung für den Schlüsselanhänger hat, wird ein „-“ eingetragen. Aus der Gesamtsumme der „+“ und der Summen der „-“ eines Kriteriums, lassen sich die Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien ermitteln (siehe Tabelle 4). Ohne die Vornahme einer Gewichtung würden alle Kriterien gleichermaßen bewertet werden, wodurch man den Erfolgsbeitrag eines einzelnen Kriteriums nicht mehr identifizieren könnte [31].

Tabelle 4: Bewertung der Lösungsvarianten eines Schlüsselanhängers mit der Gewichtungsmatrix [Eigene Darstellung]

Bewertungskriterien		Forderungen der Anforderungsliste erfüllt						Summe der „+“	Gewichtungsfaktor g	Rang
		1	2	3	4	5	6			
Lfdl.										
1	Forderungen der Anforderungsliste erfüllt	X	+	+	+	+	+	7	0,41176	1
2	geringer Montageaufwand	-	X	+	-	-	+	2	0,11765	4
3	geringer Fertigungsaufwand	-	-	X	-	-	+	1	0,05882	5
4	vorhandene Ressourcen verwenden	-	+	+	X	-	+	3	0,17647	3
5	vorhandene Maschinen verwenden	-	+	+	+	X	+	4	0,23529	2
6	geringe Werkzeugkosten	-	-	-	-	-	X	0	0	6
Gesamt								17	1	

Anwendung des Wertigkeitsverfahrens auf den Schlüsselanhänger - Bei dem Wertigkeitsverfahren werden die verschiedenen Lösungsvarianten anhand der ermittelten Gewichtungsfaktoren miteinander verglichen. Um den Vergleich durchzuführen, müssen die Kriterien mit Punkten bewertet werden. Die Tabelle 5 verdeutlicht eine solche Punktevergabe anhand der VDI 2225 Werteskala. Hierbei gilt: Die Bewertungskriterien der einzelnen Lösungsvarianten werden auf die Realisierbarkeit eingeschätzt. Je mehr Bewertungskriterien eine Lösungsvariante erfüllt, desto wertvoller ist sie. Erfüllt eine Variante die Bewertungskriterien vollständig, so erhält sie die Punktzahl 4 (sehr gut), bei vollständiger Nichterfüllung wird die Punktzahl 0 (unbefriedigend) vergeben. Um den unterschiedlichen Einfluss der Kriterien für das Gesamtergebnis des Schlüsselanhängers berücksichtigen zu können, werden die Punkte mit den Gewichtungsfaktoren der Kriterien multipliziert. Das über alle Kriterien addierte Summenprodukt

PI*gi ergibt die Bewertungszahl für die jeweilige Lösungsvariante. Die Lösungsvariante mit der höchsten Punktzahl führt schließlich zum besten Ergebnis [ebd.].

Tabelle 5: Bewertungsliste der Lösungsvarianten für den Schlüsselanhänger [Eigene Darstellung]

Bewertungsliste							
Wertigkeitsskala nach VDI 2225 mit Punktevergabe P von 0 bis 4 mit P = 0 = unbefriedigend bis P = 4 = sehr gut							
		LV1 ●		LV2 ●		LV3 ●	
Bewertungskriterium	g	P	P* _g	P	P* _g	P	P* _g
Forderungen der Anforderungsliste erfüllt	0,41176	4	1,64704	4	1,64704	4	1,64704
geringer Montageaufwand	0,11765	4	0,4706	1	0,11765	2	0,2353
geringer Fertigungsaufwand	0,05882	3	0,17646	2	0,11764	2	0,11764
vorhandene Ressourcen verwenden	0,17647	4	0,70588	2	0,35294	2	0,35294
vorhandene Maschinen verwenden	0,23529	4	0,94116	4	0,94116	4	0,94116
geringe Werkzeugkosten	0	0	0	0	0	0	0
Summe der Punkte:			3,94114		3,17643		3,29408
Rangfolge:			1		2		3
Wertigkeit Gesamtlösung:			0,985285		0,7941075		0,82352

Wie in der Tabelle 5 zu sehen ist, erhält die Lösungsvariante 1 (LV 1) nach der Punktevergabe die höchste Wertigkeit (0,985285). Diese Variante wird festgelegt und weiterverfolgt. Die nicht ausgewählten Varianten werden verworfen. Die Lösungsvariante 1 besteht aus einer Durchgangsbohrung als Verbindungssystem, Klemmchipherhaltung als Halterungssystem und dem „Embossing“ zur Beschriftung. Die Vorteile der Lösungsvariante 1 werden im Folgenden aufgelistet.

Die Vorteile der Durchgangsbohrung:

- Verbindung durch das Gehäuse
- Kostengünstig, da keine Zukaufteile benötigt werden
- Materialersparnis aufgrund der Durchgangsbohrung

Die Vorteile der Klemmchipherhaltung:

- Kompakte und unkomplizierte Bauweise
- Befestigung findet durch das Gehäuse statt
- Kostengünstig, da keine Zukaufteile benötigt werden

Die Vorteile des Embossing:

- Beschriftung erfolgt schon beim Spritzguss
- Kostengünstig, da kein extra Beschriftungsverfahren nötig.

Die Lösungsvariante mit der höchsten Punktzahl muss nicht gleich die beste Lösung sein. Das Verfahren ist ein Hilfsmittel zur Bildung einer subjektiven Bewertung. Falls nötig können die Wirkprinzipien bei der Gestaltung geändert werden.

5. Entwerfen und Auslegen der mechanischen Komponenten

Gemäß der Reihenfolge der Konstruktionstätigkeiten folgt nach der Konzeptionierung die Entwurfsphase und somit die Gestaltung der ausgewählten Lösungsvariante 1. Hierbei werden die Baustruktur und das konkrete Aussehen des ausgewählten technischen Erzeugnisses, unter Berücksichtigung von technischen und wirtschaftlichen Aspekten, festgelegt. Die Gestaltung erfordert die Wahl des Werkstoffs, die Hauptabmessungen der Kollisionsgefahr von beweglichen Teilen und die Festlegung von Lösungen für Gesamt-, Teil- und Einzelfunktionen [30, S.35].

Die Durchführung einer Berechnung sowie der Festigkeitsnachweis werden für den Schlüsselanhänger nicht benötigt, da es nur ein Teil gibt, das den Schlüssel mit dem Anhänger verbindet und mechanisch nicht beansprucht wird.

5.1. Auslegung und Grobgestaltung der Lösungsvariante 1

Die Konstruktion beginnt mit der Grobgestaltung der Außenform des Schlüsselanhängers und baut darauf die Innenkonstruktion auf. Als erstes wird die grobe Form und die Funktionen des Schlüsselanhängers konstruiert (siehe Abb.13). Die Form wurde so klein wie möglich ausgelegt, damit der Schlüsselanhänger eine kompakte Bauweise aufweist. Die Form wurde mit Kanten ausgelegt, wodurch die Gestaltung sportlicher und technischer wirkt. Um die Form und Gestaltung des Anhängers Best möglich beurteilen zu können wurde der erste physische Prototyp erstellt. Zudem konnten die Funktionen: Halterungssystem, Verbindungssystem und die Lagerung der Zahnräder anhand eines realen Modells erprobt werden. Bei der ersten Gestaltung werden noch keine Konstruktionsrichtlinien befolgt und die Details aus acht gelassen.

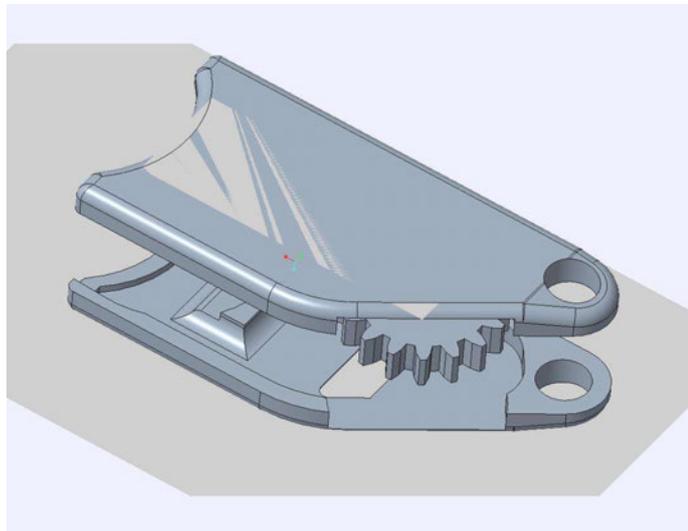


Abbildung 13: Erste Ausarbeitung: Grobgestaltung, Form und Funktionen des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

5.1.1. Anfertigung und Beurteilung des ersten Prototypen

Als Prototypen gelten physikalische, digitale Modelle sowie Zeichnungen. Physikalische Modelle können einerseits ausprobiert und bedient werden, andererseits gehen sie auch mit einem hohen Herstellungsaufwand und Preis einher. Eine weniger aufwendige Alternative sind

Zeichnungen und digitale Modelle. Anhand des Prototypen können dem Kunden erste Eindrücke des späteren Produktes vermittelt werden. Während der Prototypenbesprechung können aus den Kundenreaktionen Anforderungen abgeleitet, sowie bereits aufgestellte Anforderungen besprochen werden. Dies sorgt für eine vereinfachte und den Kundenwünschen entsprechende Entwicklung des Schlüsselanhängers.

Die folgende Arbeit verwendet das physikalische Modell, um die Gestaltung des Schlüsselanhänger zu beurteilen und wesentliche Funktionen im Vorfeld haptisch erproben zu können (siehe Abb.15).



Abbildung 14: Erster Prototyp von außen und von innen [Eigene Darstellung]

Ergebnis der Prototypenbesprechung - Die Prototypenbesprechung ergab, dass die „Etiketten“ der Lösungsvariante 2 für die Beschriftung am besten geeignet sind. Somit wird diese Beschriftungsvariante gegenüber dem Embossing vorgezogen. Die Etiketten bieten den Vorteil der Variation. So kann man kostengünstig verschiedene Etiketten in unterschiedlichen Farben und Motiven bestellen. Außerdem ergab die Besprechung das unser Schlüsselanhänger eine zu kantige Gestaltung aufweist. Diese soll für ein besseres Design und für eine höhere Benutzerfreundlichkeit (Handhabung) gewölbt gestaltet werden. Insgesamt ist die Grobform des Schlüsselanhänger in Ordnung und kann weiterhin beibehalten werden. Des Weiteren wurde beschlossen, dass das Verbindungssystem der Lösungsvariante 2 vorteilhafter ist. Da die Durchgangsbohrung und somit das Gehäuse der ersten Lösungsvariante durch die Benutzung beschädigt werden kann. Zudem erweist sich das Anbringen des Schlüsselringes bei dieser Bohrungstiefe als schwer und kann möglicherweise zu Beschädigungen führen. Die physische Erprobung der Klemmchiphalterung zeigte, dass die Halterungsfunktion ihren Zweck erfüllt und somit im Weiteren beibehalten werden kann. Die Zahnradlagerungen sind am Gehäuse breiter zu gestalten, um die Reibungsfläche zwischen Zahnrad und Gehäuse so gering wie möglich zu halten. Somit können sich die Zahnräder besser drehen und das Gehäuse bleibt von der Reibung verschont.

