



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Mohamed Heouaichi

# **Konstruktion eines Spritzgießwerkzeuges zur Herstellung eines Prüfkörpers**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

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

**Mohamed Heouaichi**  
**Konstruktion eines Spritzgießwerkzeuges**  
**zur Herstellung eines Prüfkörpers**

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. habil. Frank Helmut Schäfer

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Niels Eiben

Ausgabedatum: 02.01.2018

Abgabedatum: 27.02.2018

# Zusammenfassung

## Name des Studierenden

Mohamed Heouaichi

## Thema der Bachelorarbeit

Konstruktion eines Spritzgießwerkzeuges zur Herstellung eines Prüfkörpers

## Stichworte

Werkzeugbau, Spritzgießmaschine, Spritzgießzyklus, Kunststoffe, Kunststoffverarbeitung, Formwerkzeug, Schließeinheit, Plastifizierung, Mehrzweckprobekörper

## Kurzzusammenfassung

Die hier vorliegende Thesis behandelt die Konstruktion eines Spritzgießwerkzeuges für die Herstellung eines Vielzweckprobekörpers vom Typ A1. Hierbei soll die DIN EN ISO 294 und die DIN EN ISO 20753 als Konstruktionsgrundlage verwendet werden, um ein Formteil herzustellen, welches in Prüfverfahren zur Ermittlung von mechanisch-technologischen Kennwerten eingesetzt wird. Die Konstruktion soll alle relevanten vorgegebenen Randbedingungen nach der Norm DIN EN ISO 294 berücksichtigen und alle für den Konstruktionsprozess relevanten Konstruktionsprinzipien genügen. Es wird eine thermische Analyse mittels Autodesk MOLDFLOW 2018 durchgeführt, welche mögliche Konstruktionsfehler aufzeigen soll.

## Name of Student

Mohamed Heouaichi

## Titel of Paper

Construction of an injection mold for manufacturing a probe body.

## Keywords

tool manufacturing, injection molding, injection cycle, plastics, plastics Processing, mold, closing unit, plasticizing, multipurpose probe body

## Abstract

The present thesis deals with the construction of an injection molding tool for the production of a general-purpose specimen of type A1. The standards DIN EN ISO 294 and DIN EN ISO 20753 will be used as the basis for the construction process. The design should take all relevant specified boundary conditions according to the above mentioned standards into account. The molded parts are designed to be used in test procedures for the determination of mechanical-technological characteristics. A thermal analysis will be carried out using Autodesk MOLDFLOW 2018, which could show possible constructional errors

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen Danken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorthesis unterstützt haben. Als Erstes möchte ich meiner Mutter Souad Heouaichi und meinem Onkel Boubaker Ouerghimi für ihre Unterstützung während des ganzen Studiums danken. Auch möchte ich meiner Ehefrau Ghada Hendaoui wie meinen beiden Kindern Yasmin Heouaichi und Hilmi Ben Mohamed Ben Sghaier für ihre Unterstützung danken.

Ich bedanke mich auch herzlich bei Herrn Prof.hab. Dr.-Ing. Helmut Schäfer für die Betreuung und das mir entgegengebrachte Vertrauen. Er hat mich mit dieser Thesis in die Welt der Spritzgießmaschinen und der Spritzgießwerkzeuge eingeführt. Ich habe viel an neuem Wissen erlangt und möchte dies auch im weiteren Berufsleben erweitern.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinem Zweitprüfer Herrn Dipl.-Ing. Niels Eiben, der mich auch während früherer Projekte, unterstützt und mir viele Fragen beantwortet hat.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Danksagung.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Nomenklatur.....	VII
1. Aufgabenstellung und Vorgehensweise.....	1
2. Spritzgießtechnik.....	2
3. Kunststoffe.....	3
3.1 Synthetisieren von Polymeren.....	4
3.1.1 Polymerisation.....	5
3.1.2 Polyaddition.....	5
3.1.3 Polykondensation.....	6
3.2 Bindungskräfte.....	6
3.3 Struktur.....	8
3.4 Thermoplaste.....	9
3.4.1 amorphe Thermoplaste.....	10
3.4.2 teilkristalline Thermoplaste.....	10
3.5 Elastomere.....	12
3.6 Duromere.....	13
4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften.....	13
4.1 Schichtenmodell.....	14
4.2 Viskosität.....	14
4.3 Schubspannung.....	16
4.4 spezifisches Volumen.....	17
4.5 Eigenspannungen.....	19
4.6 Orientierungen.....	20
4.7 Kristallisation.....	20
4.8 Hagen-Poiseuille und der Druckverlust.....	21
4.9 Quellvorgang.....	23
4.10 Bindenähte.....	23
4.11 Zuschlagstoffe.....	23
5. Spritzgießmaschine.....	24
5.1 Plastifizier- und Spritzeinheit.....	25
5.2 Werkzeug.....	30
5.2.1 Angussystem.....	32

5.2.2	Angussbuchse.....	32
5.2.3	Verteilerkanäle .....	33
5.2.4	Angussart und Anschnitt .....	34
5.2.5	Werkzeugtemperierung .....	38
5.3	Entformungssystem .....	39
5.4	Schließeinheit.....	40
6.	Spritzgießprozess.....	43
7.	Gestaltungsrichtlinien für Spritzgussprobekörper.....	47
8.	Probekörper .....	49
9.	Anforderungsliste .....	50
10.	Werkzeugauslegung.....	52
10.1	Werkstoffauswahl .....	52
10.2	Auswahl Angussbuchse und Zentrierflansch.....	53
10.3	Angusskanäle und Anschnitt.....	54
10.4	Entlüftung des Werkzeuges .....	55
10.5	Führung und Zentrierung des Werkzeuges.....	57
10.6	thermische Auslegung .....	57
10.7	Schmelzstromsteuerelement .....	64
10.8	Simulation des Füllvorganges.....	65
11.	Zusammenfassung.....	68
	Literaturverzeichnis .....	69
	Anhang.....	71

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spritzgießmaschine ALLROUNDER von ARBURG [1].....	1
Abbildung 2:Fertigungsverfahren nach Din 8580 [4] .....	3
Abbildung 3: Polymere [5] .....	4
Abbildung 4: Polymerisation [5] .....	5
Abbildung 5: Polyaddition [5] .....	5
Abbildung 6: Polykondensation [5].....	6
Abbildung 7: Kovalente Bindung [6] .....	6
Abbildung 8: Dispersionskräfte [6] .....	7
Abbildung 9:Dipol-Dipol-Kräfte [6] .....	7
Abbildung 10:Wasserstoffbrückenkräfte [6].....	7
Abbildung 11: Struktur der Kunststoffe [6].....	8
Abbildung 12:Formänderungsverhalten amorpher Thermoplaste [1] .....	10
Abbildung 13:Formänderungsverhalten teilkristalliner Thermoplaste [1].....	11
Abbildung 14: Zustandsdiagramm von Elastomeren [7] .....	12
Abbildung 15:Zustandsdiagramm von Duroplasten .....	13
Abbildung 16: Schichtenmodell einer Scherströmung [9] .....	14
Abbildung 17: Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur und Schergeschwindigkeit [3]...	15
Abbildung 18: Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit von der Schubspannung .....	16
Abbildung 19:Temperaturprofil eines Strömungsquerschnittes [10].....	16
Abbildung 20:p-v-T-Diagramm von Thermoplasten .....	17
Abbildung 21: Spritzgießprozess anhand eines pvT-Diagramms [12] .....	18
Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Temperatur und spezifischem Volumen bei teilkristallinen Polymeren .....	21
Abbildung 23: Einfluss von Einspritzgeschwindigkeit und Abkühlung auf den Druckverlust beim Spritzgießprozess [9] .....	22
Abbildung 24: Aufbau einer Spritzgießmaschine [5] .....	24
Abbildung 25:Plastifizier- und Spritzeinheit (Schneckenkolbenspritzeinheit) [1] .....	26
Abbildung 26: Dreizonenschnecke [1].....	28
Abbildung 27:Offene Düse [6] .....	28
Abbildung 28: Nadelverschlusdüse [6] .....	29
Abbildung 29: Rückstromsperre [7].....	29
Abbildung 30: Schematischer Aufbau eines Normalspritzgießwerkzeuges [2].....	30
Abbildung 31:Angusssystem [3].....	32
Abbildung 32: Stangenanguss [13] .....	35
Abbildung 33: Punktanguss [14] .....	35
Abbildung 34: Bandanguss [15] .....	35
Abbildung 35: Schirmanguss [13] .....	36
Abbildung 36: Ringanguss [13] .....	36
Abbildung 37: Tunnelanguss [13] .....	37
Abbildung 38: Angussloses Anspritzen [3] .....	37
Abbildung 40:Auswerferrmechanismen [3] .....	39
Abbildung 41: Schließeinheit [15].....	40
Abbildung 42:Doppelkniehebel [1].....	41

Abbildung 43:Hydraulische Schließeinheit [1] .....	42
Abbildung 44: Zeiten eines Spritzgießzyklus [1].....	44
Abbildung 45:Spitzgießzyklus [1] .....	44
Abbildung 46: Allgemeine Ausführung vom Probekörper Typ A1 [18] .....	50
Abbildung 47: Angussbuchse mit Zentrierflansch [18].....	53
Abbildung 48: Entformungsschrägen nach DIN EN ISO 294-1 [20] .....	55
Abbildung 49: Entlüftung eines Rippenartikels [3] .....	56
Abbildung 50: Führungseinheit [3] .....	57
Abbildung 51: Temperaturprofil im Formteil [4] .....	58
Abbildung 52: Füllzeit der Kavität mit einem Anschnitt .....	65
Abbildung 53: Füllzeit der Kavität mit zwei Anschnitten.....	66
Abbildung 54: Bindahtdarstellung mit zwei Anschnitten.....	67

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung der Kunststoffe .....	9
Tabelle 2: Schwindungswerte ausgewählter Kunststoffe [3].....	19
Tabelle 3: Maße des Probekörpers Typ A1 .....	50
Tabelle 4: Anforderungsliste .....	51
Tabelle 5: Anhaltswerte für Materialien [3].....	59
Tabelle 6: kinematische Viskosität von Wasser [21] .....	63
Tabelle 7: Füllanalyse der Kavität mit einem Anschnitt .....	66
Tabelle 8: Temperieranalyse der Kavität mit einem Anschnitt.....	66
Tabelle 9: Füllanalyse der Kavität mit zwei Anschnitten .....	67
Tabelle 10: Temperieranalyse der Kavität mit zwei Anschnitten.....	67
Tabelle 11: Teileliste des Werkzeuges.....	72

## Nomenklatur

Größe	Einheit	Bedeutung
$\Delta h$	$KJ/Kg$	Enthalpiedifferenz
$\rho_{KS}$	$Kg/m^3$	Mittlere Dichte zwischen Masse- und Entformungstemperatur
$\rho_{TM}$	$Kg/m^3$	Dichte des Temperiermediums
$V$	$m^3$	Materialvolumen
$t_z$	$s$	Zykluszeit
$t_N$	$s$	Nebenzeit
$\dot{Q}_{KS}$	$W/s$	Wärmestrom vom Formteil
$\dot{Q}_U$	$W/s$	Wärmestrom mit der Umgebung
$\dot{Q}_{ZUS}$	$W/s$	Zusätzliche Wärmeströme
$\dot{Q}_{TM}$	$W/s$	Wärmestrom in das Temperiermittel
$\dot{Q}_{KO}$	$W/s$	Wärmestrom von der Werkzeugoberfläche durch Konvektion
$\dot{Q}_{Str}$	$W/s$	Wärmestrom von der Werkzeugoberfläche durch Strahlung
$\dot{Q}_{Lei}$	$W/s$	Wärmestrom von der Werkzeugoberfläche durch Leitung
$A_S$	$m^2$	Werkzeugseitenflächen
$A_A$	$m^2$	Werkzeugaufspannflächen
$\alpha_L$	$W/(m^2 * K)$	Wärmeübergangskoeffizient an der Luft
$C_S$	$W/(m^2 * K)$	Strahlungskonstante
$\varepsilon$	-	Emissionskoeffizient
$\beta$	$W/(m^2 * K)$	Proportionalitätsfaktor
$\vartheta_{WA}$	$^{\circ}C$	Werkzeugaußenwandtemperatur
$\vartheta_U$	$^{\circ}C$	Umgebungstemperatur
$\vartheta_{TM}$	$^{\circ}C$	Temperiermitteltemperatur
$\vartheta_{TK}$	$^{\circ}C$	Temperiermittelkanaltemperatur
$\vartheta_M$	$^{\circ}C$	Massetemperatur
$\bar{\vartheta}_E$	$^{\circ}C$	Mittlere Entformungstemperatur
$\vartheta_W$	$^{\circ}C$	Werkzeugtemperatur
$\lambda_W$	$W/(m * K)$	Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugwerkstoffes
$\bar{l}$	$m$	Mittlerer Abstand zwischen Temperierkanal und Werkzeugaußenfläche
$s$	$m$	Maximale Wanddicke des Formteils
$T_K$	$s$	Kühlzeit
$\dot{q}$	$W/(m^2 * s)$	Wärmestromdichte
$c_{TM}$	$J/Kg * K$	Spezifische Wärmekapazität des Temperiermediums
$l$	$m$	Kanallänge
$v$	$m/s$	Strömungsgeschwindigkeit im Kanal
$\lambda$	-	Kanalreibungskoeffizient
$Re$	-	Reynoldszahl

$\dot{V}_{TM}$	$m^3/s$	Volumendurchsatz durch die Kanäle
$\Delta p_{TK}$	$N/m^2$	Druckverlust aller Temperierkanäle
$d_{TK}$	$m$	Kanaldurchmesser
$\nu_{visk.}$	$m^2/s$	Kinematische Viskosität von Wasser
$\tau$	$N/m^2$	Schubspannung
$\eta$	$N/m^2$	Viskosität
$\bar{v}$	$m/s$	mittlere Geschwindigkeit
$F$	$Kg * m/s^2$	Kraft (verallgemeinert)
$A$	$m^2$	Fläche (verallgemeinert)

### 1. Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die hier vorliegende Bachelorthesis behandelt die Auslegung und Konstruktion eines Einfachwerkzeuges, welches in einem Spritzgießverfahren zum Einsatz kommt. Das Werkzeug dient der Herstellung eines Vielweckkörpers vom Typ A1 nach DIN EN ISO 20753. Zuerst werden die allgemeinen Grundlagen zu den heute vorhandenen Kunststoffen behandelt und die Technologie des Spritzgießens beleuchtet. Dabei werde ich alle zu einer Spritzgießanlage gehörenden Funktionskomplexe aufzeigen und deren Funktionen erklären.

Die rheologischen Eigenschaften der Polymere müssen beachtet werden, um ein qualitativ gutes Ergebnis im Spritzgießprozess zu erhalten. Ich werde alle zum Herstellen eines Formteils relevanten Stoffeigenschaften im Spritzgießprozess vorstellen und deren Einfluss auf die Formteileigenschaften erklären. An Werkzeugen werden hohe Anforderungen gestellt, die sich durch Funktionskomplexe erfüllen lassen. Das Spritzgießwerkzeug besteht im Wesentlichen aus mehreren Einheiten, welche durch ihr Zusammenwirken den Prozess der Formteilkonstruktion ermöglichen. Deshalb sind alle Komponenten in der Auslegung wichtig und müssen alle beachtet werden. Ich werde mich bei der Konstruktion des Einfachwerkzeuges an die DIN EN ISO 294-1 richten, welche auch Hinweise zur Werkzeuggestaltung von Mehrzweckprobekörpern gibt. Die Spritzgießmaschine, welche zum Einsatz kommt, ist eine ALLROUNDER 270 C GOLDEN EDITION (vgl. Abb. 1) von ARBURG GmbH + Co KG. Laut der verwendeten Norm ist nur ein Anschnitt für die Herstellung von Vielweckprobekörpern vorgesehen. In dieser Arbeit wird davon abgewichen und es werden zwei Anschnitte realisiert. Dabei soll die Möglichkeit gegeben sein, den Schmelzfluss in die Kavität mittels einer Komponente zu steuern. Dadurch kann kontrolliert werden ob die Schmelze durch die beiden Anschnitte zur Kavität fließt oder nur durch einen Anschnitt. Desweiteren wird eine Füllsimulation mittels des Simulationsprogrammes Autodesk MOLDFLOW 2018 zur Überprüfung der Formteilkonstruktion durchgeführt, um mögliche Fehler schon vor der Herstellung des Werkzeuges zu erkennen.