5.2. Ausarbeitung und Optimierung des ersten Prototypen

In diesem Kapitel wird der erste Prototyp im Bezug auf die Konstruktionsrichtlinien optimiert und die besprochenen Änderungen vorgenommen.

Halterungssystem – Aus der Prototypenbesprechung geht hervor, dass die Chiphalterung funktionstüchtig ist und somit übernommen werden kann. Das Halterungssystem wird daher im

Weiteren ausführlicher vorgestellt (siehe Abb. 15). Das Halterungssystem ist im Gehäuse integriert und exakt für den Durchmesser einer ein Euromünze so ausgelegt. Dadurch können die meisten Einkaufschips und Schrankmünzen mithilfe des Schlüsselanhängers transportiert werden. Höhe auf. Zusätzlich wurde am Ende der Halterung eine Verengung der Chiphalterung konstruiert. Diese bietet die Funktion der „Steckchiphalterung“ und gewährleistet somit eine zusätzliche Fixierung des Chips.

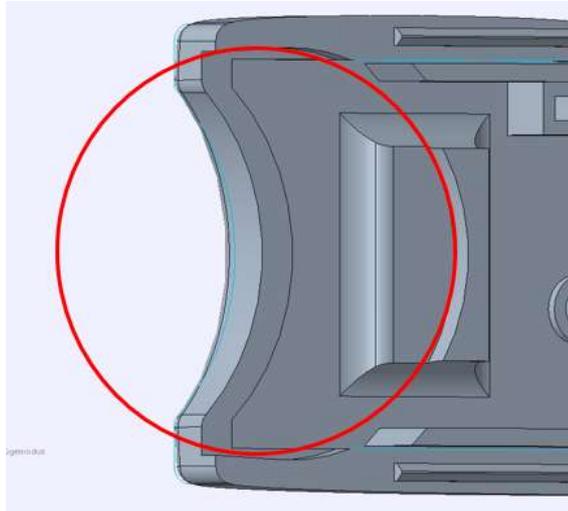


Abbildung 15: Das Halterungssystem für den Chip [Eigene Darstellung]

Lagerung und Auslegung der Zahnräder – Aus der Prototypenbesprechung geht hervor, dass Veränderungen an den Zahnradlagerungen vorgenommen werden müssen. Für die Optimierung wurden breite und kreisförmige Absätze um die zwei Lagerungen konstruiert (siehe Abb.16). Damit der Schlüsselanhänger kompakt und handhabbar bleibt, wurde die Zahnradstärke so gering wie möglich gehalten (3,8mm). Um ein bequemes Drehen und ein geringeres Verletzungsrisiko zu gewährleisten, wurden Zahnräder mit einer geringen Zähnezahl gewählt, da diese am Zahnkopf stumpfer sind. Es wurden zwei verschiedene Zahnräder mit 18mm und 12mm Außendurchmesser gewählt. Das große Zahnrad ist für das Drehen ausgelegt, da es eine größere Berührungsfläche bietet. Das andere Zahnrad dient der visuellen Darstellung der Zahnradverbindung und besitzt daher ein kleineres Außendurchmesser. Zusätzlich benötigt das kleine Zahnrad weniger Platz, wodurch die kompakte Bauweise des Schlüsselanhängers beibehalten werden kann.

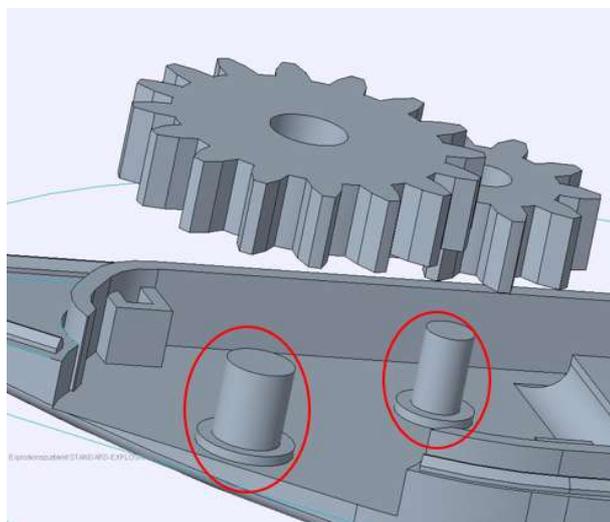


Abbildung 16: Lagerung und Auslegung der Zahnräder [Eigene Darstellung]

Ausschnitt Zahnradverbindung – Die Verbindung des Zahnradpaares wird durch einen Ausschnitt im Gehäuse sichtbar (siehe Abb.17). Die Darstellung dient der Optik und der Best möglichen Repräsentation der Maschinenbau Fakultät. Die Form des Ausschnittes wurde mithilfe einer Schräge optisch an die Gehäuseform angepasst.

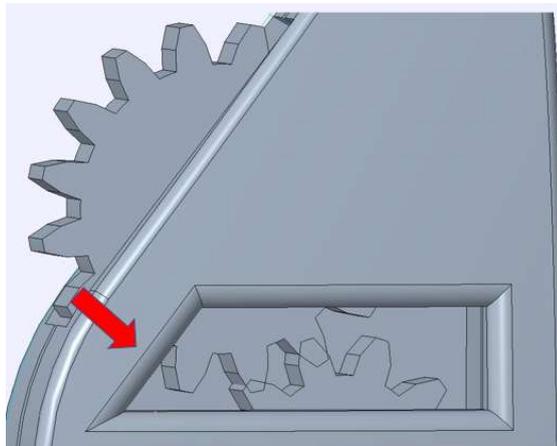


Abbildung 17: Der Ausschnitt der Zahnradverbindung im Gehäuse [Eigene Darstellung]

Verbindungssystem – Aus der Prototypenbesprechung geht hervor, dass der Schlüsselanhänger mit Hilfe eines im Gehäuse integrierten Schlüsselrings mit dem gewünschten Schlüssel verbunden werden soll. Das Verbindungssystem „Schlüsselring“ wurde aus der Lösungsvariante 2 übernommen, da dieser gegenüber der Durchgangsbohrung einen wesentlichen Vorteil aufweist: Der Schlüsselring wird in eine dafür konstruierte Nut im Gehäuse eingelegt und verschweißt (siehe Abb.18). Dadurch wird eine hohe Robustheit und längere Lebensdauer des Gehäuses gewährleistet. Die Nut wurde mit einem Innendurchmesser von 8mm und einem Außendurchmesser von 10,5 mm ausgelegt. Somit hat der Schlüsselring mit einem Außenradius von 10mm noch genügend Spiel um sich räumlich bewegen zu können. Die Höhe der Nut wurde auf 2mm festgelegt, damit der Schlüssel in den Schlüsselring eingeführt werden kann ohne das Gehäuse durch die Ausweitung zu beschädigen.

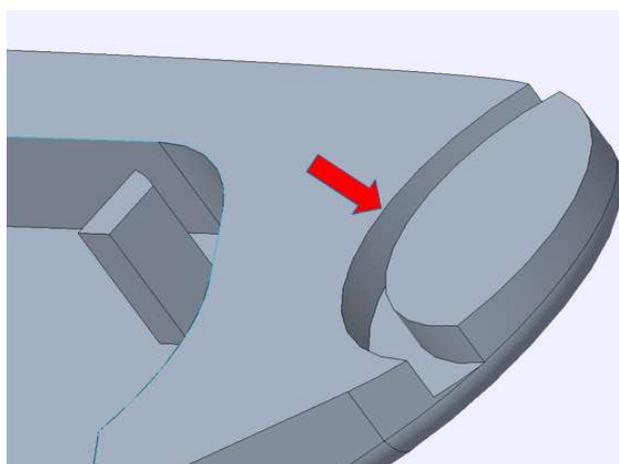


Abbildung 18: Die Nut als Verbindungssystem für den Schlüsselring [Eigene Darstellung]

Das Etikett - Aus der Prototypenbesprechung geht hervor, dass die Beschriftung mittels Etikett gegenüber dem Embossing einen wesentlichen Vorteil aufweist: Das Etikett ermöglicht eine

Variation der Beschriftung und ist zugleich kostengünstig. Für eine gute und langfristige Haftung des Etiketts wird am Gehäuse eine Vertiefung konstruiert (siehe Abb.20). Die Vertiefung schützt das Etikett an den Ecken und Kanten vor dem Abkleben. Die Größe des Etiketts wurde nach der optischen Ästhetik ausgelegt.

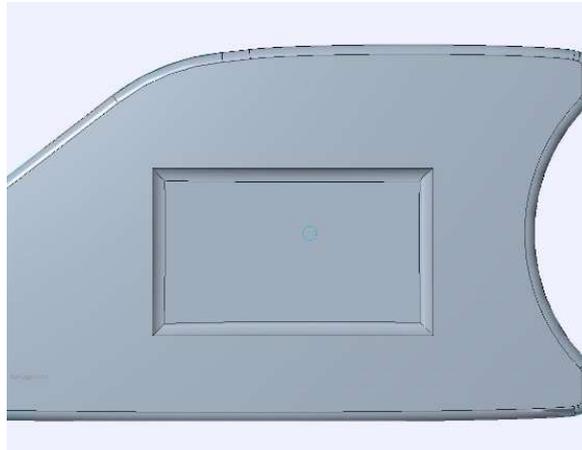


Abbildung 19: Vertiefung als Schutz für das Etikett [Eigene Darstellung]

Zentrierung – Die Zentrierung dient beim Ultraschallschweißen für die Beibehaltung der Position des Formoberteils und Unterteils. Für eine optimale Zentrierung wurden zwei Passungen und Stifte konstruiert (siehe Abb.20). Diese ermöglichen das zusammenfügen der Gehäusehälften ohne großen Aufwand.