Abbildung 1: Spritzgießmaschine ALLROUNDER von ARBURG [1]

## 2. Spritzgießtechnik

Das Spritzgießverfahren ist ein Verfahren welches der Hauptgruppe „Urformverfahren“ in der DIN 8580 (siehe Abb. 2) zugeordnet ist, welche eine Systematisierung aller Fertigungsverfahren durch Unterteilung in Hauptgruppen und Untergruppen vornimmt.

Die Spritzgießtechnik ist eine Technik welche eine breite Anwendung in der kunststoffverarbeitenden Industrie findet. Es ist ein herausragendes Verfahren womit verschiedene Kunststoffe verarbeitet werden können [1]. Es ist das Verfahren welches das beste Leistungsverhältnis bezüglich des eingesetzten und genutzten Werkstoffes aufweist. Die Werkstoffkosten der Ausgangsmaterialien sind im Verhältnis, bezogen auf das Gewicht, höher als bei anderen Materialien wie Metalle, die vielfach zur Anwendung kommen. Dennoch kann durch die Integration von Funktionalitäten in den Produkten sowie die nacharbeitsarme oder nacharbeitsfreie Herstellung eine wirtschaftliche Produktion gewährleistet werden [2]. Der Einsatz Spritzgegossener Spritzlinge erstreckt sich über alle Bereiche und es wird auch in absehbarer Zeit keine Einsatzreduktion zu vermerken sein. Es sei auch anzumerken das der Einsatz von Kunststoffen eine ressourcenschonende Variante darstellt, da dessen Einsatz zum Beispiel im Leichtbau dazu beigetragen hat die Werkstoffmenge und somit das Gewicht einer Konstruktion zu minimieren, was wiederum einen effizienzsteigernden Effekt hat, sowie auch zu Kosteneinsparungen verhilft. Das Öläquivalent, somit, der Verbrauch an Öl bei der Herstellung, ist geringer als bei Metallen, womit auch ein Umweltbewusster Einsatz von Kunststoffen möglich ist. Es können mit dem Verfahren Formteile mit einem Gewicht von bis zu 150 Kg in einer Zykluszeit von bis zu ca. 15 Minuten hergestellt werden [3].

Alle Spritzgießmaschinen weisen drei Hauptkomponenten auf: Plastifiziereinheit/Spritzeinheit, Schließeinheit und die Steuerungseinheit.

Auf die einzelnen Funktionen der Hauptkomponenten wird an anderer Stelle eingegangen. Um ein Formteil herzustellen ist auch ein Werkzeug notwendig. Dessen Konstruktion bedarf die Beachtung vieler Gestaltungsregeln um die gestellten Anforderungen an ein Formteil zu erfüllen. Das Spritzgießen ist ein diskontinuierlicher Prozess, was bedeutet das eine Prozesszeit durchlaufen werden muss, um von der schmelzzähen Formmasse zu einem aus dem Werkzeug zu entformenden Formteil zu kommen.

Der Fertigungsprozess besteht aus mehreren Teilschritten die nacheinander geschaltet sind, welche den ganzen Prozessablauf abbilden. Über einen, über der Plastifiziereinheit angebrachten Trichter wird die Kunststoffausgangsmasse, in Form von Granulat oder anderweitig, in den Schneckenraum eingebracht, welche dann mithilfe der Schnecke zu einer Düse weitertransportiert wird. Während des Transportes wird die Masse durch die Zylinderwand und durch die Abscherbeanspruchung durch die Schnecke erwärmt und somit plastifiziert. Darauffolgend wie die Formmasse in das Werkzeug mittels relativ hohem Druck in das Werkzeug eingespritzt und kann nach einer Abkühlzeit entnommen werden.

Somit ist das Fertigungsverfahren des Spritzgießens ein idealer Kandidat für die Massenherstellung von Formteilen aus Kunststoff. Es können große wie auch kleine Formteile hergestellt werden, wobei auch die Qualität der Fertigung immer durch weitere Optimierungen und Abstimmungen

### 3. Kunststoffe

verbessert wird. Heute sind schon in der Fertigung von Formteilen Genauigkeiten von 1/100 mm erreicht worden [1].

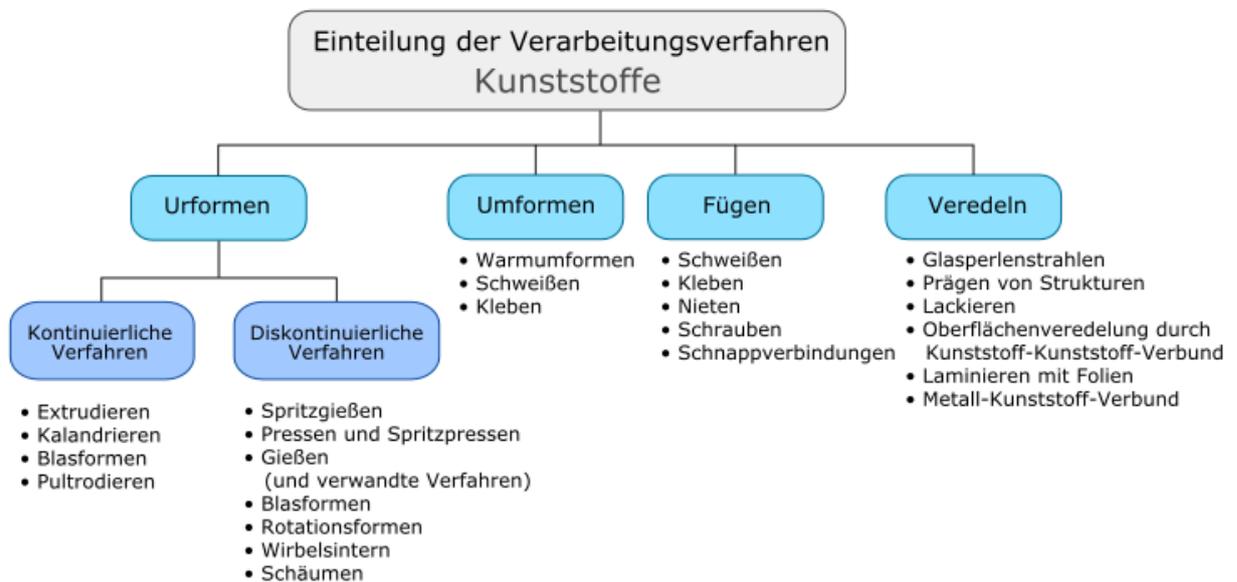


Abbildung 2: Fertigungsverfahren nach Din 8580 [4]

### 3. Kunststoffe

Kunststoffe sind synthetische oder natürliche organische Materialien, welche aus Makromolekülen aufgebaut sind. Makromoleküle werden durch das aneinanderreihen von Monomeren<sup>1</sup> gebildet. Sie gehören somit der Obergruppe der Polymere (vgl. Abb. 3) an, welche alle Werkstoffe auf Basis von langkettigen Molekülen auflistet. Kunststoffe sind eine eigene Gruppe unter den polymeren und sind auch die am meist verwendeten. In dieser Arbeit geht es vorrangig um Kunststoffe welche durch Spritzgießmaschinen verarbeitet werden können, deshalb werde ich mich im Weiteren nur auf Kunststoffe beziehen. Dabei sei noch angemerkt das die Begriffsbezeichnung „Kunststoff“ selbst ein Kunstwort ist und im weitesten Sinne sich auf synthetisch hergestellte Polymere bezieht.

Die Kenntnis über die Werkstoffeigenschaften der einzelnen Kunststoffarten ist von entscheidender Bedeutung für die Verwendung wie auch für die Verarbeitung. Nur durch die Beachtung der für die Verarbeitung relevanten Einflussgrößen kann ein Formteil von guter Qualität hergestellt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Kunststoffe gegenüber der Metalle resultiert aus einem geringeren Energieverbrauch bei dem Urformprozess, der Gestaltungsfreiheit und der Funktionsintegration.

<sup>1</sup> Monomer: Ist ein aus Wasserstoffatomen und Kohlenstoffatomen bestehendes Molekül

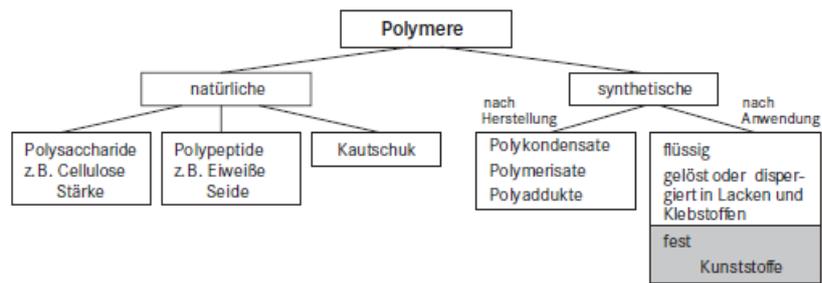


Abbildung 3: Polymere [5]

Ein Unterscheidungsmerkmal der eingesetzten Kunststoffe ist deren Leistungsfähigkeit die als Grundlage zur Differenzierung in Gruppen dient:

#### 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 (PS) [5].

#### Technische Kunststoffe:

Die Kunststoffe 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), Polyethylenterephthalat (PET), Polybutylenterephthalat (PBT) und Styrol-Copolymerisate, wie Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) sowie Polyurethane (PUR) [5].

#### Hochleistungskunststoffe:

Sind Werkstoffe, welche besondere Eigenschaften aufweisen und für bestimmte Anwendungen vorgesehen sind. Beispiele: Polysulfone (PSU, PES, PPSU ...), Polyetherketone (PEK, PEEK, PEEKK), Polyimide (PI, PAI, PEI) und Polyphenylensulfid(PPS) [5].

### 3.1 Synthetisieren von Polymeren

Polymere sind alle Werkstoffe welche aus Makromolekülen aufgebaut sind, welche wiederum aus Monomeren bestehen. Diese sind Moleküle welche genutzt werden um mit dessen Hilfe, durch Aneinanderreihung, lange Ketten entstehen zu lassen welche dann untereinander wechselwirken, um den Zusammenhalt zu ermöglichen.

Es existieren Drei verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung von polymeren für die Kunststoffverarbeitung, welche nun kurz besprochen werden.

#### 3.1.1 Polymerisation

Hierbei werden ungesättigte Monomere verwendet, welche leicht aufspaltbar sind, um eine chemische Reaktion zu erlauben. Die Monomere sind Kohlenwasserstoffmoleküle welche mindestens eine Doppelbindung -somit ungesättigt- aufweisen, um in einem Polymerisationsprozess eingesetzt werden zu können. Wenn hier die Rede von ungesättigten Molekülen ist, bedeutet es das mindestens eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen im Molekül vorhanden ist. Wird ein geeigneter Katalysator eingesetzt der diese Doppelbindungen aufbrechen kann, so kommt es im weiteren Verlauf zur Bildung von Strängen bestehend aus diesen einzelnen Monomeren die zusammengefasst als Makromolekül bezeichnet werden. Der Katalysator hat nur die Aufgabe zum Aufbrechen der Doppelbindungen, da dadurch das Monomer selbst nun einen Bindungspartner sucht, um das Energieniveau zu senken und es bricht selbst dann eine Doppelbindung eines weiteren Monomers auf (vgl. Abb. 4).

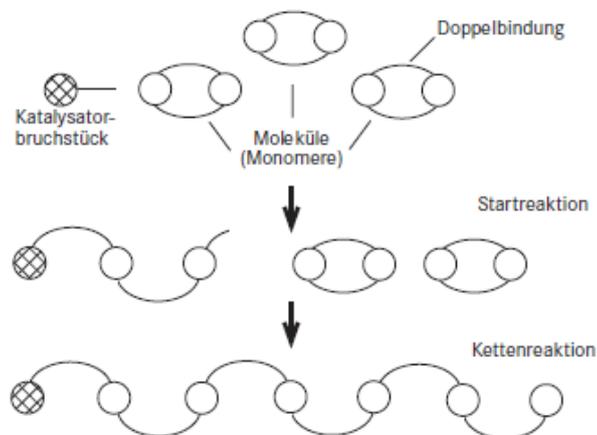


Abbildung 4: Polymerisation [5]

#### 3.1.2 Polyaddition

Hier werden Monomere verwendet die mindestens zwei funktionelle Gruppen aufweisen. Es findet eine Umlagerung eines Wasserstoffatoms bei der Bindungsverknüpfung statt. Hierbei entstehen keine Reaktionsprodukte wie bei der Polykondensation. Somit entstehen durch Addition der einzelnen Bestandteile Makromoleküle.

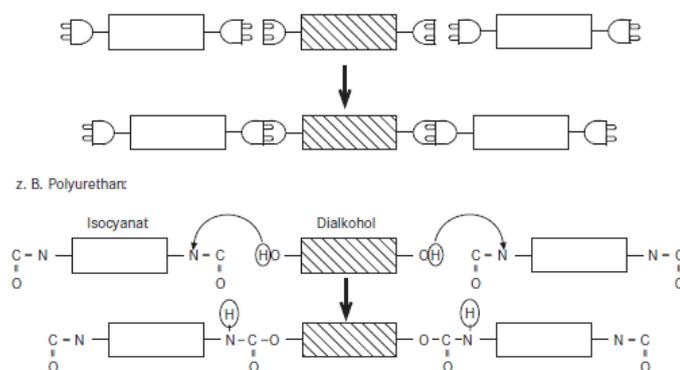


Abbildung 5: Polyaddition [5]

#### 3.1.3 Polykondensation

Die Polykondensation ist wie die Polyaddition eine Stufenreaktion, mit dem Unterschied das hier Nebenprodukte abgespalten werden wie Wasser oder Alkohol.

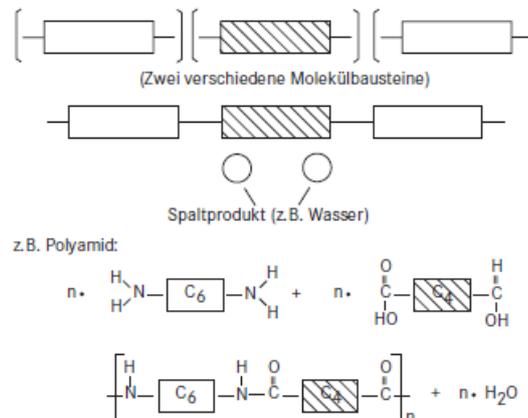


Abbildung 6: Polykondensation [5]

#### 3.2 Bindungskräfte

Bei der Bindungsart existieren zwei grundlegende Bindungstypen die wegen ihrer physikalischen bzw. chemischen Natur unterschieden werden: Die chemische Bindung und die physikalische Bindung.

Bei der chemischen Bindung handelt es sich um Bindungen welche auf die Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Atomen/Molekülen beruhen. Diese Bindungsart wird auch als primäre Bindung oder Hauptvalenzbindung bezeichnet. In der Chemie existieren zwei Bindungsarten: Die Kovalente Bindung (vgl. Abb. 7) und die Ionenbindung. Bei Kunststoffen handelt es sich vorrangig um kovalente Bindungen die zwischen den Monomeren und innerhalb der Monomere wirken. Hierbei teilen sich die in Verbindung stehenden Atome ihre Elektronen auf den Valenzschalen in dem sie ein Elektronenpaar oder mehrere bilden.

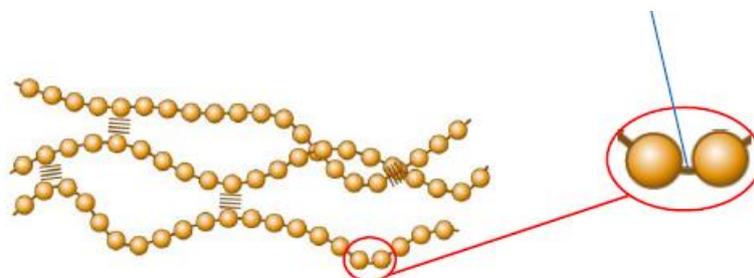


Abbildung 7: Kovalente Bindung [6]

Die physikalische Bindung ist, bei den Kunststoffen, die zwischen den Molekülketten wirkende Kraft. Die wirkenden Kräfte verhalten sich hierbei antiproportional zum Abstand, werden also größer bei geringerem Abstand zwischen den Makromolekülen. Diese Bindungsarten werden auch Sekundärbindungen genannt.

### 3. Kunststoffe

Die sich in einem Atom befindlichen Elektronen bewegen sich ständig um den Nukleus und stellen damit in der Gesamtbetrachtung eine fluktuierende Elektronendichte dar und erzeugen somit ein Dipolmoment, auch wenn das Atom bzw. das Molekül selbst unpolar ist.

Dieser hat einen Einfluss auf benachbarte Atome und induziert in ihnen ebenfalls ein Dipolmoment. Dadurch kommt es zu einer elektrostatischen Anziehungskraft zwischen den Atomen bzw. Molekülen. Diese Art von Kräften wird als Dispersionskraft genannt [6].

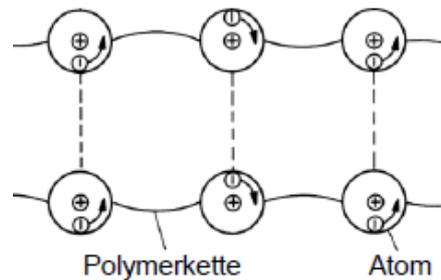


Abbildung 8: Dispersionskräfte [6]

Handelt es sich um Moleküle die Atome enthalten welche einen starken elektronegativen Charakter aufweisen, so entstehen permanente Dipolmomente. Wie bei den Dispersionskräften treten hier auch Kräfte zwischen den Molekülketten auf, wobei die hier erwähnten Dipol-Dipol-Kräfte stärker ausgeprägt sind als die Dispersionskräfte [6].

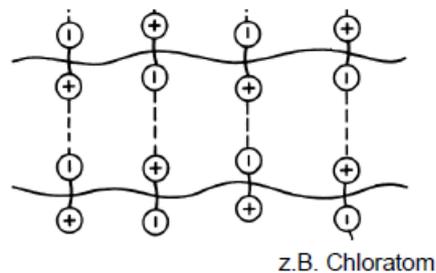


Abbildung 9: Dipol-Dipol-Kräfte [6]

Die letzte Art der Bindung zwischen Makromolekülen beruht auf Wasserstoffatome welche sich in den Molekülsträngen befinden. Zwischen ihnen und einem starken elektronegativen Element entstehen sehr starke Dipolkräfte welche die stärksten unter allen anderen sind und werden als Wasserstoffbrückenkräfte bezeichnet.

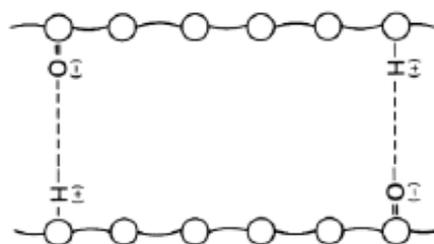


Abbildung 10: Wasserstoffbrückenkräfte [6]

### 3. Kunststoffe

---

Die chemischen Bindungen in den Molekülketten sind schwer zu lösen, jedoch sind die physikalischen Bindungskräfte abhängig von der Temperatur und von eingesetzten Lösungsmitteln abhängig. So regt eine Temperaturerhöhung eine weitere Erhöhung der Makromolekülschwingungen an, wodurch sich ein größerer Abstand zwischen ihnen einstellt und die physikalischen Bindungskräfte geschwächt werden. Es sind die physikalischen Bindungskräfte die die Festigkeit eines Kunststoffes bestimmen, da die Molekülketten nur aneinander abgleiten und selbst aber nicht reißen [6] [5].

#### 3.3 Struktur

Die Struktur bezeichnet die Anordnung (vgl. Abb. 11) der Makromoleküle zueinander und ist maßgeblich für die daraus resultierenden Eigenschaften eines Kunststoffes. Sie gibt Aufschluss darüber ob die Makromoleküle eine kristalline Struktur bei der Abkühlung annehmen oder regellos angeordnet sind und ob die Makromoleküle vernetzt sind oder nicht.

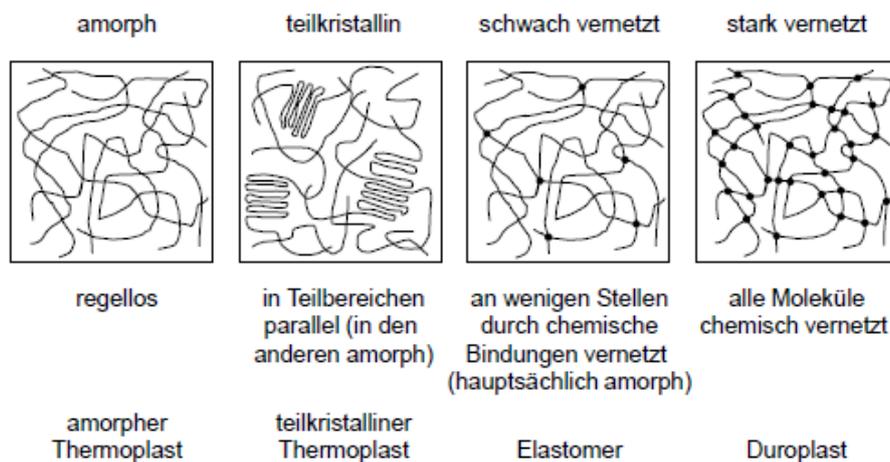


Abbildung 11: Struktur der Kunststoffe [6]

Die strukturellen Vorkommnisse in einem Polymer bedürfen einer Klassifikation. Dies wird durch die Unterteilung der Polymerhauptgruppen anhand ihres Vernetzungsgrades realisiert. Im Folgenden werden alle charakteristischen Eigenschaften der Polymergruppen aufgezeigt und anhand der untenstehenden Tab. 1 kann ein Überblick verschafft werden.

### 3. Kunststoffe

---

	Thermoplaste (amorph)	Thermoplaste (teilkristallin)	Elastomere	Duromere
Molekulare Struktur	Regellos, ungeordnet, verknäuel	In Teilbereichen parallel angeordnet	Weitmaschige Vernetzung	Engmaschige Vernetzung
Bindungsart	Physikalische Bindung	Physikalische Bindung	Chemische Bindung	Chemische Bindung
Bindungskräfte	Gering	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Schmelzbarkeit	Ja	Ja	Nein	Nein
Quellbarkeit	Ja	Ja	Ja	Nein
Vernetzungsgrad	Keins	Keins	Mittel	hoch
Löslichkeit	Ja	Ja	Nein	nein

*Tabelle 1: Kategorisierung der Kunststoffe*

#### 3.4 Thermoplaste

Thermoplaste sind Kunststoffe welche als einzige wieder aufgeschmolzen werden können und die die nicht vernetzt sind. Bei Raumtemperatur sind sie zähweich bis hartzäh oder hartspröde [1]. Die Makromoleküle sind entweder regellos angeordnet oder teils geordnet und parallel zueinander. Der Zusammenhalt wird durch die Sekundärbindungen ermöglicht. Da hier keine chemischen Vernetzungen zwischen der einzelnen Molekülkette vorhanden sind, können Thermoplaste wieder aufgeschmolzen werden, da bei höheren Temperaturen die Molekülketten aneinander vorbeigleiten können. Beim Abkühlprozess geraten die Molekülketten wieder näher zusammen und die Bindungskräfte greifen wieder und das Material geht in den festen Zustand über. Der Aufschmelzprozess kann zwar beliebig wiederholt werden, jedoch wird sich dadurch die Qualität des Materials verschlechtern.

Die Makromoleküle können sich verschiedenartig in einem thermoplastischen Material anordnen, deshalb unterscheidet man zwischen amorphen Thermoplasten und teilkristallinen Thermoplasten. Bei ersterem sind die Makromoleküle wahllos angeordnet, wobei bei teilkristallinen Strukturen die Makromoleküle sich beim Abkühlvorgang in Lamellen aneinanderlegen, welche sich wiederum in Sphäroliten radial anordnen. Die Thermoplaste können aufgrund ihrer Seitenketten nicht vollständig kristallisieren [5]. Wegen der höheren Packungsdichte bei teilkristallinen Thermoplasten kommt es bei einem Abkühlvorgang aus der Schmelze zu einer höheren Schwindung als bei amorphen Thermoplasten, was bei der Konstruktion von Kunststoffteilen zu beachten ist. Dies ist durch das thermodynamische Verhalten begründet. Sind die kristallinen Bereiche erstarrt, so ist der amorphe Bereich noch Schwindungsfähig. Je höher die Packungsdichte ist, desto höher ist die Festigkeit des Materials, da die Bindungskräfte zwischen den Makromolekülen größer sind. Durch Verstreckung bei einem Formgebungsprozess kann auch die Packungsdichte erhöht werden.

#### 3.4.1 amorphe Thermoplaste

Bei Raumtemperatur liegen die Molekülketten regellos im Makromolekülverband und es liegt ein harter, meist glasklarer, durchsichtiger Werkstoff vor. Die Bindungskräfte halten hier den Verband zusammen. Bei Erhöhung der Temperatur gelangt man wie man der Abb.12 entnehmen kann in den Erweichungsbereich, wo die Zugfestigkeit rapide abnimmt und die Dehnung bzw. Zähigkeit - damit auch das Energieaufnahmevermögen - steigt schnell an. Nach dem Überschreiten dieses Temperaturbereiches wird der Kunststoff weich-elastisch und damit verformbar. Die Nebervalenzkräfte sind viel geringer geworden, da durch die Temperaturerhöhung die Molekülketten schneller schwingen und somit ein größerer Abstand zwischen ihnen resultiert. In diesem Bereich können die Makromoleküle unter Kraftwirkung aneinander abgleiten.

Wird die Temperatur weiter gesteigert und wird der Bereich der Fließtemperatur durchlaufen, so nehmen die Bindungskräfte weiter ab, so dass sie kaum noch eine Wirkung haben. Man gelangt hierbei in den plastischen Zustandsbereich, wo die Viskosität des Materials so weit gesunken ist, dass ein Urformen ermöglicht wird, was für das Spritzgießen maßgebend ist. Bei weiterer Erhöhung der Temperatur bis über der Zersetzungstemperatur wird der Werkstoff zerstört bzw. zersetzt sich. Man erkennt das der Übergang in einem anderen thermodynamischen Bereich nicht direkt geschieht, sondern man durchläuft einen gewissen Temperaturbereich der zwischen den Zustandsbereichen liegt.

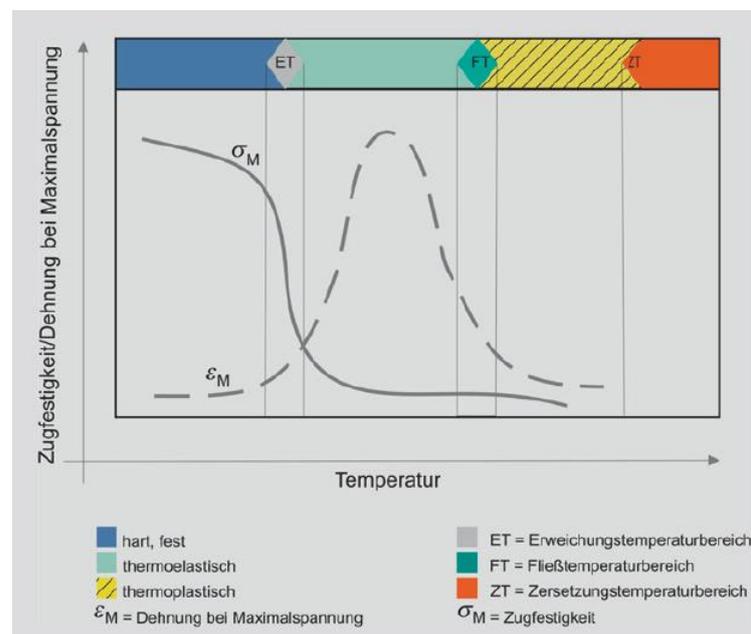


Abbildung 12: Formänderungsverhalten amorpher Thermoplaste [1]

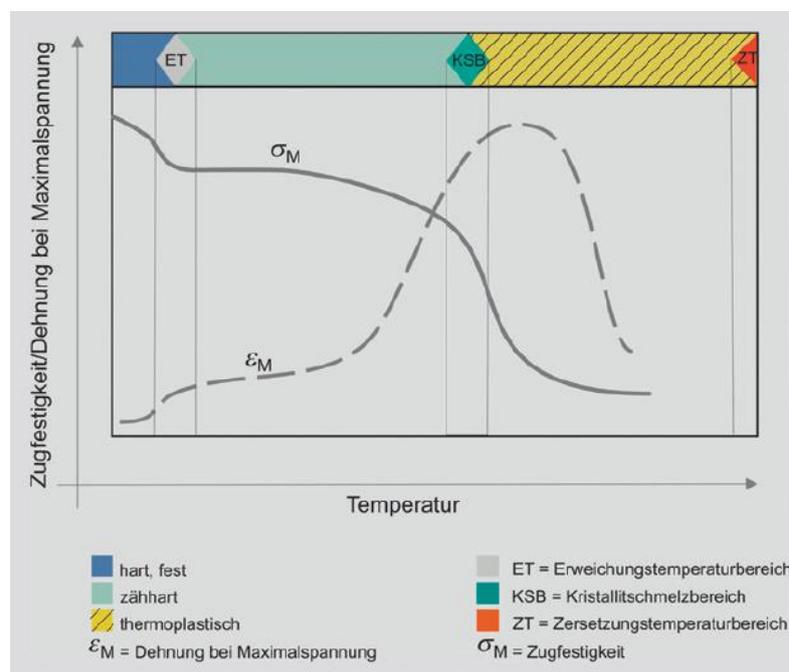
#### 3.4.2 teilkristalline Thermoplaste

Bei einem teilkristallinen Thermoplast sind Bereiche vorhanden, wo die Makromoleküle regellos angeordnet sind und andere wo Sie in gepackter bzw. geordneter Form nebeneinanderliegen. Die Bindungskräfte in den kristallinen Bereichen sind höher als in den amorphen Bereichen. Der Kunststoff ist wegen der teils kristallinen Struktur für Licht kaum durchlässig und wirkt deshalb

### 3. Kunststoffe

michlig und opak. Überschreitet die Temperatur die Glasübergangstemperatur<sup>2</sup>, dann sinkt die Festigkeit während die Dehnung zunimmt. Nach Überschreiten des Erweichungstemperaturbereiches sind die Bindungskräfte der amorphen Gefügeanteile soweit geschwächt das der Kunststoff von einem hart-spröden Werkstoffverhalten in einen hart-zäh übergeht. Damit steigt die Beweglichkeit der amorphen Anteile und die der kristallinen verändert sich nicht. Die kristallinen Anteile schmelzen erst beim Überschreiten des Kristallitschmelzbereiches. Nach diesem Bereich weist der Kunststoff ein thermoplastisches Verhalten auf und kann in einem Urformprozess verarbeitet werden. Hierbei sind die kristallinen Bereiche alle aufgelöst und der Werkstoff weist eine niedrige Festigkeit, wie eine gestiegene Dehnbarkeit auf. Die Beweglichkeit der Makromoleküle ist soweit angehoben, dass der Kunststoff nun auch eine Viskosität aufweist die zum Verarbeiten in einer Spritzgießanlage von Nöten ist. Erreicht die Temperatur die Zersetzungstemperatur, so wird der Kunststoff zersetzt und die Brauchbarkeit ist dann nicht mehr gegeben.

Wie man aus dem Festigkeits- Temperatur- Schaubild in Abb.13 erkennen kann, ist die höchste Festigkeit des Kunststoffes unterhalb der Glastemperatur gegeben. Jedoch sind die meisten teilkristallinen Kunststoffe bei Raumtemperatur hart-zäh und deren Erweichungstemperatur liegt unterhalb der Raumtemperatur. Somit ist der Gebrauchsbereich zwischen dem Erweichungstemperaturbereich und dem Kristallitschmelzbereich.



<sup>2</sup> Beim Überschreiten dieser Temperatur geht der Kunststoff von einem glasartigen Zustand in einen gummiartigen Zustand über.