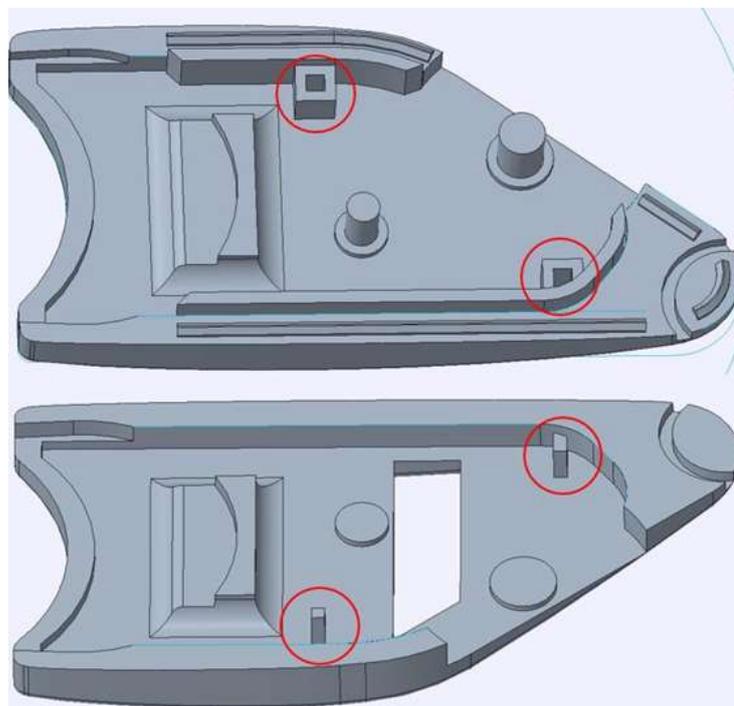


Abbildung 20: Innenleben, Passungen und Stifte des Formoberteil und Unterteils [Eigene Darstellung]

Schweißnahtgestaltung – Es wurde ein Energierichtungsgeber und eine zusätzliche Wand konstruiert (siehe Abb.21). Die Wand soll dem Schmelzeaustritt nach innen verhindern.

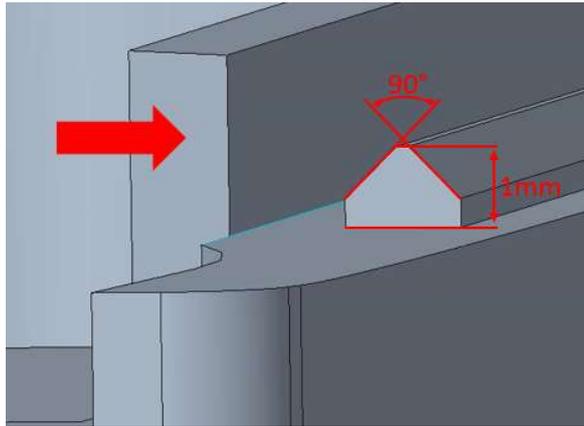


Abbildung 21: Der Energierichtungsgeber des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

Gestaltung - Aus der Prototypenbesprechung geht hervor, dass der Schlüsselanhänger eine zu kantige Form aufweist. Um eine ergonomische Form zu erzielen, wurden die Kanten abgerundet und die Oberflächen gewölbt. Zusätzlich wurden Hauptabmessungen festgesetzt (siehe Abb.22). Um eine kompakte Konstruktion des Schlüsselanhängers zu behalten, wurden die Hauptabmessungen möglichst klein gehalten.

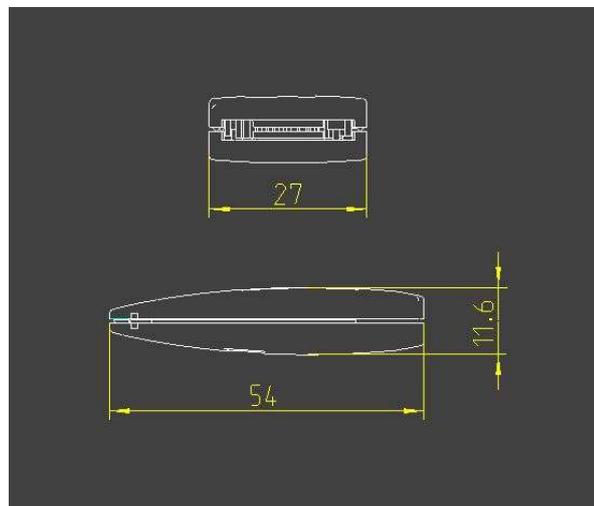


Abbildung 22: Hauptabmessungen des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

Der zweite Prototyp – In diesem sind alle oben genannten Optimierungen umgesetzt. Um den Aufwand gering zu halten, wurde der zweite Prototyp als digitales Modell erstellt. Das Modell wird für die anschließende Füllanalyse verwendet. Zusätzlich wurde die Konstruktion von der Firma Branson auf die Ultraschweißbarkeit geprüft.

6.Kontrolle der Produktgeometrie mittels Füllanalyse

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde zusammen mit der Firma Jürgen Hass Kunststofftechnik GmbH eine Füllsimulation mittels des Simulationsprogrammes PP Isplen copolymer durchgeführt. Ziel hierbei ist es die Formteilmfüllung zu überprüfen und mögliche Fehler schon vor der Herstellung des Werkzeugs zu erkennen. Im Folgenden wird diese Simulation erläutert und die entstandenen Ergebnisse ausgewertet.

Die Software dient der Überprüfung des Füllvorgangs bei vorgegebenen Spritzgießparametern und weist eine große Auswahl an Werkstoffen auf, dessen Materialdaten ebenfalls im Programm integriert sind. Da es keine Vorgaben zum Material des Schlüsselanhängers gibt, wurde aus Konstruktionsgründen der gängigste Werkstoff PP/PE verwendet.

Bei der Berechnung handelt es sich um eine numerische Simulation, die eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse wiedergibt. Hierbei wird das Fließverhalten des Kunststoffes in der vorgegebenen Form simuliert. Dies ermöglicht eine frühzeitige Fehlererkennung in der Formgestaltung, der Formteilung sowie im Angussystem. Diese Simulationsanalyse ermöglicht die Einsparung von zusätzlich anfallenden Kosten bei einer Fehlproduktion des Werkzeugs. Die durchgeführte Simulation für den Schlüsselanhänger bestätigte die Eignung der vorangegangenen Konstruktion für das Spritzgießverfahren [32]. Für die Herstellung eines optimalen Schlüsselanhängers werden noch einige Änderungen vorgenommen, die im Folgenden genauer erläutert werden.

Die Veranschaulichung der verschiedenen Simulationsrechnungen erfolgt mittels grafischer Darstellungen. Jene Darstellungen zeigen: Füllverlauf, Druckverteilung, Kühlzeit, Temperaturverteilung, Grad der Scherbeanspruchung, Erforderliche Schließkraft, Position der Bindenähte, Luft einschlüsse, Prozessparameter und die Orientierung der Glasfasern. Im Folgenden werden die für die Konstruktion des Schlüsselanhängers relevanten Darstellungen aufgeführt [ebd.].

Anschnittpositionsanalyse - Diese Analyse wird eingesetzt, um Anspritzpunkte für das Formteil zu empfehlen. Die Analyse funktioniert für alle Analysetechniken und wird als vorläufige Eingabe für eine vollständige Füll- und Nachdruckanalyse verwendet. Nach dem die Simulation durchgeführt wurde, werden die passendsten Bereiche am besten bewertet und blau eingefärbt (siehe Abb.22). Die am wenigsten geeigneten Bereiche werden schlecht bewertet und rot eingefärbt. Ein Wert zwischen 0 und 1 gibt die relative Eignung an. Weniger geeignete Bereiche werden mit entsprechenden Warnhinweisen versehen, die im Dialogfeld angezeigt werden [33].

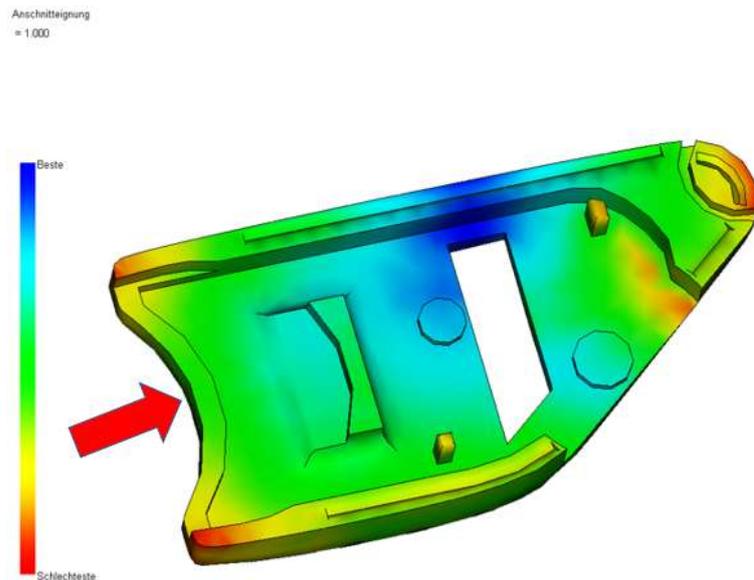


Abbildung 23: Die Anschnittpositionsanalyse des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

Für die vorliegende Konstruktion kann ein beliebiger Punkt ausgewählt werden, da keine Warnhinweise vorliegen. Bevor das Simulationsprogramm die Berechnung ausführt, muss die Anschnittposition ausgewählt werden. Für die weitere Durchführung der Simulation wurde der Punkt mittig in den Halbkreis gesetzt (siehe Abb.23). Durch die Wahl der Position liegt der mögliche Angussrest nicht im Sichtbereich. Die beste Bewertung bedeutet jedoch nicht unbedingt, dass das Formteil von dieser Position aus gefüllt werden muss.

Füllzeit - Dies ist die Zeit, die man für den Füllvorgang von der Anschnittposition bis zum letzten Punkt des Formteils benötigt. Die Füllzeit für den Schlüsselanhänger wird mit Hilfe verschiedener Farben dargestellt (siehe Abb.24). Der Beginn des Füllvorgangs ist blau gekennzeichnet und das Ende des Füllvorgangs ist in Rot dargelegt.

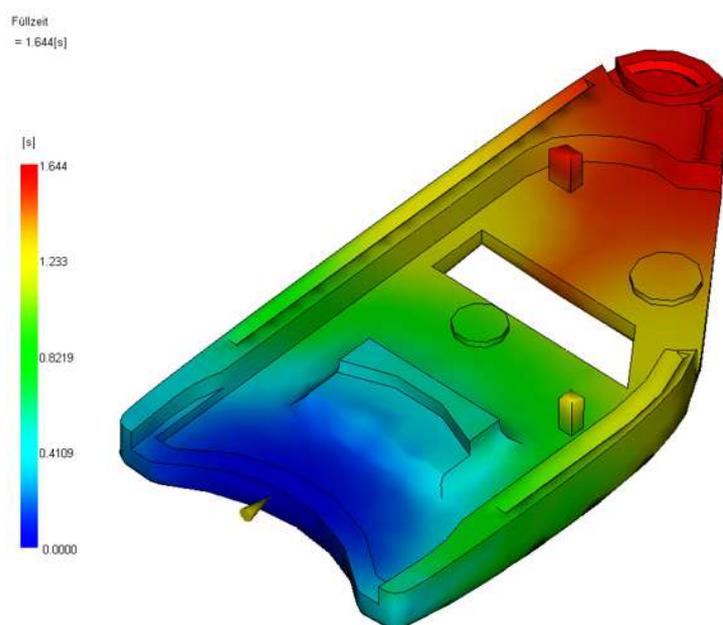


Abbildung 24: Die Füllzeit des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

Die Füllzeit der Kavität ist in Ordnung und stellt keine Gefahr dar. Folglich müssen keine Veränderungen an der Konstruktion vorgenommen werden.