#### 3.5 Elastomere

Elastomere sind die nicht schmelzbaren Kunststoffe, welche sich unter einer Beanspruchung elastisch verformen können. Für die Herstellung von Elastomeren verwendet man Naturkautschuke oder synthetisch hergestellte Kautschuke unter Einbeziehung eines Vulkanisationsprozesses. Naturkautschuk ist bei Raumtemperatur ein thermoplastisches Polymer, welcher nicht vernetzt ist, es somit keine chemischen Verbindungen zwischen den einzelnen Polymerketten untereinander gibt. Die Vulkanisation bezeichnet ein Verfahren mit dem die Makromoleküle der Kautschuke kovalente Verbindungen untereinander bilden, unter Beihilfe von Vernetzungsmitteln wie z.B. Schwefel. Somit bildet sich ein weitmaschig vernetztes Polymer, welcher für die Elastizitätseigenschaften des Polymers verantwortlich ist. Das besondere an diesem Polymer ist seine Eigenschaft sich so elastisch zu verformen, dass eine Dehnung von weit über

100 % erreicht wird und er nach Entlastung in seiner Ursprünglichen Form wieder zurückkehrt. Jedoch muss auch hier erwähnt werden das eine reine Elastizität in der Realität nicht erreicht wird und es immer zu einer minimalen Plastizität bei einer Verformung kommt.

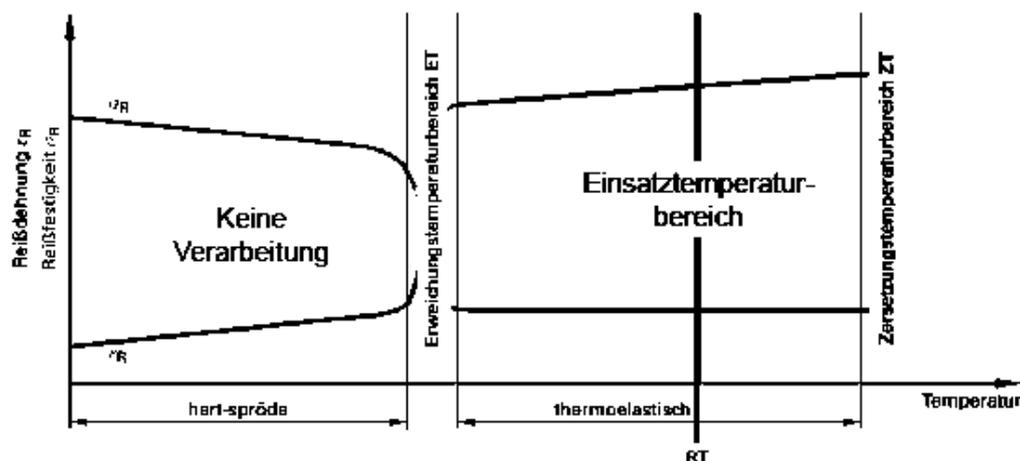


Abbildung 14: Zustandsdiagramm von Elastomeren [7]

Unterhalb des Erweichungstemperaturbereiches, auch als Glasübergangstemperatur bezeichnet, ist das Elastomer hart-spröde und weist eine geringe Reißfestigkeit auf (vgl. Abb. 14). Der Werkstoff ist in diesem Temperaturbereich unterhalb der Raumtemperatur und versprödet somit bei tieferen Temperaturen. Oberhalb der Glasübergangstemperatur ist die Reißdehnung und die Reißfestigkeit nahezu konstant und beide Kennwerte werden nur geringfügig von der Temperatur beeinflusst. Ab dem Zersetzungstemperaturbereich fängt das polymer an sich zu zersetzen [7].

Die Elastomere können nicht wieder aufgeschmolzen werden um in einem Urformprozess verwendet zu werden, da die Vernetzung der Polymerkette dies nicht erlaubt und es nur bei entsprechend hohen Temperaturen zu einer Zersetzung kommt. Das plastische Verhalten von Kunststoffen beruht lediglich auf die Bindungskräfte zwischen den Makromolekülen. Da eine Vernetzung vorliegt ist eine Verschiebbarkeit der Kettenmoleküle nicht möglich. Zudem muss dem Vernetzungsprozess (Vulkanisation) Wärme zugeführt werden. Dies wird bei einem Spritzgießprozess vom Werkzeug gewährleistet. Hier wird also das Werkzeug nicht wie bei Thermoplasten gekühlt, sondern erwärmt.

## 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

### 3.6 Duromere

Duromere sind wie die Elastomere Polymere die aus vernetzten Makromolekülen bestehen, wobei der wesentliche Unterschied zu den Elastomeren in dem Vernetzungsgrad liegt. Duromere weisen eine höhere Anzahl an Verknüpfungspunkten zwischen den Makromolekülen auf als Elastomere und sind deshalb engmaschig vernetzt. Sie sind weder quellbar noch sind sie löslich und wie die Elastomere können sie nicht mehr aufgeschmolzen werden, um weiterverarbeitet zu werden. Die Duromere sind jedoch viel steifer als die Elastomere, was eine geringere Verformbarkeit und eine höhere Sprödigkeit zur Folge hat. Dieses Verhalten ist auf die Vernetzungsstruktur zurückzuführen. Die Herstellung erfolgt mittels einer chemischen Reaktion: der Polyaddition oder der Polykondensation.

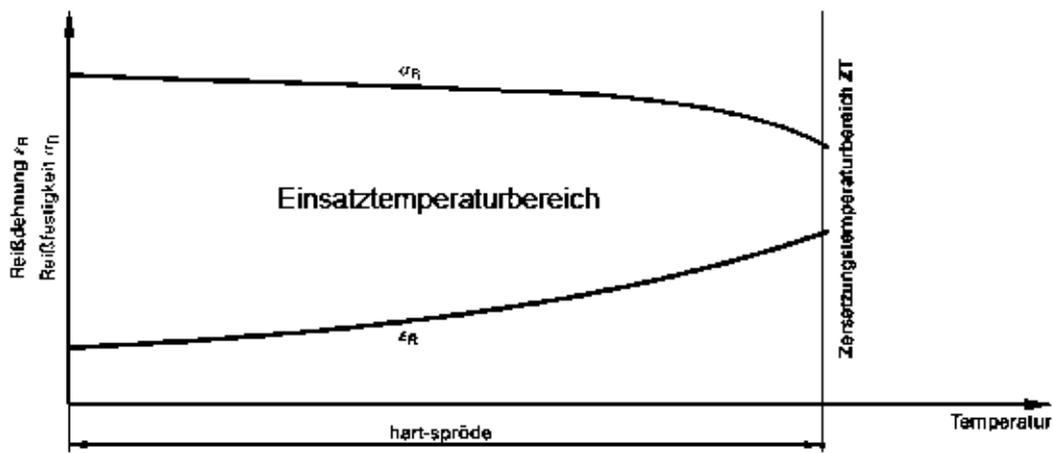


Abbildung 15: Zustandsdiagramm von Duroplasten

Wie man dem Zustandsdiagramm aus der Abb.15 entnehmen kann, gibt es keine Glasübergangstemperatur wie bei den beiden anderen Werkstoffgruppen. Der Werkstoff kann auch nicht in einem Umformprozess umgeformt werden und zersetzt sich bei Beginn des Zersetzungstemperaturbereiches.

## 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

Im Hinblick auf alle Kunststoffverarbeitungsprozesse ist die Kenntnis des Kunststoffverhaltens während des Verarbeitungsprozesses unabdingbar. Wie ein Werkstoff fließt wird durch die Rheologischen Eigenschaften charakterisiert. Im Spritzgießprozess muss zur Homogenisierung und zum Fördern der Masse wie auch zur Füllung der Kavitäten, sich die Formmasse in einem thermoplastischen Zustand befinden. Nach dem Füllungsprozess muss dem Formteil entweder Wärme zugeführt oder abgeführt werden. Bei diesen Vorgängen verändern sich die Eigenschaften des eingesetzten Polymers dahingehend, dass ohne Kenntnis der Einflüsse auf die Eigenschaften kein Formteil von guter Qualität produziert werden kann. Der Verarbeitungsprozess beeinflusst damit die Produkteigenschaften. Schmelzflüssige Polymere verhalten sich viskoelastisch. Durch diese Benennung soll verdeutlicht werden, dass sich Polymerschmelzen nicht nur rein viskos verhalten, sondern auch zum Teil elastisch verhalten.

### 4.1 Schichtenmodell

Das Schichtenmodell (vgl. Abb. 16) dient der Visualisierung der Strömung zwischen zwei Platten. Die Flüssigkeit wird in Schichten, gemäß einem Schichtenmodell mit einer infinitesimalen Dicke, unterteilt. Die Flüssigkeit haftet an der Wand und hat folglich dort eine Geschwindigkeit von Null, wohingegen die Mittelschichten die maximale Geschwindigkeit aufweisen.

Durch diese Haftung entstehen Scherungen welche ein Hindernis für den Fluss der Flüssigkeit darstellen. Die Scherung nimmt entsprechend dem Modell zur Mitte hin ab.

Bei stationären, also zeitinvarianten Strömungen, ist die Geschwindigkeit nur von dem Ort in der vertikalen veränderlich und nicht in der horizontalen wie in instationären Strömungen.

Es entsteht, aufgrund der auftretenden Schubspannungen in den jeweiligen Schichten, ein Druckverlust, welcher mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden kann, was in einem weiteren Abschnitt aufgezeigt wird.

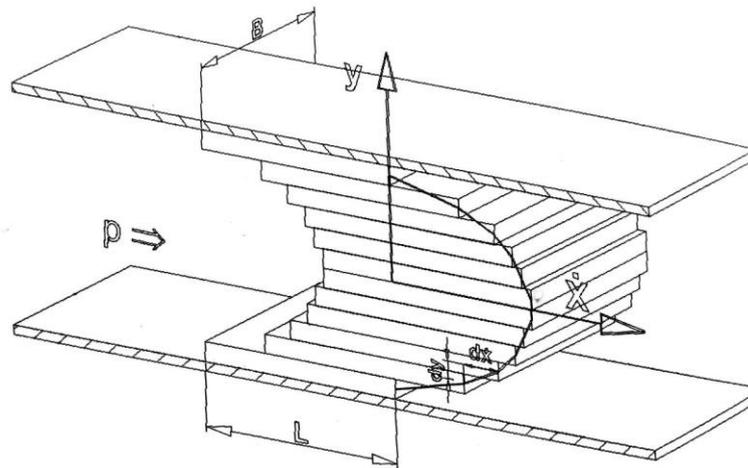


Abbildung 16: Schichtenmodell einer Scherströmung [9]

### 4.2 Viskosität

Die dynamische Viskosität ist eine Größe welche sich auf den inneren Widerstand einer fließfähigen Masse bezieht. Sie ist ein Maß dafür, wieviel Widerstand eine Flüssigkeit einer Bewegung entgegensetzt. Sie ist ein Proportionalitätsfaktor zwischen der Schergeschwindigkeit und der Schubspannung.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (4.1)$$

In unserem Fall, einer Schmelze in einem Spritzgießprozess, ist die Viskosität nicht konstant. Es handelt sich somit um kein newtonsches Fluid, bei dem der Verlauf der Viskosität über der Schergeschwindigkeit linear ist. Je höher die Schergeschwindigkeit wird, desto geringer wird die Viskosität, was einen Vorteil mit sich bringt. Der Werkstoffwiderstand nimmt ab und dadurch verringert sich die einzubringende Energie zum Transport des Fluids. Dieses Verhalten, dass die Viskosität mit steigender Schergeschwindigkeit abnimmt bezeichnet man als Strukturviskosität.

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}) \cdot \dot{\gamma} \quad (4.2)$$

Es sei angemerkt das in einem Werkzeug oft Querschnitte mit einem Durchmesser geringer als einem Millimeter vorhanden sind und man müsste um eine Flüssigkeit schnell durch einen solchen Querschnitt zu transportieren einen sehr großen Druck aufbringen. Durch die Viskositätsverringeringung kann dieser benötigte Druck verringert werden. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der molekularen Struktur der Viskosität. Die Makromoleküle sind regellos in einem amorphen Thermoplast angeordnet und werden durch die Verstreckung ausgerichtet und ordnen sich parallel zueinander, was sich günstig auf das Abgleiten auswirkt [9].

Ebenfalls verändert sich die Viskosität mit der Temperatur (vgl. Abb. 17). Dabei verringert sich die Viskosität mit steigender Temperatur, da sich die Beweglichkeit der Makromoleküle erhöht und damit der Abstand zwischen ihnen vergrößert wird. Mit größerem Abstand verringern sich die Bindungskräfte und damit können die Makromoleküle leichter, also mit geringerem Widerstand aneinander abgleiten.

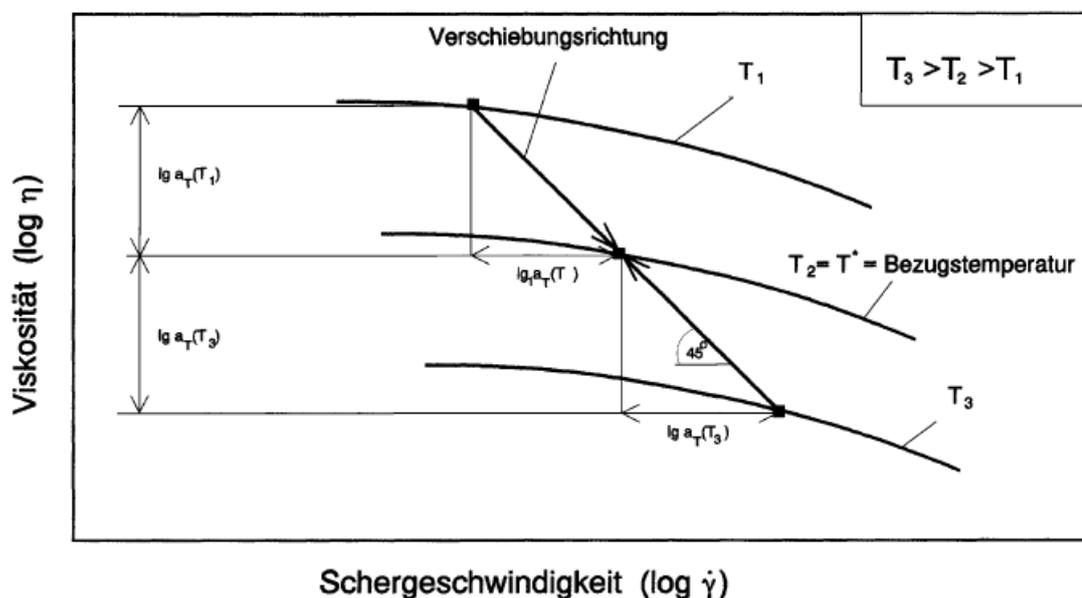


Abbildung 17: Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur und Schergeschwindigkeit [3]

In der Abb. 18 sind zwei Fließkurven abgebildet welche den Zusammenhang zwischen der Schubspannung und der Schergeschwindigkeit wiedergeben. Die gerade Funktion beschreibt hier das Verhalten eines newtonsches Fluids. Hier ist die Viskosität nicht von der Schergeschwindigkeit abhängig.

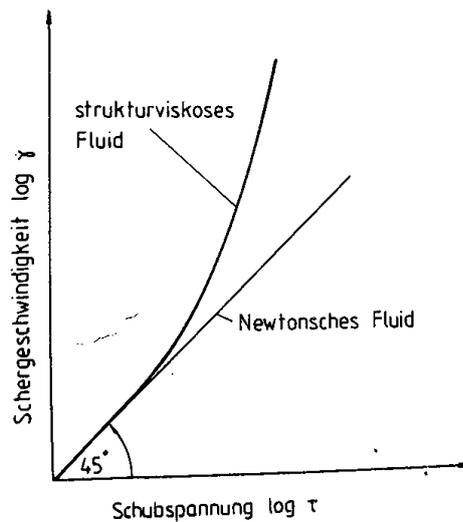


Abbildung 18: Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit von der Schubspannung

Um das strukturviskose Verhalten auch mathematisch erfassen zu können und analytische Gleichungen zur Beschreibung des Verhaltens zu erhalten, wurden einige Modelle entwickelt wie der Potenzansatz nach Ostwald und de Waele, Carreau-Ansatz und einige weitere.

Das Temperaturprofil in Abb. 18 eines Strömungsquerschnittes eines Werkzeuges zeigt auf, dass sich ein Temperaturprofil der Schmelze entlang des Querschnittes und quer dazu entlang des Fließweges einstellt. Dieses Profil hängt maßgeblich von der Wärmeleitfähigkeit der Schmelze und der Werkzeugwand, wie auch von der Einspritzgeschwindigkeit ab. Spritzt man zu langsam in das Werkzeug, so kühlt die Schmelze schneller ab und dadurch nimmt die Viskosität ab, was einen erhöhten Einspritzdruck erfordert.

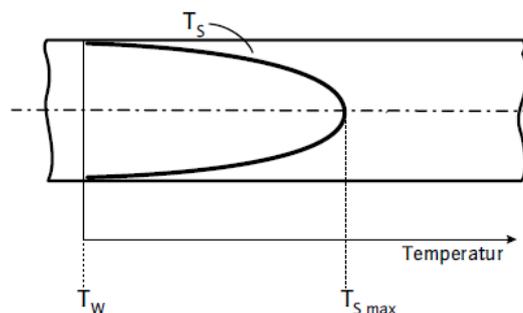


Abbildung 19: Temperaturprofil eines Strömungsquerschnittes [10]

### 4.3 Schubspannung

Laut dem Schichtenmodell (vgl. Abb. 16) kann man sich eine Flüssigkeit aus Schichten aufgebaut denken, wobei in jeder Schicht Spannungen parallel zu der jeweiligen Schichtebene wirken. Diese sind verzögernde Kräfte welche beim Transport zu überwinden sind.

#### 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

Dabei sind sie nicht in jeder Schicht gleich groß. In einem Kanal würden sie zur Mitte hin kleiner werden und sind an der Kanalwand am größten. Durch die Überwindung des Widerstandes ist es möglich einen Fluss zu erlauben. Hier muss bedacht werden das die wirkenden Schubspannungen ab gewissen zu hohen Werten auch das Material zersetzen können.

Die allgemeine Definition der Schubspannung lautet:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.3)$$

#### 4.4 spezifisches Volumen

Die Dichte von Kunststoffen ist meist kleiner als die von anderen Werkstoffen wie Metallen. Dadurch wird eine Gewichtsreduktion erreicht, weshalb auch im Leichtbau gerne mit Fasern verstärkte Kunststoffe zum Einsatz kommen. Die Dichte wird vornehmlich durch die Struktur der Kunststoffe beeinflusst, wie auch von der Molaren Masse der im Kunststoff befindlichen Atome. Je gepackter die Anordnung ist, desto höher ist die Dichte, wie man das bei einem amorphen und einem teilkristallinen Kunststoff beobachten kann.

Die molare Masse der Elemente von Polymeren ist geringer als die von Metallen und die Kristallstruktur des Atomverbandes in einem Metall ist gepackter als bei Kunststoffen, weshalb dementsprechend Metalle eine höhere Dichte aufweisen als Kunststoffe [8].

Die Dichte ist aber selbst als eine Funktion von thermodynamischen Größen zu betrachten. Sie hängt von der Temperatur und von den Druckverhältnissen ab (vgl. Abb.20).

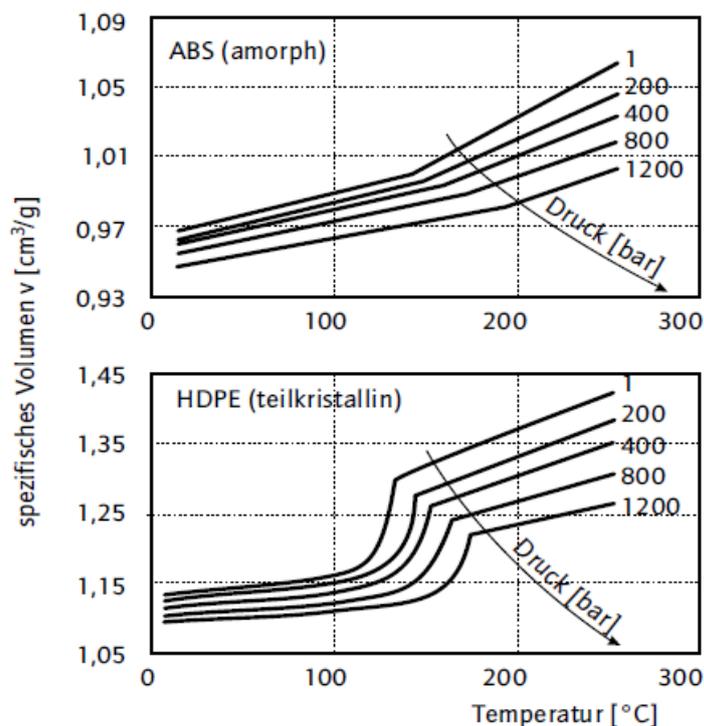


Abbildung 20:p-v-T-Diagramm von Thermoplasten

Anhand der Abb. 20 ist ersichtlich, dass das spezifische Volumen und damit auch die Dichte bei steigender Temperatur steigt und je höher der Druck ist desto geringer wird die Dichte. Bei

#### 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

teilkristallinen Thermoplasten sieht man einen Knick in der Kurve, was durch den kristallinen Anteil begründet ist. Ab der Kristallisationstemperatur verliert sich die gepackte Anordnung des kristallinen Anteils und dies geschieht in einem sehr kleinen Temperaturbereich, was eine rapide Verringerung des spezifischen Volumens nach sich zieht. Bei amorphen Thermoplasten sieht man ebenfalls einen Knick, welcher die Glastemperatur charakterisiert. Ab da steigert sich die Beweglichkeit der Kettenmoleküle durch starke Verminderung der Wirkung der Bindungskräfte zwischen ihnen. Der Spritzgießprozess und die Notwendigkeit des Nachdruckes kann anhand des in Abb. 21 dargestellten pVT-Diagramms dargestellt werden.

Kurz vor dem Einspritzen befindet sich die Formmasse im Plastifizierzylinder. Das einzuspritzende Volumen wurde dosiert und befindet sich auf Verarbeitungstemperatur mit Atmosphärendruck (1). Durch das Einspritzen in die Kavität bzw. Kavitäten wird ein hoher Druck aufgebaut (2). Geschieht die Füllung nahezu unendlich langsam, so erkennt man einen Zustandswechsel ohne Temperaturänderung. Dies ist bei den realen Verhältnissen nicht der Fall und deshalb verläuft die Änderung mit einer Temperaturerhöhung, wie durch die gestrichelte Linie verdeutlicht wird. Sind alle Kavitäten gefüllt, so wird der Formmasse kontinuierlich durch das Werkzeug Wärme entzogen. Dabei wird sich die Temperatur des Formteils bis auf Umgebungsdruck verringern und dabei nimmt, wie die gestrichelte Linie andeutet, das spezifische Volumen leicht ab (3). Das Formteil verliert an Volumen, was bedeutet, dass das Formteil nicht mehr an dem Werkzeug anliegt (4). Dieser Umstand macht es nötig eine Nachdruckphase einzuführen. Denn dadurch kann der Abstand zwischen dem Punkt 3 und dem Punkt 4 verringert werden, was dazu führt das sich zwischen diesen Punkten das spezifische Volumen kaum ändert.

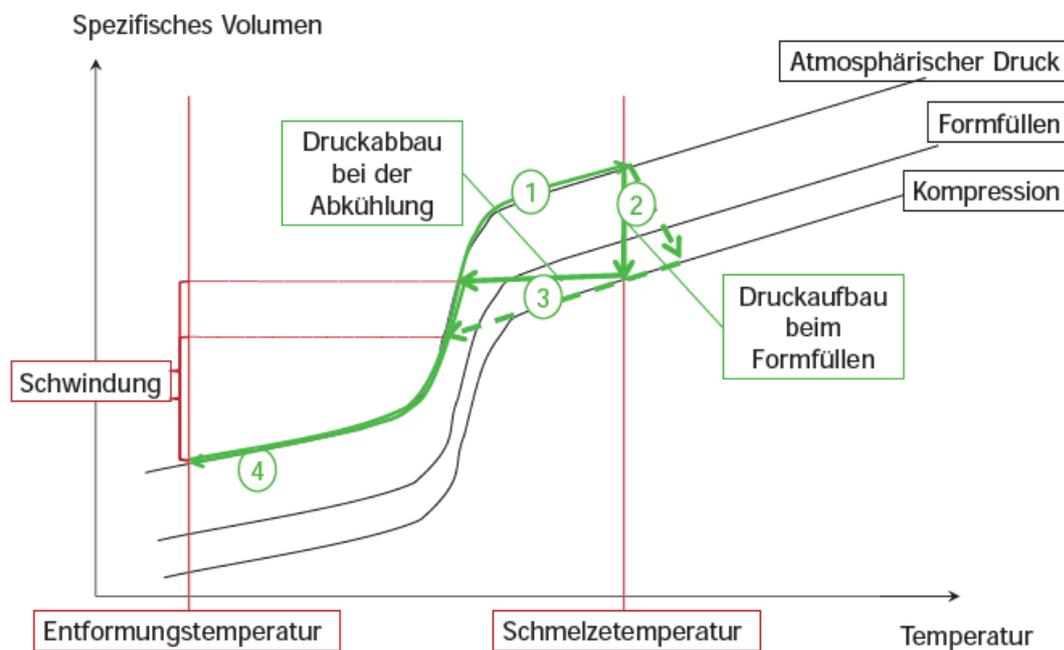


Abbildung 21: Spritzgießprozess anhand eines pVT-Diagramms [12]

Da Kunststoffe komprimierbar sind, muss das vorgesehene dosierte Volumen größer ausfallen als das Volumen aller Hohlungen im Werkzeug. Die Höhe des Nachdruckes ist einer der entscheidenden Faktoren für die Minderung der Schwindung des Formteils. Ohne den Nachdruck wäre es auch kaum möglich fehlerfreie Teile herzustellen. Durch die rasche Abkühlung der Außenflächen des Formteils und somit der Steifigkeitssteigerung der Außenwände kommt es

#### 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

---

durch Volumenschwund im Inneren zu Kavitäten im Formteil oder zu Einfallstellen an den Außenwänden, wenn die Wände noch durch die inneren Spannungen Verformungen zulassen. Das Schwindungsverhalten des Formteils muss bei der Konstruktion des Werkzeuges bekannt sein. Beim Füllvorgang wird sich das Werkzeug durch den Formteildruck im inneren der Kavität aufweiten und somit wird das Formteil ebenfalls diese Weitung annehmen. Ist bei der anschließenden Abkühlung und nach Beendigung des Nachdruckes die Schwindung des Formteils kleiner als die Rückstellverformung des Werkzeuges, so kommt es zu Entformungsproblemen oder/und zu Werkzeugschäden bzw. die Funktionsfähigkeit des Werkzeuges wird beeinträchtigt. Ebenfalls kann durch eine Biegeverformung ein Spalt entstehen, der zum Überspritzen führt. Die Kunststoffhersteller geben Datenblätter mit Schwindungsparametern heraus, jedoch muss auch bedacht werden, dass in den ausgegebenen Daten die Geometrie der Formteile und auch der Nachdruck nicht abgebildet sind. Deshalb sollten vorab Versuche durchgeführt werden. Für Anhaltswerte einiger Kunststoffe gilt folgende Tabelle:

Kunststoffsorte	Schwindung in %	Kunststoffsorte	Schwindung in %
Polyamid 6	1-1,5	Polycarbonat	0,8
Polyamid 6 + Glasfaser	0,5	Acetatcopolymerisat	2
Polyamid 6,6	1-2	Polyvinylchlorid hart	0,5-0,7
Polyamid 66 + Glasfaser	0,5	Polyvinylchlorid weich	1-3
Polyethylen niedriger Dichte	1,5-3	Acrylnitril-Styrol-Butadien	0,4-0,6
Polyethylen hoher Dichte	2-3	Polypropylen	1,2-2
Polystyrol	0,5-0,7	Celluloseacetat	0,5
Acrylnitril-Styrol	0,4-0,6	Celluloseacetobutyrat	0,5
Polymethacrylate	0,3-0,6	Cellulosepropinat	0,5

*Tabelle 2: Schwindungswerte ausgewählter Kunststoffe [3]*

Wie man erkennt schwanken die Werte bei einzelnen Kunststoffen. Deshalb ist das Datenblatt des Herstellers ausschlaggebend für die Werkzeugkonstruktion.

#### 4.5 Eigenspannungen

In einem Spritzgießprozess wird die Schmelze mittels eines Angussystems an die Kavitäten geleitet. Das Werkzeug muss bei einem thermoplastischen Ausgangsmaterial gekühlt sein, um die Schmelze schnell abzukühlen und die Zykluszeit gering zu halten. Dabei hat diese Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze und der Werkzeugwand einen erheblichen Einfluss auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Formteile. Ursache für Eigenspannungen im Formteil sind hauptsächlich Scherbeanspruchungen und ein sich einstellendes Temperaturprofil während des Spritzgießvorganges. Die Schmelze wird bei Eintritt in das Werkzeug in der Nähe der Werkzeugwand so weit abgekühlt, dass Sie nahezu sofort erstarrt. Damit schirmt sie die zur Mitte hin restliche Schmelze ab. Deshalb stellt sich ein Temperaturprofil über dem Querschnitt ein. In Wandnähe ist die Temperatur geringer als in der Mitte. Nach der Entformung werden die in der Mitte befindlichen Materialbereiche versuchen, sich wegen des

## 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

---

Kontraktionsvermögens zusammenzuziehen, wie auch die Randbereiche. Jedoch mit dem Unterschied, dass das Kontraktionsvermögen bis zur Umgebungstemperatur in der Mitte höher ist als in den Randschichten. Daraus resultieren Druckspannungen in den Randschichten und Zugspannungen in den mittleren Bereichen. Grundsätzlich zeichnen sich Eigenspannungen durch Vorhandensein von Zug-, -und Druckspannungen auf, welche nach außen hin sich aufheben. Diese Eigenspannungen führen bei zu geringer Steifigkeit der Formteile zu Verzug und damit zu sichtbaren Verformungen im Bauteil, um die inneren Spannungen abbauen zu können. Bei unvermeidbarem Verzug durch eingebrachte Eigenspannungen während des Verarbeitungsprozesses kann mithilfe einer Abkühllehre der Verzug unterbunden werden. Dabei wird das entformte Formteil direkt nach der Entnahme zur Auskühlung in einer Abkühllehre eingespannt.

### 4.6 Orientierungen

Unter Orientierung versteht man die Ausrichtung der Makromoleküle in einem Polymer während der Verarbeitung [3]. Bei amorphen oder Teilamorphen Kunststoffen liegt in den amorphen Bereichen eine Orientierungslosigkeit der Makromoleküle vor. Während des Spritzgießens werden die Makromoleküle in der Schmelze durch Deformationen im Spritzvorgang ausgerichtet. Beim Spritzgießen werden die Makromoleküle zuerst in der Nähe der Wandung stark ausgerichtet, da hier die größten Schubspannungen wegen dem maximalen Geschwindigkeitsgefälle 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 anisotrope Werkstoffeigenschaften, welche in Orientierungsrichtung besser sind als das isotrope Material und senkrecht dazu schlechter sind. Zudem führt dies zu weiteren Problemen, wie dem Verzug und der Schwindung bei höheren Gebrauchstemperaturen, da die Beweglichkeit der Makromoleküle ausreicht um die Ausrichtung zu lösen. Die Orientierungen nach der Abkühlphase, in der Mitte eines Formteils, sind auf die Nachdruckphase zurückzuführen, da ohne diese die Schubspannungen zu gering sind um eine Orientierung der Makromoleküle zu bewirken. Ob im Formteil nach dem Abkühlen die Orientierungen erhalten bleiben, hängt vom Temperaturgradienten zwischen der Werkzeugwand und der Schmelze ab. Je höher dieser ist, desto weniger Zeit haben die Makromoleküle Zeit sich wieder zu verknäulen. Durch die Orientierung erhöhen sich die Festigkeitskennwerte und andere Eigenschaften wie die Wärmeleitfähigkeit, jedoch nur in Orientierungsrichtung und nicht im ganzen Bauteil. Dieses Anisotrope Verhalten ist jedoch meist unerwünscht. Zusammengefasst kann gesagt werden das zwei Voraussetzungen gelten müssen zur Bildung von Orientierungen. Zum einen muss eine fließfähige ausgerichtete Polymerschmelze vorliegen und eine ausreichend schnelle Kühlung, um die Orientierungen nach dem Abkühlen beizubehalten

### 4.7 Kristallisation

Amorphe teilkristalline Thermoplaste bilden ausgehend von Keimen Kristallite, somit geordnete Bereiche, welche bessere mechanische Eigenschaften aufweisen als nur die amorphen Bereiche. Die Makromoleküle der Polymere weisen meist Seitenketten auf. Sind diese Seitenkettengruppen in einem Kunststoff klein genug und weisen entlang der Molekülkette eine gleichmäßige

#### 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

Anordnung auf, so können sich kristalline Strukturen bilden [3]. Eine vollständige Kristallisation eines Polymers tritt nie auf, da sich die Molekülketten selbst bei der Anordnung behindern und es auch Unregelmäßigkeiten im Polymeraufbau gibt. In den pvT-Diagrammen solcher Kunststoffe ist im Kurvenverlauf ein Knick vorhanden, welcher die Schmelztemperatur kennzeichnet. Ab dieser Temperatur ändert sich die Dichte sehr schnell. Der Kristallisationsgrad beschreibt den Anteil des kristallinen Bereiches am ganzen Formteil. Dieser Anteil ist durch den Verarbeitungsprozess beeinflussbar. Je schneller das Werkzeug die Schmelze abkühlt, desto geringer ist der Kristallisationsgrad (vgl. Abb.22), da die Kettenmoleküle weniger Zeit haben sich anzuordnen und eine gepackte Struktur anzunehmen. Die Kristallisation kann sogar dadurch unterbunden werden. An wandnahen Bereichen wird die Schmelze sehr schnell abgekühlt, was bei teilkristallinen Kunststoffen dazu führt, dass diese Bereiche nicht kristallisieren können. Das heißt, es kommt in diesen Bereichen zu einer erzwungenen amorphen Erstarrung. 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.