Zeit zum Erreichen der Entformungstemperatur - Die Entformungstemperatur stellt die mittlere Temperatur des Formteils zum Zeitpunkt des Werkzeugauswurfs dar. Das durch die Analyse ermittelte Ergebnis zeigt die Zeit an, die zum Erreichen der Entformungstemperatur erforderlich ist. Gemessen wird diese Zeit ab dem Beginn der Füllphase. Sie beschreibt die über die Zeit absinkende innere Temperatur des Formteils und diagnostiziert eine ungleichmäßige Abkühlung (siehe Abb.25). Dieses Ergebnis hilft beim Entwerfen eines Kühlsystems und/oder liefert mögliche Korrekturvorschläge [34].

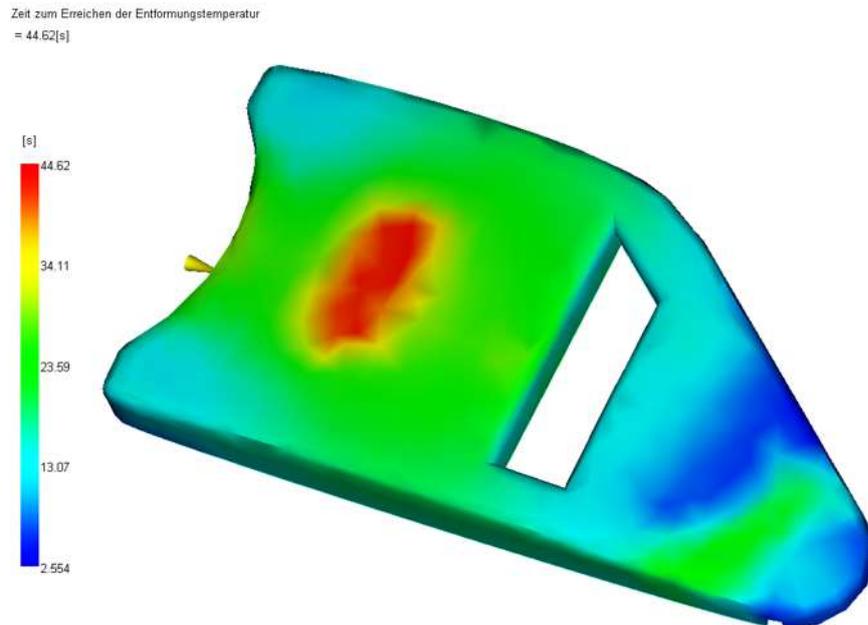


Abbildung 25: Die Zeit zum Erreichen der Entformungstemperatur des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung

Der Bereich in der Mitte ist auf Grund der höchsten Materialansammlung rot dargestellt. Dieser Bereich benötigt aufgrund einer erhöhten Wandstärke (Querschnitt) die längste Zeit bis zum Erreichen der Entformungstemperatur. Das Simulationsprogramm zeigt jedoch keine Warnhinweise auf, wodurch keine Gefahr für den Formling besteht. Als Optimierung könnte der Bereich mit der Materialanhäufung ausgehöhlt werden.

Bindenähte – Eine Bindenaht entsteht im Spritzgießprozess durch das Zusammentreffen von mindestens zwei Schmelzflüssen. Beispielsweise hinter Hohlräumen, durch Wanddickenunterschiede oder durch mehrere Anschnitte des Werkzeuges. Die Stelle der Bindenaht weist schlechtere mechanisch-technologische Eigenschaften auf und ist somit eine potenzielle Schwachstelle im Bauteil. Das Ergebnis der Analyse zeigt die Bindenähte, in Form und Farbe (siehe Abb.26). Je höher der Bindenahtgrad, desto schwächer ist die Struktur [35].

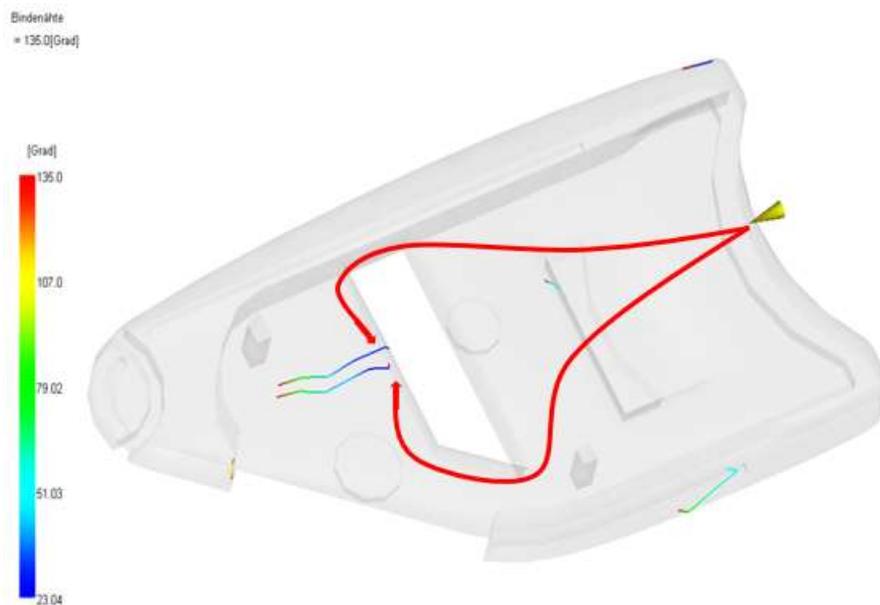


Abbildung 26: Der Verlauf der Bindenähte im Formoberteil [eigene Darstellung]

In der Abbildung 26 ist die Lage und die Entstehung (rote Pfeillinien) der Bindenähte dargestellt. Der Schmelzstrom in der Kavität erfolgt um die Öffnung herum, wodurch eine Bindenähte am anderen Ende des Schlüsselanhängers entsteht. Die Temperatur sinkt dabei soweit ab, dass die Schmelzströme nicht vollständig durchdringen und es zu einer sichtbaren Verschweißung kommt. Die Bindenähte haben jedoch keine Auswirkung auf die Konstruktion und befinden sich außerhalb der Sichtfläche. Eine Neugestaltung des Formteils muss somit nicht in Betracht gezogen werden [ebd.].

Einfallstellen - Die Einfallstelle ist eine Vertiefung auf der Oberfläche eines Formteils. Obwohl Einfallstellen nicht die Festigkeit oder Funktion eines Teils beeinflussen, werden sie als wesentliche Qualitätsmängel wahrgenommen. Eine Einfallstelle tritt auf, wenn der innere Kunststoff schrumpft und sich die erhärtete äußere Schicht aufgrund der Schwindung beim Kühlvorgang verformt. Sie werden durch übermäßig dicke Querschnitte, ein uneinheitliches Teildesign oder eine ungeeignete Positionierung des Angusskanals verursacht. Das Ergebnis der Analyse zeigt die mögliche Verschiebung der Einfallstelle über das gesamte Formteil hinweg (siehe Abb.27). Ein höherer Wert gibt einen hohen Einfallgrad an. Die am wenigsten geeigneten Bereiche werden schlecht bewertet und rot eingefärbt [36].

Prognose der Einfallstellen
Skalierungsfaktor = 1.000

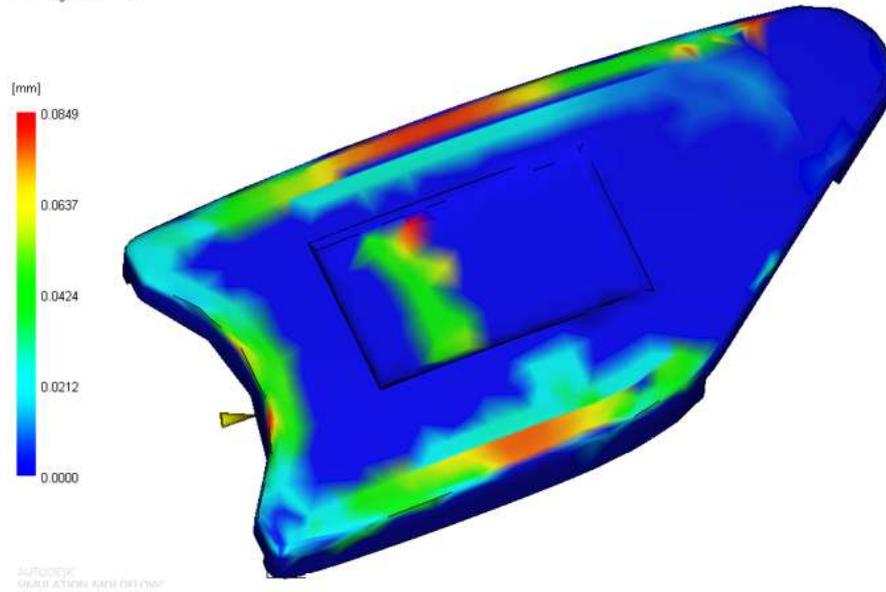


Abbildung 27: Die Einfallstellen des Formunterteils [Eigene Darstellung]

Aufgrund des übermäßig dicken Querschnitts herrscht an den Rändern und in der Mitte des Schlüsselanhängers ein höherer Einfallgrad. An diesen Stellen könnte es zu Einfallstellen kommen, die sich auf die Konstruktion und somit auf die Sichtfläche auswirken. Für eine Verkleinerung des Querschnitts, ist eine Verdünnung im Bereich der Ränder und der „Steckchiphalterung“ empfehlenswert.

7.Optimierung und Verbesserung des zweiten Prototypen

Nach der Füllsimulation und dem Gespräch mit dem Konstrukteur der Firma Kunststofftechnik Hass, der Firma Branson und Prof. Dr.-Ing. Schelberg werden noch einige Veränderungen an der Konstruktion des Schlüsselanhängers vorgenommen. Ziel ist es ein bestmögliches Ergebnis, ein Spritzgießteil von guter Qualität sowie eine qualitative Schweißverbindung herzustellen. Aus diesem Grund müssen noch einige konstruktive sowie optische Optimierungen vorgenommen werden. Im Folgenden werden die Optimierungen beschrieben und grafisch dargelegt.