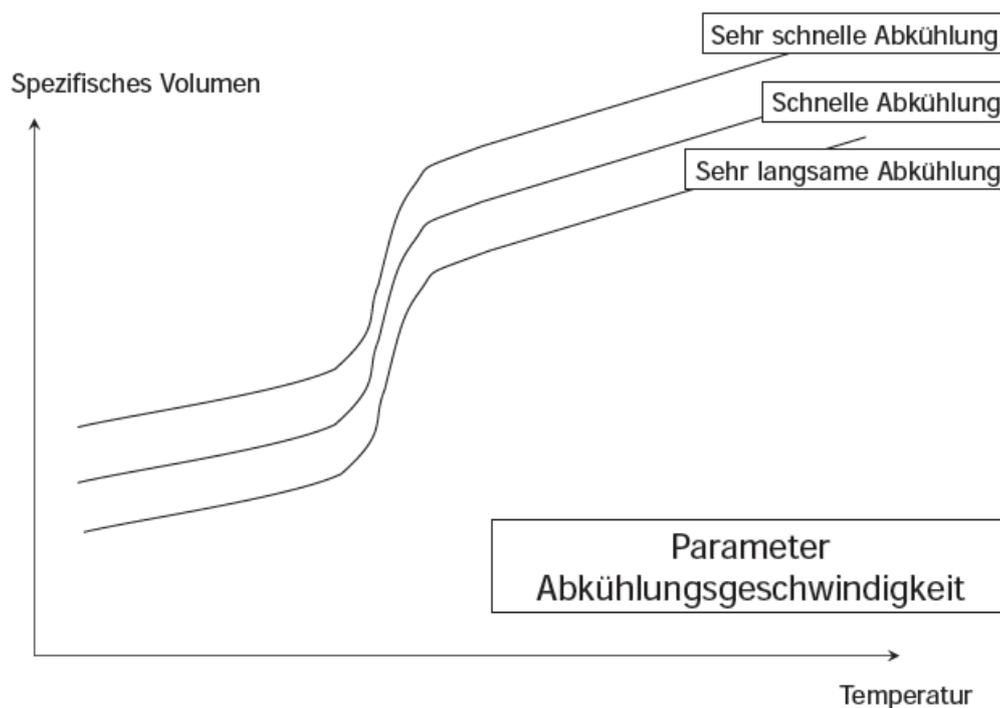


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Temperatur und spezifischem Volumen bei teilkristallinen Polymeren

#### 4.8 Hagen-Poiseuille und der Druckverlust

Damit ein Kunststoff während des Spritzgießvorganges durch das Werkzeug fließen kann, muss ein Druckgefälle herrschen, da die Schmelze eine Viskosität aufweist und somit für das Fließen einen Widerstand darstellt.

#### 4. Für der Spritzguss relevante Kunststoffeigenschaften

Um das, für das Fließen nötige Druckgefälle zu quantifizieren, bedient man sich die nach ihrem Erfinder genannte Hagen-Poiseuille Gleichung, die einen Zusammenhang zwischen der Viskosität, der mittleren Geschwindigkeit, der Fließweglänge und des durchströmten Querschnitts stellt:

$$\Delta p = \frac{\eta \cdot \bar{v} \cdot L}{D^2} \quad (4.4)$$

Dabei stellt die mittlere Geschwindigkeit die gemittelte Geschwindigkeit der Schmelze über den gesamten Querschnitt des Kanals dar. Trägt man den Druckunterschied auf die Geschwindigkeit auf, so sieht man das der Druckunterschied sich proportional zu der Geschwindigkeit verhält. Da jedoch sich die Temperatur während des Flusses der Schmelze durch das Werkzeug ändert, ändert sich auch die Viskosität, da sie selbst von der Temperatur abhängig ist. Deshalb gilt die oben angegebene Gleichung nur für isotherme Vorgänge. Um eine genauere Betrachtung des Fließverhalten während der Einspritzphase zu erhalten, muss auch der Temperatureinfluss auf die Viskosität berücksichtigt werden [9].

Die Viskosität sinkt mit steigender Temperatur und sorgt dafür, dass ein niedrigerer Druckunterschied aufgebracht werden muss, um den Schmelzfluss zu ermöglichen, anders herum steigt der nötige Druckunterschied.

Berücksichtigt man nun den Temperatureinfluss auf die Viskosität und den von Hagen-Poiseuille aufgestellten Druckunterschied, so erhält man die in Abb. 23 gezeigten Verlaufskurven.

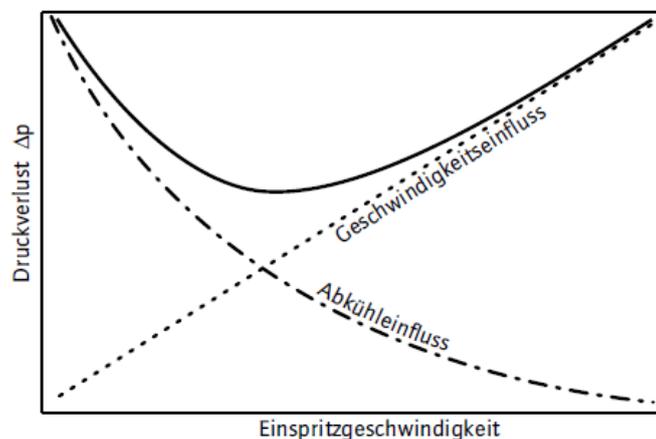


Abbildung 23: Einfluss von Einspritzgeschwindigkeit und Abkühlung auf den Druckverlust beim Spritzgießprozess [9]

Hieraus erkennt man das mit einer höheren Geschwindigkeit der Schmelze die Abkühlwirkung der Werkzeugwand auf die Schmelze abnimmt und somit keine große Viskositätsänderung auftritt, während durch die erhöhte Geschwindigkeit ein immer größer werdender Druckunterschied aufgebracht werden muss. Andererseits sinkt der geforderte Druckunterschied nach Hagen-Poiseuille mit der Verringerung der mittleren Geschwindigkeit und steigt -aufgrund des Temperatureinflusses- durch die abkühlende Wirkung der Werkzeugwand. Somit versucht man hier einen Arbeitspunkt zu finden, wonach sich der Einspritzdruck auf dem niedrigsten Niveau befindet, was man an dem Schnittpunkt beider Kurven, eine für den Geschwindigkeitseinfluss und eine für den Abkühlereinfluss, erkennen kann.

### 4.9 Quellvorgang

Der Schmelzfluss in einem Kanalquerschnitt ist immer mit einem Quellvorgang verbunden. Die Schmelze bewegt sich bekanntlich nicht an der Kanalwand und verursacht durch den Schervorgang Schubspannungen zwischen den einzelnen Fluidschichten. Die Fluidteilchen in der Mitte eines Kanals wie in einem Spritzgießwerkzeug bewegen sich am schnellsten gegenüber benachbarten Teilchen. Die Teilchen in der Mitte werden bei Erreichen der Fließfront seitlich umgelenkt. Bewegte Teilchen, welche nicht mittig fließen erreichen nie die Fließfront und werden vorher schon zur Werkzeugwand hin umgelenkt. Dabei bilden alle Teilchen die die Werkzeugwand erreichen insgesamt die Oberfläche. Vor der Fließfront handelt es sich um eine laminare Strömung die mit der Stromfadentheorie mathemisch erfassbar ist. Es treten also keine Verwirbelungen vor der Fließfront auf, was auf die hohe Viskosität der Polymerschmelze zurück zu führen ist. An der Fließfront treten Umlenkungsvorgänge vor.

### 4.10 Bindenähte

Es kann bei bestimmten Kavitätsgeometrien oder durch Mehrfachanschnitte zu Bindenähten kommen. Bindenähte entstehen durch Zusammentreffen von mehreren Schmelzflüssen. Die Stelle der Bindaht weist schlechtere mechanisch-technologische Eigenschaften auf als der restliche Körper ohne Bindenähte. Beim Zusammentreffen von Zwei Schmelzflüssen kommt es meist nie zu einer kompletten Durchmischung der beiden Schmelzströme, da die Temperatur der Schmelze soweit abgekühlt ist, dass dies nicht mehr möglich ist. Es kommt meist zu einer Diffusion und somit zu einer Verschweißung, was auch äußerlich sichtbar sein wird. Je näher die Bindaht an dem Anguss ist, desto eher wird es zu einer Durchmischung kommen als in angussfernen Bereichen. Deshalb ist die Schmelztemperatur entscheidend. Diese Fehler können durch Variation der Schmelztemperatur, der Werkzeugtemperatur und durch die Einspritzgeschwindigkeit vermieden bzw. vermindert werden. Bindenähte kann man vorab durch eine Füllbildanalyse ermitteln, was vorteilhaft ist für die Auslegung.

### 4.11 Zuschlagstoffe

Um die Verarbeitung von Kunststoffen zu erleichtern und deren Eigenschaften zu verändern, kommen viele Zuschlagstoffe zum Einsatz.

Hier sollen einige dieser Zuschlagstoffe und deren Wirkung auf die Kunststoffe kurz erläutert werden:

- **Stabilisatoren**  
Kunststoffe können sich durch äußere Einflüsse abbauen. Mit Einflüsse sind alle themomechanischen, thermooxidativen und photooxidativen Einflüsse gemeint. Durch Stabilisatoren soll die Lebensdauer von Kunststoffen verlängert werden [13].
- **Treibmittel**  
Diese werden für Schäumungsvorgänge eingesetzt um einen Kunststoff aufzuschäumen [13].

## 5. Spritzgießmaschine

---

- **Flammschutzmittel**

Diese werden aus Sicherheitstechnischen Maßnahmen beigemischt, um die Entflammbarkeit zu minimieren oder zu verzögern [8].

- **Verarbeitungshilfsmittel**

Diese helfen beim Verarbeiten von Kunststoffen, wie Gleitmittel, Antiblockmittel, Trennmittel und Haftvermittler [13].

- **Weichmacher**

Diese werden eingesetzt, wenn eine Senkung der Festigkeit gefordert ist.

- **Füllstoffe**

Diese erhöhen die Festigkeit bzw. die Steifigkeit eines Kunststoffes.

## 5. Spritzgießmaschine

In der Welt der Spritzgießmaschinen finden sich vielerlei verschiedene Variationen von Maschinen, alle haben jedoch meist den gleichen Aufbau. Man kann die Maschinen nach verschiedenen Kriterien unterteilen, wie z.B. nach der Zuhaltkraft oder der Lage der Trennebene des eingesetzten Werkzeuges. Bei der Lage gibt es Horizontalspritzgießmaschinen (siehe Abb.1), Vertikalspritzgießmaschinen und Rundtischmaschinen. Jedes von den eben genannten Typen bringt seine Vorteile mit sich. Bei der Horizontalmaschine hat man als Vorteil den Automatisierbarkeitseffekt in der Produktion durch das Fallen der Formteile aus dem Werkzeug in einen Behälter. Das Auswerfen wird mithilfe von Auswerfern ermöglicht und unterstützend kann auch ein Handlingsystem aktiv sein. Vertikalmaschinen begünstigen das Einlegen von Einlegeteilen [1].

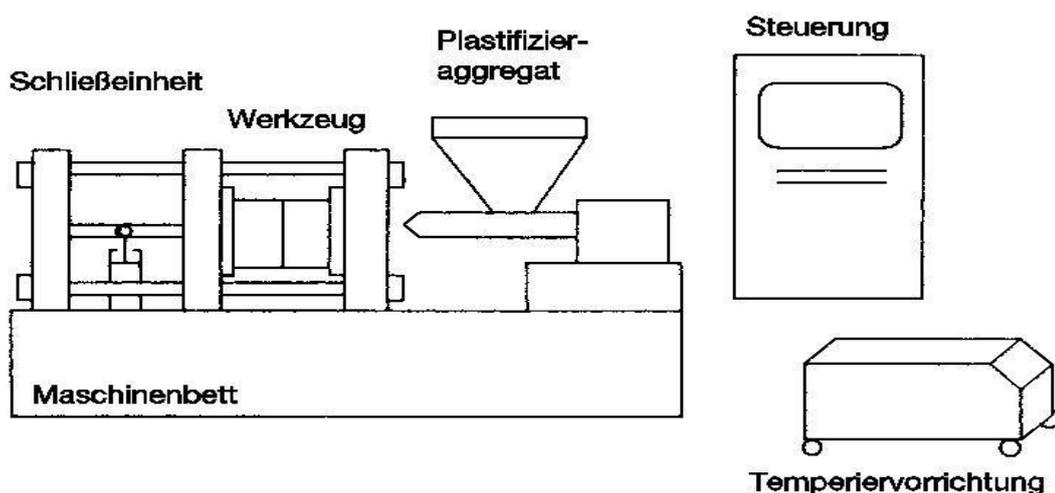


Abbildung 24: Aufbau einer Spritzgießmaschine [5]

Bei der Letzten Variante versucht man noch Montageoptionen in den Prozess zu implementieren, so dass in dem gleichen Fertigungsprozess auch eine Nachbearbeitung der Formteile ermöglicht wird.

Es gibt aber auch, bedingt durch die sich ständig ändernden Rahmenbedingungen auf dem internationalen Markt, immer wieder Innovationen, welche neue Anwendungsmöglichkeiten

ermöglichen. In der heutigen Fertigung findet man auch Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen, welche das Mehrfarbenspritzgießen ermöglichen und somit Formteile mit verschiedenen Farben hergestellt werden können.

Im Wesentlichen besteht eine Spritzgießmaschine aus Folgenden Einheiten:

Die Plastifizier- und Spritzeinheit, die Schließeinheit und die Steuerung.

Es gehören weitere Einheiten zum Aufbau eines Gesamtsystems zum Spritzgießen: Das Maschinenbett worauf sich die Plastifiziereinheit befindet, ein Werkzeug welches das Formgebende Element eines Spritzgießsystems ist, Werkzeugaufnahmeplatten, Holme zur Führung der beweglichen Werkzeugaufnahmeplatte sowie eine Temperiereinheit, um die Temperaturverhältnisse in der Spritzeinheit zu regulieren. Im Maschinenbett selbst sind Rohrleitungen verlegt wie auch das Antriebssystem, bei hydraulischem Antrieb, bestehend aus einem Elektromotor, einer Hydraulikpumpe, Filter, Ölkühler, Öltank sowie Stellglieder untergebracht [6]. Die DIN 24450 beschreibt vollständig eine Spritzgießmaschine mit all ihren Peripherien.

Die Aufgabe eines Konstrukteurs ist die richtige Maschine für das gewünschte Formteil auszuwählen und das Werkzeug unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen zu konstruieren. Auf das Werkzeug, welches Hauptgegenstand dieser Arbeit ist, soll in Kapitel 5.2 eingegangen werden.

Es wird nun im weiteren Verlauf eine detailliertere Beschreibung aller relevanten Komponenten gegeben werden. Dabei orientiere ich mich an dem Verlauf des Kunststoffes durch alle Prozessschritte, also vom Befüllen durch den Trichter in die Maschine bis zum Werkzeug.

### 5.1 Plastifizier- und Spritzeinheit

Das angelieferte, meist in Granulatform vorliegende Kunststoff, wird per Hand oder auch durch Maschineneinsatz in den Trichter, welcher sich auf der Plastifiziereinheit befindet, gefüllt. Die Granulatform ist üblich bei thermoplastischen Materialien, wohingegen auch pulverförmige Ausgangsmaterialien Verwendung finden, wie bei dem Einsatz von duroplastischen Materialien. Die gelierten Partikel sind klein und weisen einen Durchmesser von etwa 2 bis 3 Millimetern und eine Höhe von 2 bis 3 Millimeter auf [1].

Es gibt einige Variationen der Plastifizier- und Spritzeinheit: Verwendung finden Kolbenspritzeinheiten, Schneckenkolbenspritzeinheiten und Kolbenspritzeinheiten mit Schneckenplastifizierung, wobei heutzutage die Schneckenkolbenspritzeinheiten die meist verbreiteten in der Industrie sind. Kolbenspritzeinheiten wurden früher verwendet und werden Heute vereinzelt für die Herstellung von kleinen Formteilen gebraucht. Kolbenspritzeinheiten mit Schneckenplastifizierung sind, wie der Name schon sagt, Einheiten welche eine Schnecke und einen Kolben verwenden. Diese sind separiert in der Einheit untergebracht. Hierbei wird die Formmasse im Schneckenraum plastifiziert und homogenisiert und im Anschluss durch einen Kolben in ein Werkzeug gespritzt.

## 5. Spritzgießmaschine

---

Die Maschine die für das Werkzeug in dieser Arbeit verwendet werden soll, hat eine Schneckenkolbenspritzeinheit.

Die in dem beheizten Zylinder befindliche Schnecke fördert nun das Granulat im Zylinderraum, wobei es für verschiedene Materialtypen auch verschiedene Schneckentypen gibt. Die Hauptfunktionen der Plastifizier- und Spritzeinheit sind wie folgt dargestellt [1]:

- Schmelzen des zugegebenen Granulats
- Beförderung der Formmasse bis hin zur Düse
- Speicherung der Formmasse
- Einspritzen in das Werkzeug
- Aufbau des Nachdrucks zur Massenförderung
- Aufbau des Anpressdruckes zwischen Angussbuchse des Werkzeugs und der Düse
- Aufbringung eines Staudruckes

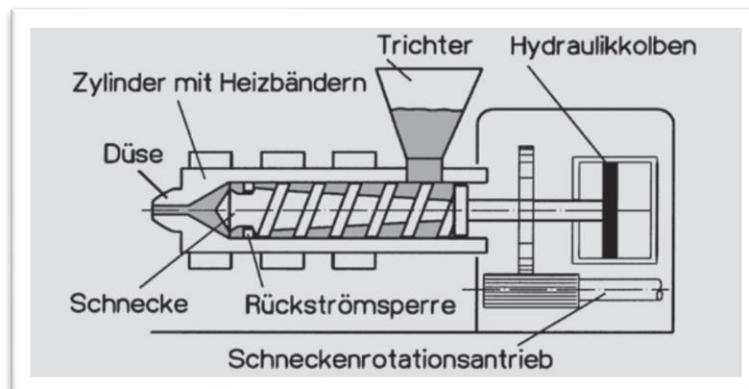


Abbildung 25: Plastifizier- und Spritzeinheit (Schneckenkolbenspritzeinheit) [1]

Die Masse wird durch die beheizte Zylinderwand und durch die Scherbeanspruchung der Schnecke erwärmt und somit plastifiziert, was bedeutet, dass sie fließfähig gemacht wird, um eingespritzt werden zu können. Die genaueren Temperaturverläufe im Zylinderraum können über eine Regeleinrichtung geregelt werden, um die gewünschten Ergebnisse bezüglich der Qualität des zu produzierenden Formteils zu erhalten. Dabei kommen Heizbänder zum Einsatz, welche über die Zylinderwand aufgebracht sind und separat gesteuert werden können, um verschiedene Temperaturen an verschiedenen Stellen an der Zylinderwand zu realisieren. Somit wird nach dem Gesichtspunkt des Temperaturverlaufes die Zylinderwand in Abschnitte unterteilt. Der Prozessparameter Temperatur hat einen erheblichen Einfluss auf die spätere Bauteilqualität und deshalb wird dem eine Große Beachtung geschenkt.

Des Weiteren soll durch die Schneckenrotation eine Homogenisierung der Formmasse, dies ist die plastifizierte Masse des Kunststoffes, gewährleistet werden. Dem Kunststoff werden oft Zusätze beigemischt wie Farbpigmente oder Füllstoffe, welche sich im späteren Formteil möglichst homogen über das gesamte Volumen verteilen sollen.

## 5. Spritzgießmaschine

---

Die Schnecke selbst als Funktionseinheit hat vielerlei Funktionen für den Spritzgießprozess [2]:

- Dosierung
- Förderung des Massenstromes
- Plastifizierung
- Homogenisierung
- Einspritzen

Sie weist drei Abschnitte auf, die sich auf die Funktionen der Schnecke beziehen (vgl. Abb. 26). Dabei verrichtet jeder Abschnitt bestimmte Aufgaben. Die Einzugszone dient dem Einzug des zugeführten Kunststoffes aus dem Trichter in den Zylinder und seiner Förderung weiter ins Innere zur Plastifizierungszone, wo die Plastifizierung stattfindet. Dabei wird das zugeführte Material vorgewärmt und teilweise ein gewisser Druckaufbau erzielt. Der Schneckenquerschnitt in der Kompressionszone vergrößert sich kontinuierlich bis zur Austragungszone. Eine kennzeichnende Größe dafür ist das Gangtiefenverhältnis zwischen der Einzugszone und der Austragungszone, welches bei thermoplastischen Ausgangsmaterialien bei 2 bis 2,5 liegt. Dadurch wird das vorhandene Volumen in den Gängen verdichtet, um mit dem Material zugeführte Luft wie auch Wasserdampf nach hinten zu verdrängen. Durch die Verdichtung und die durch die Änderung der Gangtiefe vergrößerte Oberfläche wird auch eine bessere Wärmeübertragung von der aufgeheizten Zylinderwand an die Kunststoffmasse erreicht.

In der letzten Zone, der Austragungszone, wird das plastifizierte Gemisch gespeichert. Hier findet eine weitere Homogenisierung statt. Dabei wird die Schnecke, bedingt durch den Druckaufbau vor der Düse, nach hinten axial bewegt bis ein gewünschtes Volumen zum Spritzvorgang vorliegt. Damit die Schnecke nicht ungleichmäßig nach Hinten bewegt wird und die Formmasse verdichtet wird, wird durch die Schnecke ein Staudruck aufgebracht. Damit soll auch gewährleistet werden, dass sich in der Schmelze befindliche Luft in Richtung der Einzugszone entweicht. Zu beachten seien noch die Reibungsverhältnisse zwischen der Kunststoffmasse und der Schnecke wie auch zwischen der Kunststoffmasse und der Zylinderinnenwand. Eine Förderung findet nur statt, wenn die Reibung zwischen der Innenwand und der Kunststoffmasse größer ist als zwischen der Förderschnecke. Das Reibungsverhalten zwischen der Innenwand und des Kunststoffes ist von der Temperatur an der Zylinderinnenoberfläche abhängig und wird größer bei sinkender Temperatur. Somit muss man bei der Einzugszone eine niedrigere Temperatur anstreben, um zu verhindern das sich der Kunststoff in der Schnecke festsetzt und nicht mehr gefördert werden kann [6].

Um Formteile in einer relativ geringen Zeit mit einer guten Qualität herzustellen, muss die Formmasse schnell in das Werkzeug gespritzt werden. Da jedoch die Leistungsfähigkeit der Schnecke nicht ausreicht um den Einspritzvorgang so schnell abzuschließen, dass keine Erstarrung stattfindet bis alle Kavitäten im Werkzeug mit der Formmasse gefüllt sind, muss die Formmasse vor der Düse gespeichert werden.

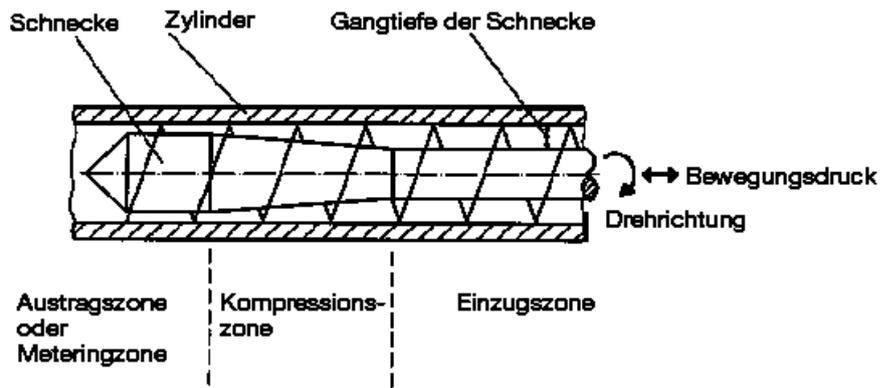


Abbildung 26: Dreizonenschnecke [1]

Die Düse kann dabei offen oder geschlossen konstruiert werden. Da der Innendurchmesser des Zylinders viel größer ist als der Innendurchmesser der Angussbuchse des Werkzeugs ist, muss auch dementsprechend eine Verjüngung vorgenommen werden, was von der Düse gewährleistet wird. Sie gewährleistet beim Einspritzen, wie beim Nachdrücken und dem plastifizieren eine dichte kraftschlüssige Verbindung zwischen der Angussbuchse und der Spritzeinheit. Es soll auch kein Material beim Anheben der Düse vom Werkzeug herausfließen und Sie muss auch dafür sorgen, dass keine Fadenbildung entsteht [6].

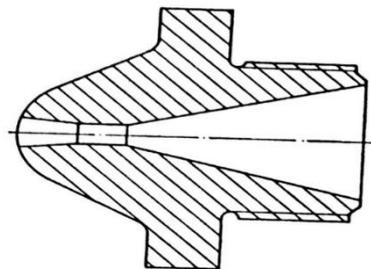


Abbildung 27: Offene Düse [6]

Bei der offenen Düse (vgl. Abb. 27), der am meist genutzten, ist die Baulänge kleiner und das hat strömungsmechanisch positive Auswirkungen, da hier der Widerstand und somit der Druckverlust kleiner wird als bei einer geschlossenen Düse. Damit solch eine Düse zum Einsatz kommt, muss es sich bei der Schmelze um eine zähflüssige handeln, da sonst bei der Entkopplung vom Werkzeug Fäden entstehen und es zu Materialaustritt aus der Düse kommen kann. Zudem sei noch angemerkt das der Plastifiziervorgang nur im nicht angehobenen<sup>3</sup> Zustand erfolgen darf. Diese Einschränkungen bzw. Rahmenbedingungen entfallen bei der Verwendung einer verschließbaren Düse, der sogenannten Verschlussdüse (vgl. Abb. 28).

Es gibt selbstgesteuerte wie auch Fremdgesteuerte Düsen und diese werden vorwiegend bei niederviskosen Schmelzen verwendet. Es existieren hierbei verschiedene Varianten wie die Nadelverschlussdüse, die Schieberverschlussdüse, die Filterdüse, die Mischdüse und die Bolzenverschlussdüse. Eine Wirkungsweise sei hier prinzipiell gezeigt und zwar die einer Nadelverschlussdüse. Hier wird die Druckdifferenz zwischen der Umgebung und die im Zylinder, vor der Düse sich befindlichen, Formmasse ausgenutzt. Steigt der Druck im Inneren, so wird die

<sup>3</sup> Angehobener Zustand: Der angehobene Zustand bezeichnet die Lage der Düse zum Werkzeug. Wenn die Düse angehoben ist, so liegt sie nicht mehr an der Angussbuchse des Werkzeuges.



### 5.2 Werkzeug

Für die Herstellung eines Formteils wird immer ein Werkzeug (vgl. Abb.30) verwendet, das auf das Formteil angepasst ist. Für jedes neu konstruierte Formteil ist ein neues Werkzeug nötig, mit dessen Hilfe man die Herstellung des Formteils ermöglicht und ebenso dessen Duplikation. Es ist somit für jede Formteilgeometrie ein Unikat anzufertigen und deshalb wird das Werkzeug nicht als Bestandteil der Spritzgießmaschine betrachtet. Es muss vielen Anforderungen genügen, die zur Herstellung eines Formteils von guter Qualität nötig sind. Es ist selbst aus verschiedenen Bauelementen aufgebaut die insgesamt das Werkzeug bilden. Da in meiner Arbeit ein Werkzeug für die Herstellung eines thermoplastischen Formteils verwendet werden soll, werde ich mich im weiteren Verlauf nur auf Thermoplastspritzgießwerkzeuge beziehen, da hier auch zwischen den Stoffarten unterschieden wird. Im Werkzeug soll ein thermoplastisches Material zum Einsatz kommen, weshalb ein kühlendes Werkzeug zu konstruieren ist.

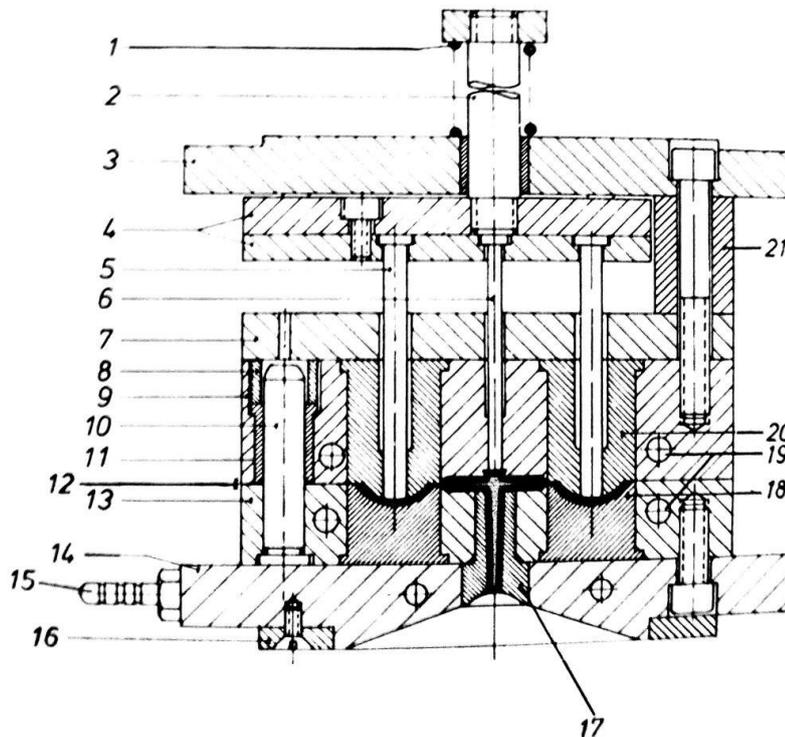


Abbildung 30: Schematischer Aufbau eines Normalspritzgießwerkzeuges [2]

Bezeichnungen am Werkzeug:

1:	Druckfeder	12:	Formtrennebene
2:	Auswerferstößel	13:	Formplatte
3:	schließseitige Aufspannplatte	14:	spritzseitige Aufspannplatte
4:	Auswerferplatte	15:	Schlauchnippel für Anschluss der Kühlung
5:	Auswerfer	16:	Zentrierring
6:	Mittenauswerfer	17:	Angussbuchse
7:	Zwischenplatte	18:	Formeinsatz
8:	Zwischenbuchse	19:	Kühlbohrung
9:	Formplatte	20:	Formeinsatz
10:	Führungssäule	21:	Stützbuchse
11:	Führungsbuchse		

## 5. Spritzgießmaschine

---

Die spritzseitige Aufspannplatte ist die Platte welche starr ist und nicht bewegt wird. Im Gegensatz dazu die Schließseitige Aufspannplatte. Diese dienen dazu die Werkzeughälften aufzunehmen und zu bewegen. Die Beweglichkeit wird durch Holme ermöglicht, welche ein Gleiten der beweglichen Platte erlauben.

Das Werkzeug muss den Anforderungen gerecht werden und vielerlei Aufgaben erfüllen. Die Schmelze muss in das Werkzeug aufgenommen werden, es muss zu den Kavitäten verteilt werden, die Entformungsmöglichkeiten müssen gegeben sein wie auch die Abkühlung der Schmelze im Werkzeug. Diese Aufgaben zählen zu den technologischen Aufgaben eines Werkzeuges. Die Aufnahme von Kräften, die Bewegungsübertragung wie auch die Führung der einzelnen Komponenten des Werkzeuges zählen zu den konstruktiven Aufgaben eines Werkzeuges [2].