Zentrierung und Vermeidung von Materialanhäufung - Die Zahnradlagerung wurde in der Konstruktion verstärkt und dient gleichzeitig als Zentrierung der beiden Gehäusehälften (siehe Abb.28). Die zylinderförmigen Lagerungen befinden sich in der optimierten Konstruktion an beiden Gehäusehälften. Dadurch sind die Zahnräder doppelt gelagert und lassen eine höhere Belastung zu. Zusätzlich wird durch die Optimierung Material gespart, da die vorherigen Zentrierungen weggelassen und die Lagerungen ausgehöhlt werden. Aufgrund der wenigen Komponenten im Bauteil und der geringeren Materialmenge, kann die Prozesszeit beim Spritzgießen verkürzt werden.

Vermeidung von Materialanhäufung – Aus der Füllanalyse geht hervor, dass die Bereiche an der „Steckchiphalterung“ und den Rändern einen höheren Querschnitt aufweisen. Dadurch besteht das Risiko einer Einfallstellenbildung und die Entstehung von Produktionsfehlern. Um dies zu minimieren, wird der Bereich an der Steckchiphalterung ausgehöhlt (siehe Abb.28). Die Ränder, die für die Verhinderung des Schmelzeaustriebs sorgen, werden komplett entfernt. Zusätzlich werden andere Bereiche mit einem höheren Querschnitt ausgehöhlt. Aufgrund der wenigen Komponenten im Bauteil und der geringeren Materialmenge, kann die Prozesszeit beim Spritzgießen verkürzt werden.

Rundungsradien und Entformungsschrägen - Aus der Füllanalyse geht hervor, dass die Konstruktion keine Rundungsradien und Entformungsschrägen aufweist. Dadurch besteht die Gefahr eines Bruchs an den Spannungsspitzen, was zu Problemen beim Entformungsprozess führen kann (siehe Kap.3.1.). Um dies zu verhindern werden Rundungsradien von mindestens 0,15mm an konstruktiv passenden Stellen eingebaut (siehe Abb.27). Die Entformungsschrägen von 1,5° werden ebenfalls in die Konstruktion eingebaut.

Energierichtungsgeber und Schmelzeinkapselung – Aus dem Gespräch mit dem Konstrukteur der Firma Branson geht hervor, dass zur Verhinderung des Schmelzeaustriebs eine Einkapselung von Nöten ist. Um den Austrieb der Schmelze zu verhindern wird in das Formober- teil eine Einkapselung eingebaut (siehe Abb.27). Zusätzlich wird der Energierichtungsgeber optimiert und an die Einkapselung angepasst. Die neueingebaute Nahtgestaltung ermöglicht zusätzlich eine höhere Festigkeit der Schweißverbindung (siehe Kap.3.2.)

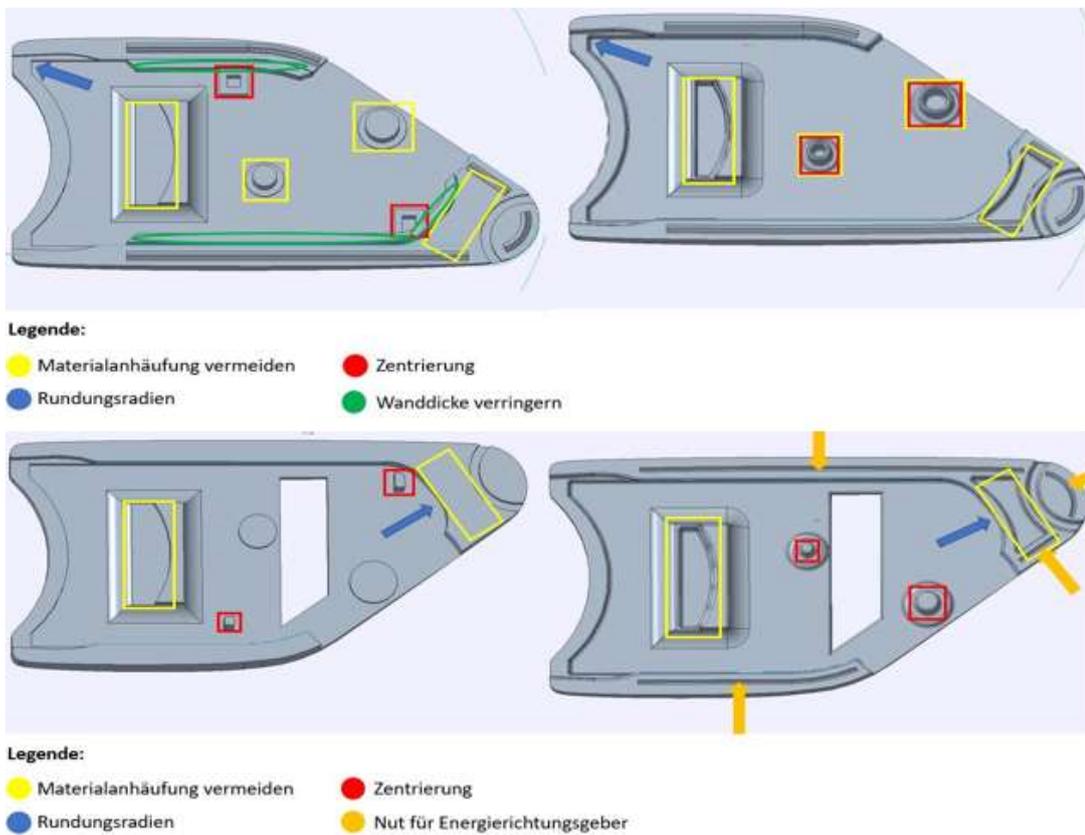


Abbildung 28: Die vorgenommenen Optimierungen des Formoberteil und Unterteils [Eigene Darstellung]

Ergebnis der Prototypenbesprechung – Die zweite Prototypenbesprechung mit dem Prof. Dr.-Ing. Schelberg ergab, dass der Zahnradkranz zu weit hinausragt und das Ausschnittfenster eine zu kantenförmige Gestaltung aufweist (siehe Abb.29). Dadurch wird zum einen die Handhabung und zum anderen die Ästhetik des Schlüsselanhängers beeinträchtigt. Aufgrund des hinausragenden Zahnradkranzes wird das Risiko des Verhakens (z.B. in einer Tasche) erhöht. Um dies zu verhindern, wird ein Zahnrad mit 16mm Außendurchmesser gewählt und die Zahnradlagerungen so weit wie möglich nach innen verlegt. Die spitze Kante des Ausschnittfensters wird passend zur Außenkontur des Gehäuses ausgestaltet. Die Innenkanten des Ausschnittfensters werden zusätzlich ausgerundet.

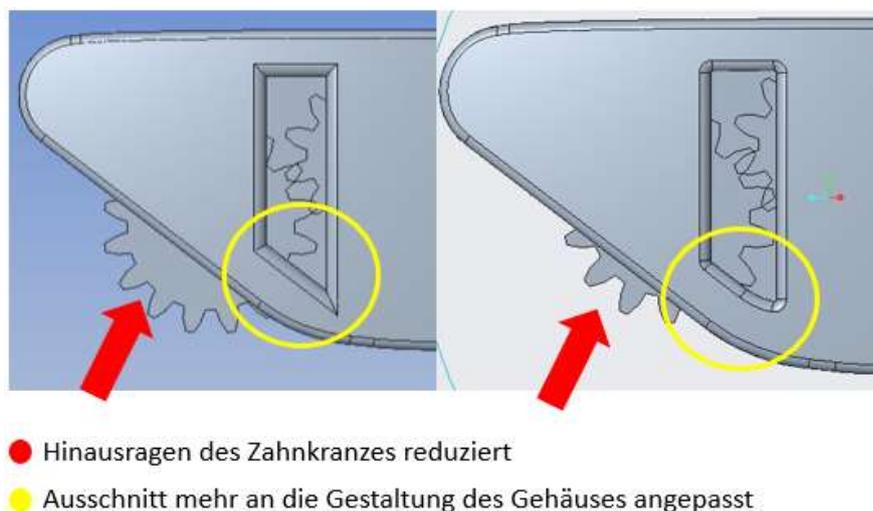


Abbildung 29: Vorgenommene Optimierungen am Zahnradkranz und dem Ausschnittfenster [Eigene Darstellung]

Der dritte Prototyp - In den dritten Prototypen sind alle oben genannten Optimierungen umgesetzt. Dieser Prototyp wird als physikalisches und digitales Modell erstellt (siehe Abb.29). Bevor man den Schlüsselanhänger für die Produktion freigibt, ermöglicht das physikalische Modell eine endgültige Erprobung. Bei der Erprobung können alle vorherigen Änderungen sowie Optimierungen schlussendlich begutachtet und ggf. nötige Änderungen festgestellt werden.

Prototypenbesprechung – Aus der Prototypenbesprechung geht her vor, dass keine weiteren Änderungen vorgenommen werden müssen. Somit steht die endgültige Konstruktion des Schlüsselanhängers fest und kann für die Produktion freigegeben werden.



Abbildung 30: Endgültige Zusammenbau des Schlüsselanhängers [Eigene Darstellung]

8. Für die Herstellung benötigte Werkzeuge

Für die Herstellung des Schlüsselanhängers ist ein Formwerkzeug für die Spritzgießmaschine, eine Sonotrode und ein Aufnahmewerkzeug für die Ultraschallschweißmaschine erforderlich. Bei der Konstruktion dieser Werkzeuge müssen viele Gestaltungsregeln beachtet werden, um die gestellten Anforderungen an ein Formteil zu erfüllen. Diese Werkzeuge und die wichtigsten Funktionen werden im Folgenden vorgestellt.

8.1 Der Aufbau und die Funktionen eines Spritzgießwerkzeuges

Für die Herstellung des Schlüsselanhängers und des Prüfkörpers ist ein Spritzgießwerkzeug notwendig. Aufgrund der verschiedensten Bauteilgeometrien ist für jedes Formteil ein Werkzeugexemplar anzufertigen. Das Spritzgießwerkzeug besteht im Wesentlichen aus mehreren Einheiten, die zusammen das Werkzeug bilden. Deshalb sind alle Komponenten in der Auslegung wichtig und müssen beachtet werden. Da in dieser Bachelorarbeit ein Schlüsselanhänger aus thermoplastischem Material gefertigt werden soll, wird im weiteren Verlauf nur auf Spritzgießwerkzeuge für Thermoplaste eingegangen. Die wichtigsten Funktionskomplexe des Werkzeuges sowie das Werkzeugkonzept werden kurz erläutert und dargelegt.

Im allgemein bestehen einfache Spritzgießwerkzeuge aus zwei Hälften, der Düsenseite und der Auswerferseite. Die beiden Seiten sind aus mehreren Platten und Komponenten aufgebaut (siehe Abb.30) [37].

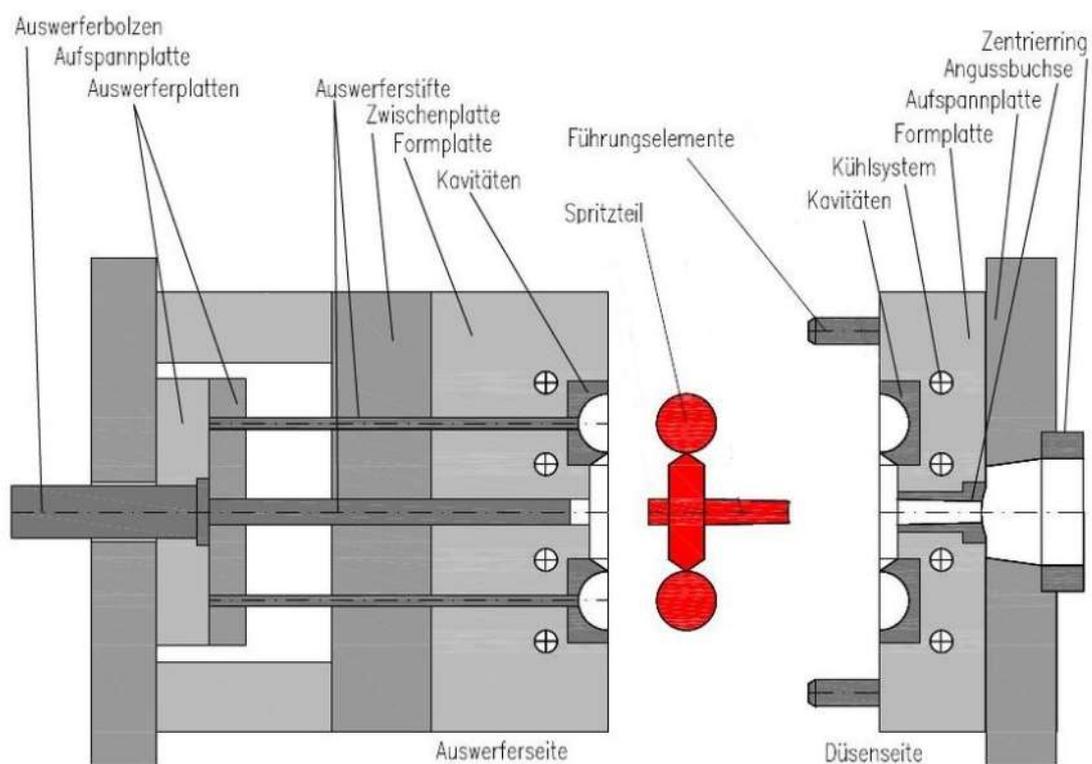


Abbildung 31: Der Aufbau eines Spritzgießwerkzeuges [38]

Düsenseite – Dies ist die starre Werkzeughälfte, die während des Spritzgießprozesses nicht bewegt wird. Auf der Düsenseite befindet sich die Formplatte in der Kavitäten, Kühlsystem und Führungselemente eingearbeitet sind [38].

Kavität – Diese ist der Ausschnitt im Werkzeug. Hierhin gelangt die Formmasse und gibt dem Formteil die gewünschte Form [ebd.].

Angusssystem – Das Angusssystem nimmt die Schmelze von der Spritzeinheit in das Werkzeug auf und leitet es an die Kavitäten weiter. Die Schmelze gelangt mittels der Einspritzdüse, durch die Angussbuchse, in das Werkzeug [10, S.167-168].

Kühlsystem – Das Kühlsystem sorgt für einen raschen Abkühlvorgang und für eine gleichmäßig homogene Kühlung des Formteils (siehe Kap.2.2.1.). Je nach Geometrie des Formteils muss eine Anpassung des Kühlsystems vorgenommen werden. Das Kühlsystem besteht im Wesentlichen aus einer Kanalisation, welche durch die Formplatten führt. Durch den Druck der Anlage durchströmt das Wasser die Kanalisationen und kühlt dabei das Formteil ab [ebd., S.168-169].

Aufspannplatten - Die düsenseitige Aufspannplatte ist die Platte welche starr und mit einem austauschbaren Zentrierring ausgestattet ist. Durch den Zentrierring taucht die Spitze der Düse ins Werkzeug ein und presst sich gegen die Angussbuchse (siehe Abb.2). Die auswerferseitige Aufspannplatte ist beweglich und dient der Aufnahme der Werkzeughälften [38].

Führungselemente – Diese ermöglichen durch ein Gleiten die Beweglichkeit der Aufspannplatte.

Entformungssystem – Das System dient der Entformung der Formteile aus den Kavitäten. Nach dem Spritzgießprozess verbleibt das Formteil normalerweise auf der Auswerferseite. Je nach Schwierigkeitsgrad der Entformung und der Bauteilgeometrie, werden unterschiedliche Auswerferseinrichtungen und Entformungsarten verwendet. Für die Auslegung des Entformungssystems muss der hohe Druck einer Spritzgießanlage als auch das Schwindungsverhalten des eingesetzten Werkstoffes berücksichtigt werden. An der Auswerferseite befinden sich die Elemente der Auswerferseinrichtung: Auswerferstifte, Auswerferbolzen und Auswerferplatten [ebd.]. Weist ein Formteil Hinterschneidungen auf und lässt sich nicht einfach über das Abstreifen, Abziehen oder die Auswerferstifte entformen, so werden formgebende Kerne und Einsätze verwendet. Auch können Formteile mit Hinterschneidung durch Schieber oder Backen entformt werden [37].

Diese Aufgaben zählen zu den technologischen und konstruktiven Aufgaben eines Werkzeuges und müssen bei jeder Konstruktion berücksichtigt werden. Um diese zu bewerkstelligen, müssen die Komponenten des Werkzeuges auf einander abgestimmte Funktionen aufweisen, die den Aufgaben und Anforderungen gerecht werden.

8.1.1. Das Werkzeugkonzept für das Spritzgießverfahren

Für die Herstellung des Schlüsselanhängers erweist sich das Schnellwechselsystemwerkzeug „Quick-Change-Kassettensystem“ von der Firma Jürgen Hass Kunststofftechnik GmbH als bestmögliche Variante. Das System bietet zahlreiche Vorteile und ist langfristig gesehen eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Spritzgießwerkzeugen. Zusätzlich bietet der spezielle Aufbau des Systems eine hohe Flexibilität in der Fertigung.

Das Werkzeug besteht im Vergleich zu konventionellen Werkzeugen aus einer Mutterform, in die schnell und einfach Kassetten eingeschoben werden können (siehe Abb.32). Einer der wichtigsten Vorteile dieses Systems ist der Kostenfaktor und die Flexibilität. Diese ergeben sich aus der einmaligen Anschaffung der Mutterform und der möglichen Variation der Einschubkassetten. Die Einschubkassetten können problemlos, ohne eine neue Mutterform zu benötigen variiert werden. Dies ermöglicht der Hochschule HAW neue und kostengünstige Projekte durchzuführen und neue Formteile herzustellen [39].

Ein weiterer Vorteil des Systems ist die Bedienungsfreundlichkeit. Da die angehoben werden können, wird zur Einrichtung des Werkzeuges in der Spritzgießmaschine kein Kran benötigt. Dies verringert aufgrund der Fehlervermeidung beim Anschluss des Systems das Verletzungsrisiko. Das System ist so einfach aufgebaut, so dass jeder die Einrichtung durchführen kann. Dies ermöglicht zusätzlich ein eigenständiges Arbeiten an der Spritzgussmaschine für die Studenten.

Da wir bei der Produktion des Schlüsselanhängers eine geringe Produktionszeit erreichen möchten, beinhaltet das Werkzeug zusätzlich ein Entformungssystem.

Nachteilig sind jedoch die einmalig hohen Anschaffungskosten. Diese sind im Vergleich höher als bei anderen konventionellen Werkzeugen.

Die Kosten der benötigten Mutterform belaufen sich nach Angaben der Firma Jürgen Hass Kunststofftechnik GmbH auf 6.300€. Die Kosten für das Einschubkassettensystem belaufen sich auf 9.100€

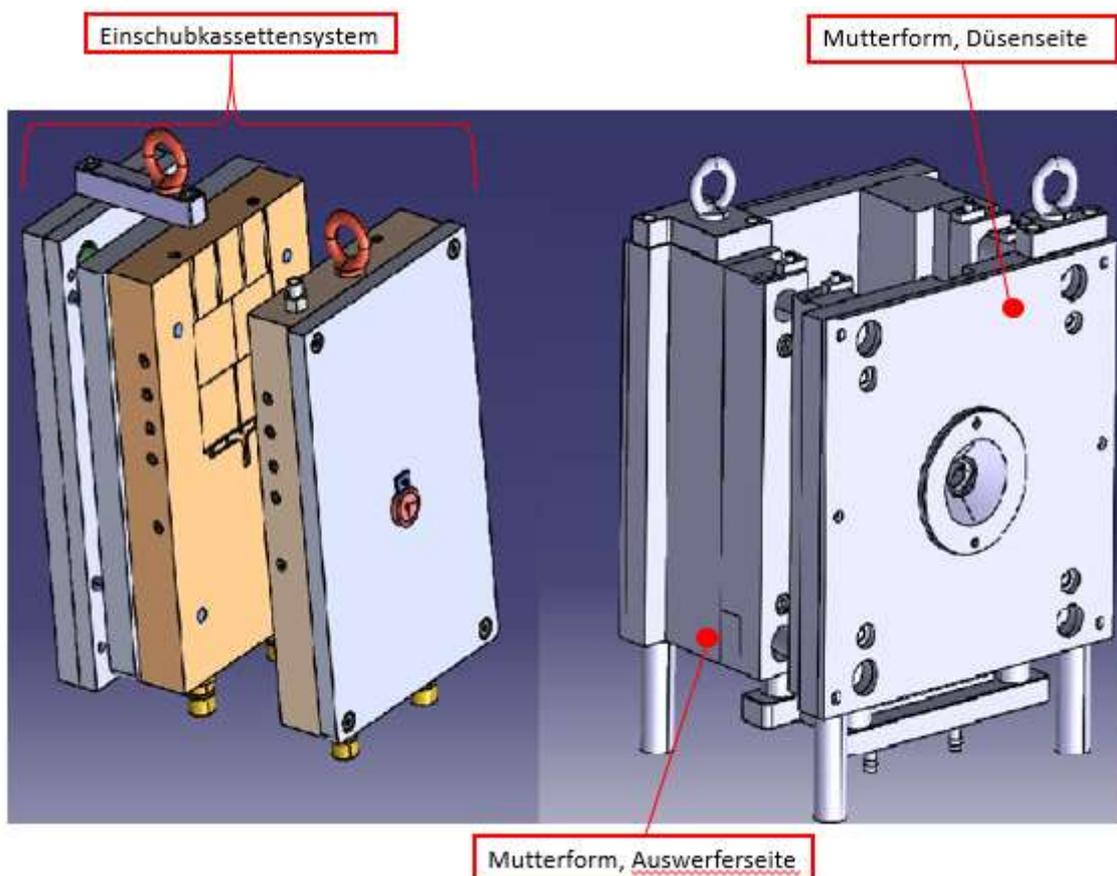


Abbildung 32: Das Schnellwechselsystemwerkzeug „Quick-Change-Kassetten-system“ [Eigene Darstellung]

8.2.Aufbau und Funktion der Sonotrode und des Aufnahmewerkzeugs

Für die Verschweißung der Schlüsselanhängerformteile sind die Ultraschallwerkzeuge Sonotrode und Aufnahmewerkzeug notwendig. Aufgrund der Bauteilgeometrie müssen auch für die Ultraschallschweißmaschine Exemplare angefertigt werden.

Sonotrode - Bei der Konzeption und der Herstellung einer Sonotrode sind einige Besonderheiten zu beachten. Falsch hergestellte Sonotroden beeinträchtigen die Schweißqualität und können zur Zerstörung des Schwingungssystems und zu erheblichen Schäden am Generator führen. Aus diesem Grund werden die Sonotroden vorwiegend von den Ultraschallgeräteherstellern gefertigt [17]. Da beim Kunststoffschweißen sehr große Amplituden vorherrschen, ist die Belastung der Sonotrode durch die Spannungsbeanspruchung sehr groß. Daher ist es wichtig, dass nur Werkstoffe mit hoher Dauerwechselfestigkeit und geringer Dämpfung zum Einsatz kommen. Am besten haben sich die Legierung Titan (TiAlV64) und Aluminium (AlCuMg2) bewährt. Beide Legierungen weisen eine sehr große Standfestigkeit und Belastbarkeit auf. Sonotroden können in den verschiedensten Formen und Abmessungen hergestellt werden. In der Praxis haben sich folgende Formen besonders bewährt: Stufenform mit Kreisquerschnitt, Kegelform mit Kreisquerschnitt, Stufenform mit Quadrat- und Rechteckquerschnitt und Exponentialform. Die Geometrie der Sonotrodenarbeitsfläche hängt von der Geometrie des Formoberteils ab. Insbesondere bei 3D – Geometrien (gewölbte Oberflächen) ist eine hohe Fertigungspräzision erforderlich [ebd.]. Parameter wie z.B. die Schallgeschwindigkeit, Wellenlänge und die Frequenzen müssen dabei exakt an das zu verschweißbare Formteil abgestimmt sein (siehe Abb.33). Das optimale Schwingungsverhalten der Sonotroden kann z.B. mit Hilfe einer Finite-Elemente-Methode Berechnung ermittelt werden. Die Parameter werden ebenfalls von den Werkzeugherstellern optimal angepasst und ermittelt [18, S.34]. Die Kosten der benötigten Sonotrode belaufen sich nach Angaben der Firma Branson auf 2.150 €.

Aufnahmewerkzeug – Dies ist das Gegenstück zur Sonotrode und stellt die formgebundene Werkzeugaufnahme dar. Das Aufnahmewerkzeug muss dem Bauteil entsprechend geformt und dem Schwingungsverhältnis angepasst werden.

Das Werkzeug dient der Fixierung der Formteile bei Schweißprozessen. Basis hierfür stellen Originalbauteile oder CAD-Daten dar [40]. Die Kosten des benötigten Aufnahmewerkzeugs belaufen sich nach Angaben der Firma Branson auf 2.685€.

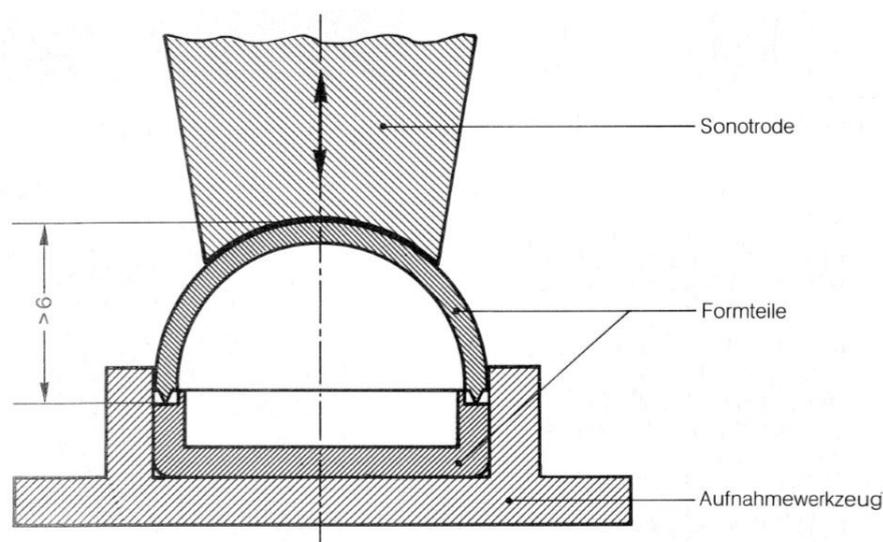


Abbildung 33: Beispielhafte Konzeption und Aufbau der benötigten Werkzeuge [18, S.23]

9.Ermittlung der Kosten für die Zukaufteile

Dies sind die Kosten, die für die Zukaufteile aufzubringen sind. Die Kosten wurden durch die Internetrecherche ermittelt. Für die Ermittlung der günstigsten Preise wurden diverse Anbieter untersucht. Im Folgenden werden die daraus resultierenden Ergebnisse dargestellt.

Material – Ziel ist es im Labor für Kunststofftechnik ein Recyclingprozess zu nutzen. Somit fallen die Materialbeschaffungskosten weg. Die Studenten werden altes Plastik (z.B. PET-Flaschen) zu Verfügung stellen können. Ansonsten würden sich folgende Kosten ergeben:

- PP Regranulate: min 0,10€ bis max. 1€ pro kg [41].
- PE Regranulate: min 0,45€ bis max. 1€ pro kg [ebd.].

Noch günstiger als Regranulate wären die Mahlgüter und Ballenwaren. Diese könnten in dem Kunststofflabor mit vorhandenen Geräten zu Regranulaten verarbeitet werden.

Schlüsselring 10mm Außendurchmesser - Die Preise für die Schlüsselringe variieren je nach Anbieter stark. Hierbei spielt das Material und die Größe (Außendurchmesser) eine große Rolle. Es wurden zahlreiche Anbieter verglichen, um das best mögliche Angebot zu finden. Die drei besten Angebote werden im Folgenden vorgestellt:

- *thal-versand.de*: Schlüsselringe 10mm vernickelt und gehärtet, Farbe: Silber,
Menge: 100 Stück für 5,00€ - Preis pro Stück: 5 Cent [42].
- *ebay.de*: Schlüsselringe 10 mm aus gehärtetem Stahl,
Menge: 100 Stück für 5,99 € - Preis pro Stück: 5,99 Cent [43].
- *ebay.de*: Schlüsselringe 10 mm aus Edelstahl, Rostfrei,
Menge: 20 Stück für 2,35€ - Preis pro Stück: 11,75 Cent [44].

Etikett - Die Preise für die Etiketten variieren je nach Anbieter stark. Einen geringen Einfluss auf den Preis haben: Material, Materialtyp, Weiß oder Transparent, Maße sowie Druck auf Rolle oder Bögen. Dieser Einfluss ist so gering, dass man ihn nicht zu beachten braucht. Den größten Einfluss hat die Bestellmenge. Deshalb ist es wichtig vorab zu klären wie viele Etiketten verwendet werden sollen. Zusätzlich wirkt sich das Bestellen mehrere Motive auf einmal stark auf den Preis aus. Bei der Preissuche wurden die Maße 20mm x 10mm, passend zum Etikettenausschnitt, gewählt. Die drei besten Angebote werden im Folgenden vorgestellt:

- *letmeprint.de*: Folie, weiß, glänzend mit UV-Lack,
Menge: 1000 Stück für 21,44 € (Stückpreis: 2,144 Cent),
Bei 10.000 Stück (Stückpreis: 0,32 Cent) [45].
- *labelprint24.com*: PP-Folie weiß und glänzend,

Menge: 1000 Stück für 48,87 € (Stückpreis: 4,89 Cent),

Bei 10.000 Stück (Stückpreis: 0,99 Cent) [46].

- *typographus.de*: Metall-Effekt-Folie Silber, Bogenware,

Menge: 1000 Stück für 60,79 € (Stückpreis: 6,79 Cent),

Bei 10.000 Stück (Stückpreis: 3,85 Cent) [47].

Universallchip – Diese werden in der Hochschule HAW angefertigt und müssen folglich nicht zusätzlich erworben werden.

Zahnräder – Diese werden von einer externen Firma für die Hochschule HAW angefertigt. Die Preise werden innerhalb eines laufenden Projekts gesondert ermittelt.

10. Zusammenfassung

Gegenstand dieser Bachelorarbeit ist die Konstruktion eines multifunktionalen Gadgets, das als Giveaway dienen soll. Vor dem Beginn der Bachelorarbeit führte eine Bachelorprojektgruppe die Produktentwicklung durch. Als bestmögliches Ergebnis erwies sich ein Schlüsselanhänger.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde die Konstruktion des Schlüsselanhängers vorgenommen. Hierbei galt es die gestellten Anforderungen aus der Anforderungsliste zu erfüllen. Um das bestmögliche Konzept zu erstellen, wurden sämtliche Wirkprinzipien im Gespräch mit Prof. Dr.-Ing. Schelberg geändert und optimiert.

Die Funktionen und Ausgestaltung des Schlüsselanhängers wurden anhand mehrerer Prototypen getestet. Anhand des zweiten Prototypen wurde die Formteillfüllung mittels der Füllsimulation und die Schweißbarkeit geprüft. Hieraus ergaben sich weitere Optimierungsmöglichkeiten, die in dem dritten Prototypen umgesetzt wurden. Durch die vorliegenden Erkenntnisse erweist sich der dritte Prototyp des Schlüsselanhängers als funktionsfähig und zuverlässig.

Während der Lösungssuche, Auslegung und Konstruktion konnte immer auf die Unterstützung der Wissenschaftler und der Bachelorprojektgruppe zurückgegriffen werden. Für die Produktion des Schlüsselanhängers müssen noch die Werkzeuge: Spritzgießwerkzeug, Sonotrode und Aufnahmewerkzeug beschaffen werden. Die für die Herstellung benötigten Maschinen sind bereits im Kunststofflabor der Hochschule HAW vorhanden.

Für einen reibungslosen Spritzgießprozess muss ein ausgiebiger Austausch mit den Vertretern des Werkzeugbaus, Hersteller der Spritzgießmaschine, und der Softwareentwicklung erfolgen. Die Identifikation der optimalen Parameter erfolgt anhand der Herstellung mehrerer Formteile. Mittels der vorliegenden Bachelorarbeit wurde schlussendlich ein für die Produktion geeignetes CAD-Modell für das Labor „Kunststofftechnik“ erstellt.

VIII. Literaturverzeichnis

- [1] „Wikipedia“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schl%C3%BCsselanh%C3%A4nger>, Abruf am 25.03.2020.
- [2] B. Fleischer (2019): Methodisches Konstruieren in Ausbildung und Beruf, Praxisorientierte Konstruktionsentwicklung und rechnergestützte Optimierung, Extras Online, Wiesbaden, Springer Vieweg, 25-26.
- [3] „Careelite“ [Online]. Available: <https://www.careelite.de/kunststoff-recycling/>, Abruf am 03.03.2020.
- [4] „Maschinenbau Wissen“ [Online]. Available: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/431-kunststoffrecycling>, Abruf am 05.04.2020.
- [5] C. Hopmann, W. Michaeli, H. Greif und F. Ehrig (2017): Technologie des Spritzgießens, 4., aktualisierte Auflage Hrsg., München, Carl Hanser Verlag, 151.
- [6] G. Menges, W. Michaeli und P. Mohren (2007): Spritzgießwerkzeuge, 6 Hrsg., München, Carl Hanser Verlag
- [7] Kunststofflabor HAW Hamburg.
- [8] „Arburg GmbH + Co KG“ Datenblatt.
- [9] „Maschinenbau Wissen“ [Online]. Available: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/391-aufbau-spritzgiessmaschine>, Abruf am 09.04.2020.
- [10] Martin, Bonnet (2014): Kunststofftechnik. Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl und Fallbeispiele, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Köln, Springer Vieweg.
- [11] F. Johannaber und W. Michaeli (2004): Handbuch Spritzgießen, 2. Auflage Hrsg., München, Carl Hanser Verlag, 1275.
- [12] „Tecoplast“ [Online]. Available: <https://www.tecoplast.de/werkstoffe>, Abruf am 20.04.2020.
- [13] S. Stitz und W. Keller (2004): Spritzgießtechnik, 2. Auflage Hrsg., München, Carl Hanser Verlag, 461.
- [14] C. Fritsche, H. Fritsche, J. Kolbinger, K.-H. Küspert, G. Lindenblatt, D. Morgner, T. Paus, A. Schmidt und F. Schwarze (2014): Kunststofftechnik, 4., verbesserte Auflage Hrsg., Haan-Gruiten, Europa-Lehrmittel.
- [15] P. Eyerer, T. Hirth, P. Elsner (2008): Polymer Engineering, Technologien und Praxis, Berlin, Springer-Verlag.
- [16] U. Dilthey und A. Brandenburg (2005): Montage hybrider Mikrosysteme, Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung, Berlin, Springer Verlag.
- [17] „Lausige Wellen“ [Online]. Available: <https://rittmeier-berl.de/wp-content/uploads/Lausige-Wellen-2017-de.pdf>, Abruf am 28.04.2020.
- [18] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. ZVEI, Fügen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen mit Ultraschall, Verfahrens-

Konstruktions- und Anwendungsempfehlungen, Frankfurt, Fachverband Elektroschweißgeräte, Abruf am 03.05.2020.

[19] „Ultraschall-Fügetechnologie für thermoplastische Kunststoffe,“ [Online]. Available: https://static.herrmannultraschall.com/fileadmin/user_upload/Infocenter/DOWNLOAD-Print/DEU/Ultraschall-Fuegetechnologie-fuer-thermoplastische-Kunststoffe.pdf, Abruf am 08.05.2020.

[20] Branson, Ultraschall für das Kunststoff-Fügen, Grundlagen und praktische Anwendung, Dietzenbach, Hrsg. Branson Ultraschall.

[21] H.Hoder (2017): Methodische Produktentwicklung, (Marktorientierte Produktentwicklung), Vorlesungsskript, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg.

[22] „Protolabs“ [Online]. Available: <https://www.protolabs.de/ressourcen/design-tipps/13-kosmetische-fehler-und-wie-sie-diese-vermeiden/>, Abruf am 18.05.2020.

[23] „3dhubs“ [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/de/leitfaden/spritzgiessen/>, Abruf am 17.03.2020.

[24] „Protolabs“ [Online]. Available: <https://www.protolabs.de/ressourcen/design-tipps/designgrundlagen-fur-den-spritzguss/>, Abruf am 22.05.2020.

[25] „3D Systems“ [Online]. Available: <https://de.3dsystems.com/quickparts/learning-center/injection-molding-basics#wallthickness>, Abruf am 30.05.2020.

[26] „Protolabs“ [Online]. Available: <https://www.protolabs.de/ressourcen/design-tipps/dasteiledesign-mit-einheitlichen-wandstarken-verbessern/>, Abruf am 28.04.2020.

[27] „RP Technologies Limited“ [Online]. Available: <https://www.rptechnologies.de/knowledge-hub-item/Ultraschall+Schwei%C3%9Fen>, Abruf am 14.04.2020.

[28] Eigenes Versuchprotokoll, Laborprotokoll KSGK 1.

[29] Paul Naefe (2018): Methodisches Konstruieren, Auf den Punkt gebracht, 3. Auflage, Aachen, Springer Vieweg.

[30] Paul Naefe (2019): Konstruktionsmethodik, Kurz und bündig, Aachen, Springer Vieweg

[31] Feldhusen, Jörg und Grote, Karl-Heinrich (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Springer Vieweg.

[32] „kipdf“ [Online]. Available: https://kipdf.com/perfekte-kunststoffteile_5ab1ad291723dd389ca43b6a.html, Abruf am 02.06.2020.

[33] „Knowledge Autodesk“ [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/de/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/DEU/MoldflowAdviser-Analyses/files/GUID-A43C0B23-CE72-4C1E-9DE8-3FA39AFCCDDA-htm.html>, Abruf am 05.06.2020.

[34] „Knowledge Autodesk“ [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/de/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/DEU/MoldflowAdviser/files/GUID-34915C5B-CBDC-4BB4-B976-A8C940BB312A-htm.html>, Abruf am 09.06.2020.

[35] „Wiki Polymerservice Merseburg“ [Online]. Available: <https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Bindenaht>, Abruf am 09.06.2020.

- [36] „Knowledge Autodesk“ [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/de/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/DEU/MoldflowAdvisor/files/GUID-18F57182-6059-4403-9075-398B08B7AD2A-htm.html>, Abruf am 06.2020.
- [37] „Maschinenbau Wissen“ [Online]. Available: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/403-spritzgiesswerkzeug>, Abruf am 24.05.2020.
- [38] „Form Werkzeug“ [Online]. Available: <https://www.form-werkzeug.de/themen/fw-wiki/werkzeuge-formen/spritzgiesswerkzeuge/artikel/werkzeugaufbau-von-spritzgiesswerkzeugen-1006000.html>, Abruf am 25.04.2020.
- [39] „Hass Kunststofftechnik“ [Online]. Available: <https://hass-kunststofftechnik.de/quick-change-system/>, Abruf am 23.04.2020.
- [40] Herrmann Ultraschall, Grundlagen Kunststoffe, Ultraschall Schweißtechnologie.
- [41] „Plasticker“ [Online]. Available: <https://plasticker.de/preise/pms.php?show=ok&make=ok&aog=A&kat=Regranulat>, Abruf am 09.06.2020.
- [42] „Thal Versand“ [Online]. Available: https://www.thal-versand.de/Schlueselringe-und-Zubehoer/Schlueselringe-Standard/100-Stueck-Packs-Schlueselringe/100er-Pack-Schlueselringe-10mm-Standard-vernickelt-Schlueselring.html?refID=google_shopping_DE&gclid=Cj0KCQjw2PP1BRCiARIsAEqv-pS84sHzj6eA9eL1tXucqoqePtfB5-oPidJjdraFSqTtctBYIaijwIaAtjmEALw_wcB, Abruf am 09.06.2020.
- [43] „Ebay“ [Online]. Available: https://www.ebay.de/i/132101443617?chn=ps&var=431451504255&norover=1&mkevt=1&mkrid=707-134425-41852-0&mkcid=2&itemid=431451504255_132101443617&targetid=900300112697&device=c&mktype=pla&googleloc=9061053&campaignid=9866694664&mkgroupid=99713679309&rlsarget=aud-559424846135:pla-900300112697&abcId=1145982&merchantid=107652491&gclid=Cj0KCQjwhtT1BRCiARIsAGIY51Iw98fUG2PYAQRv8QiKcGI-KisJpko-uobG1slbZZtG2K2TQ4LoHp8saAoniEALw_wcB, Abruf am 09.06.2020.
- [44] „Ebay“ [Online]. Available: <https://www.ebay.de/itm/Schlueselringe-aus-Edelstahl-5-8-10-15-25-30-mm-Spaltringe/254290008146?hash=tem3b34dd9852:m:mdlWXVNpyB-koklELYbOLDDw>, Abruf am 09.06.2020.
- [45] „Letmeprint“ [Online]. Available: <https://letmeprint.de/etiketten-auf-rolle#design=own&a=283283&a=283284&a=283291&a=283292,w=20,h=10&a=283302&d=42&c=1000>, Abruf am 09.06.2020.
- [46] „Labelprint24“ [Online]. Available: <https://www.labelprint24.com/de/products/rollenetiketten-aktionsprodukte-82.php?config=41dc319b7fa471c0743a3f8956623e69caa6f9bbdca20c3de9cad48aac83ca50faaab9e34ec987b619e13efc57af809906777fd8a7631d67185b1bf33each718025ed25abda509dada9c7668cbf13e3d7783b65669653c8405327200f290cde4eedd660de862af1ec6265c2fa43ebc861a45491746b66ce476edc86ba3824c1ca0d98c5200c64b7a5c53a657099e794b&country=de>, Abruf am 09.06.2020.
- [47] „Typographus“ [Online]. Available: https://www.typographus.de/aufkleber_drucken/aufkleber_drucken_kalkulieren.html?material=43&setCalc=1&copies=500&width=20&height=10&button=Jetzt+Preis+kalkulieren+%3E%3E, Abruf am 09.06.2020.



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

<u>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</u>		
Hiermit versichere ich,		
Name:	Kronevald	_____
Vorname:	Sergej	_____
dass ich die vorliegende Bachelorarbeit <input checked="" type="checkbox"/> bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema: Methodische Entwicklung und Konstruktion eines Hybrid Kunststoffteils		
ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.		
<i>- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -</i>		
Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- <input checked="" type="checkbox"/> ist erfolgt durch:		
Hamburg, den	28.07.2020	
Ort	Datum	Unterschrift im Original