All diese Aufgaben müssen bei jeder Konstruktion berücksichtigt werden. Um diese Aufgaben zu bewerkstelligen, müssen viele Komponenten des Werkzeuges Funktionen aufweisen, welche diesen Aufgaben gerecht werden. Dazu werden Funktionskomplexe verwendet [2]:

- Angussystem
- Formnest
- Temperierung
- Kühlungssystem
- Entformungssystem
- Führung und Zentrierung
- Maschinenaufnahme
- Kraftaufnahme
- Bewegungsübertragung

All diese müssen aufeinander abgestimmt werden, um alle Anforderungen zu erfüllen.

Das Angussystem nimmt die Schmelze von der Spritzeinheit in das Werkzeug auf und leitet es an die Formnester. Eine Temperiersystem wird nur für vernetzende Polymere angewandt, da für deren Vernetzung im Werkzeug Wärme zugeführt werden muss. Das Kühlungssystem, was auch das Werkzeug in dieser Arbeit beinhaltet, sorgt für einen raschen Abkühlvorgang, was zur Erstarrung der Schmelze führt. Das Entformungssystem dient der Entformung der Formteile aus den Kavitäten. Der hohe Druck bei einer Spritzgießanlage beim Spritzvorgang muss in der Konstruktion berücksichtigt werden. Auch muss das Schwindungsverhalten des eingesetzten Formteilwerkstoffes schon bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

Es gibt viele Variationen von Werkzeugen, weil es verschiedene Formteilgeometrien gibt. Es gibt Formteile die Hinterschneidungen aufweisen und nicht einfach über Schieber entformt werden können, dabei können äußere Hinterschneidungen oder auch innere Hinterschneidungen vorkommen. Um eine systematische Unterteilung zu ermöglichen, hat sich die Differenzierung nach dem Entformungssystem bewährt (vgl. Abb. 40).

### 5.2.1 Angusssystem

Das Angusssystem dient dazu die in das Werkzeug, durch den Plastifizierzylinder eingebrachte Schmelze an die Kavitäten zu leiten. Es handelt sich hierbei um ein System, welches aus Abschnitten besteht (vgl. Abb.31). Die Ausgestaltung des Angusssystems hat einen entscheidenden Einfluss auf die Formteilqualität. Bei mehreren Kavitäten soll es dafür sorgen das Die Schmelze in alle Formhöhlungen gleichzeitig mit der gleichen Temperatur und Druck eintritt. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte das Angusssystem auch so klein wie möglich gestaltet werden, um den Abfall zu minimieren.

- 1: Angusszapfen
- 2: Angusskanal
- 3: Angussverteiler
- 4: Anschnitt

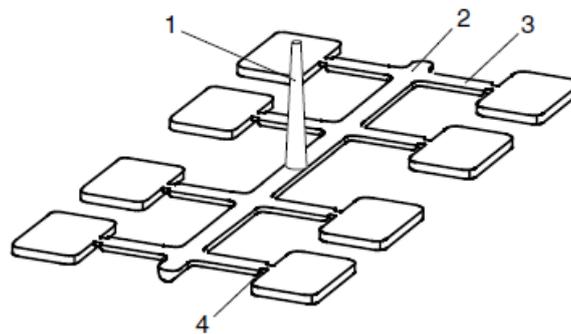


Abbildung 31:Angusssystem [3]

### 5.2.2 Angussbuchse

Die Angussbuchse ist der Teil der Zuerst mit der Schmelze in Kontakt tritt. Die Angussbuchse nimmt die Schmelze vom Plastifizierzylinder auf und leitet sie weiter. Der Angusskegel ist hierbei in der Angussbuchse eingearbeitet. Dabei dockt die Spritzeinheit mit der Düse an die Angussbuchse, wobei eine Abdichtung der Übergangsstelle erforderlich ist. Das bedeutet das keine Schmelze nach Außen treten darf und dazu muss eine große Kraft vom Plastifizierzylinder aufgebracht werden. Die Angussbuchse erfüllt somit die Funktion der Aufnahme und Weiterleitung der ankommenden Schmelze. Die Buchse selbst soll konisch ausgeführt sein, um den Angusseegel entformen zu können [3, 2]. Es ist die Komponente in der die Schmelze zuletzt erstarren soll, so kann sichergestellt werden, dass der Nachdruck lange genug wirken kann bis alle Formteile erstarrt sind. Der Durchmesser der Bohrung der Angussbuche sollte etwas größer gestaltet sein als der Bohrungsdurchmesser der Düse, damit eine gute Dichtung erzielt wird und auch das Entformen ermöglicht wird, da sonst eine Hinterschneidung entstehen kann.

Bei Einfachwerkzeugen mit nur einer Kavität wird der Angusszapfen durch den Spritzling entformt, da dieser auf der Auswerferseitigen Werkzeughälfte hängen bleibt. Bei Mehrfachwerkzeugen sind spezielle Entformungsmöglichkeiten notwendig.

### 5.2.3 Verteilerkanäle

Die Verteilerkanäle dienen zum Weitertransport der von dem Angusskanal bzw. dem Angusskegel kommenden Schmelze, über Anschnitte, in die Kavitäten. Dabei gibt es eine Unterscheidung der Verteilerkanäle durch die Temperaturführung. Es sind Drei Möglichkeiten vorhanden:

#### **Normale Kanäle:**

Dies sind Kanäle welche die Schmelze Weitertransportieren und mit dem Formteil ebenfalls erstarren und auch entformt werden müssen. Sie gelten als Abfall und müssen in einem weiteren Schritt meist manuell vom Formteil entfernt werden.

#### **Heißkanäle:**

Heißkanäle sind Kanäle welche durch Wärmesperren vom kalten Werkzeug getrennt sind. Sie dienen als Verlängerung der Einspritzdüse. Das gesamte Heißkanalsystem besteht dabei aus den Verteilerkanälen, den Anschnitten und dem Angusskanal. Dieser Bereich soll auch nach dem Erstarren des Formteils schmelzflüssig bleiben und wird deshalb entsprechend im Werkzeug temperiert. Heißkanäle dienen nur thermoplastischen Materialien. Damit vermeidet man den Abfall der durch das Angussystem entstehen würde.

#### **Kaltkanäle:**

Kaltkanäle sind das Gegenstück zu Heißkanälen und werden für den Einsatz von vernetzenden Polymerschmelzen verwendet. Hierbei ist der Bereich der Kaltkanäle einer niedrigeren Temperatur als dem restlichen Werkzeug ausgesetzt.

Da in dieser Arbeit nur ein Werkzeug mit normalen Kanälen zur Anwendung kommt, beschränke ich mich bei der weiteren Ausführung nur auf normalen Kanälen.

Da der Schmelze bei Eintritt in das Werkzeug kontinuierlich Wärme entzogen wird und dadurch Schmelze in Wandnähe schnell erstarren muss, muss der Querschnitt der Verteiler- und Angusskanäle so dimensioniert sein, dass die dort befindliche Schmelze erst erstarren, wenn das Formteil endgültig erstarren ist, um zu gewährleisten dass der Nachdruck voll wirken kann. Deshalb richtet sich der Querschnitt der Verteilerkanäle nach der Dicke der Formteile. Dabei gilt es den Querschnitt ca. 1mm größer auszulegen als die dickste Stelle eines Formteils. In den Kanälen wird Schmelze im vorderen Bereich zur Außenwand hin abgeschert und die erstarren dort schnell. Dadurch wird auch die in Kanalmitte strömende Schmelze zum Teil abgeschirmt [2]. Abgesehen von einigen Formmassen sollte die Oberfläche der Kanäle nicht poliert werden, damit sich die an der Wand erstarren Masse nicht vom Schmelzstrom, durch die Strömungsverhältnisse im Kanal, mitgerissen wird. Zudem müssen einige Querschnittsgeometrien der Kanäle in Betracht gezogen werden und ihre Vor- und Nachteile abgewogen werden.

Der Schmelzfluss kann durch die Lage des Anschnitts und der Angussart stark beeinflusst werden. Wie sich der Füllvorgang in einer Kavität vollzieht kann man durch computergestützte Simulationen oder durch Erstellung eines Füllbildes verdeutlichen. Dies hilft Lufteinschlüsse und

mögliche Bindenähte zu lokalisieren. Bindenähte sind ausgesprochen ungünstig, da Sie Verschweißungen darstellen, welche im Bindenahtbereich geringe Festigkeitswerte aufweisen. Grund für ihren Auftritt sind in der Kavität zusammentreffende Schmelzflüsse, welche bereits ein Temperaturniveau erreicht haben, wo die Durchdringung der Flüsse nur minimal ist.

### 5.2.4 Angussart und Anschnitt

Der Anschnitt bzw. Angusssteg ist der Bereich der die Werkzeughöhlungen mit dem Verteilersystem des Angussystems verbindet. Auf seine Gestaltung sollte besonders Wert gelegt werden, denn er ist maßgeblich für die Qualität der Formteile verantwortlich. Durch seine Anbindungsgeometrie wird auf den Schmelzfluss in die jeweilige Kavität Einfluss genommen. Jede Formteilgeometrie erfordert die Betrachtung aller Anschnittmöglichkeiten, um die beste Anschnittsform wählen zu können. Dabei hat der Anschnitt den kleinsten Querschnitt des Angussystems, dies gilt für alle Varianten außer dem Stangenanguss. Der Anschnitt ist entweder zentrisch oder exzentrisch auszuführen. Bei der Querschnittsform kann üblicherweise zwischen einem rundem, halbrundem und einem rechteckigen Profil gewählt werden. Ich stelle im Folgenden einige Variationen der Angussarten vor, welche die gebräuchlichsten sind.

Der Anschnitt muss sich immer an der dicksten Stelle des Formteils befinden, damit dieser nach der Erstarrung des Formteils erstarren kann, um den Nachdruck in die Kavitäten zu ermöglichen. Wenn durch den Anschnitt Formmasse mit relativ hoher Geschwindigkeit in die Kavität einströmt, so wird sie durch Scherung orientiert. Das bedeutet das sich die Makromoleküle in Richtung der Fließrichtung der Schmelze ausrichten. Da die viskose Formmasse sich durch eine hohe Entropie auszeichnet, wird die Orientierung nach der Füllung der Kavität sich bei zu geringer Abkühlung wieder aufzulösen. Bekanntlich ist der Temperaturgradient an der Werkzeugwand hoch und somit werden alle Oberflächennahen Bereiche schnell erstarren und damit werden die eingebrachten Orientierungen eingefroren. Die Formteile weisen dann parallel und quer zur Orientierungsrichtung verschiedene Eigenschaften auf. Deshalb sollte schon vorab die Hauptbelastungsrichtung während des Betriebes bekannt sein. So kann man Belastungsorientiert die Orientierungsrichtung bei der Füllung der Kavitäten beeinflussen. [4]

#### 5.2.4.1 Stangenanguss

Diese Art des Angusses (vgl. Abb.32) ist wohl die einfachste, da das ganze Angussystem aus dem Angusszapfen besteht. Es handelt sich um ein kegliges Gebilde welches durch die Angussbuchse seine Form erhält und geht mit seinem größten Querschnitt in das Formteil über. Nachteilig ist nur das nach einem Zyklus der Zapfen des Spritzlings manuell entfernt werden muss, was auch nach der Bearbeitung auf dem Fertigteil sichtbar sein wird.

Vorteilhaft ist der erleichterte Schmelzfluss durch einen steigenden Querschnitt bis zur Formhöhle hin. Diese Anschnittsform wird vorwiegend für dickwandige Bauteile angewandt, wobei der Anschnitt an der dicksten Stelle des Formteils erfolgen muss.

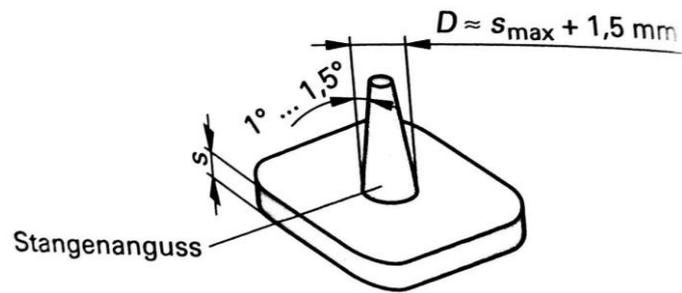


Abbildung 32: Stangenanguss [13]

### 5.2.4.2 Punktanguss

Beim Punktanguss (vgl. Abb.33) verjüngt sich der Angusskanal im Übergang zur Kavität zu einem sehr kleinen Querschnitt. Es verhilft bei der Abtrennung des Angussystems vom Spritzling nach der Entformung.

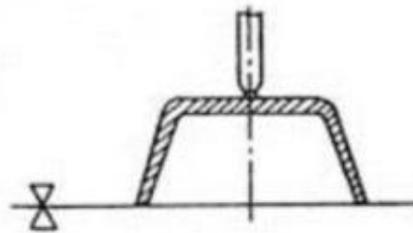


Abbildung 33: Punktanguss [14]

Bei dieser Anschnittsgeometrie reißt das Angussystem vom Formteil automatisch beim Entformen aus dem Werkzeug ab.

### 5.2.4.3 Bandanguss

Der Bandanguss (vgl. Abb. 34) ist für große Flächen, wie auch dünnwandige Teile geeignet, da hier durch den Schmelzfluss keine Bindenähte auftreten und eine Orientierung in Fließrichtung auftritt. Dadurch wird eine gleiche Schwindung in Fließrichtung und quer dazu erreicht was eine Minimierung der nach dem Erstarren auftretenden inneren Spannungen bedeutet. So ein Angussystem besteht aus einem Angusskegel, einem vor der Kavität lang gestreckten Angussverteiler und dem Anschnitt.



Abbildung 34: Bandanguss [15]

### 5.2.4.4 Schirmanguss

Der Schirmanguss (vgl. Abb. 35) kommt bei rotationssymmetrischen Formteilen mit einseitiger Kernlagerung zum Einsatz [3]. Durch die gleichmäßige Füllung des Hohlraumes sollen Bindenähte unterbunden werden. Hierbei wird der Angusskegel mit einem trichterförmigen Kanal verbunden.

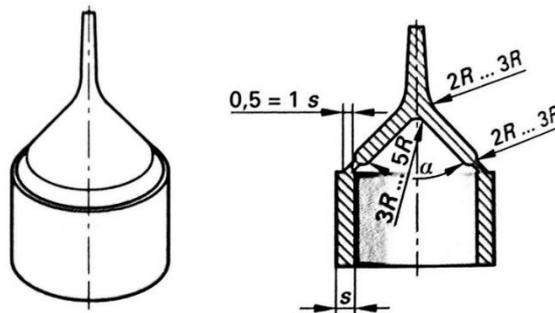


Abbildung 35: Schirmanguss [13]

### 5.2.4.5 Ringanguss

Beim Ringanguss (vgl. Abb.36) gelangt die Schmelze über einen Ringkanal und dem Anschnitt zur Kavität und füllt Sie gleichmäßig auf. Dies wird für Hülsenförmige Bauteile angewandt mit beidseitiger Lagerung.

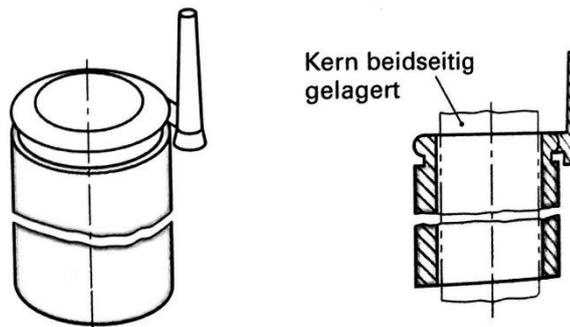


Abbildung 36: Ringanguss [13]

### 5.2.4.6 Tunnelanguss

Der Tunnelanguss (vgl. Abb. 37) wird bei kleinen Formteilen in Mehrfachwerkzeugen angewandt, welche seitlich eingespritzt werden können. Der Tunnel sorgt für eine scharfe Kante, eine sogenannte Sollbruchstelle, welche beim Entformen automatisch getrennt wird. Diese Angussart zählt zu den selbsttrennenden Angussystemen [3, 1].

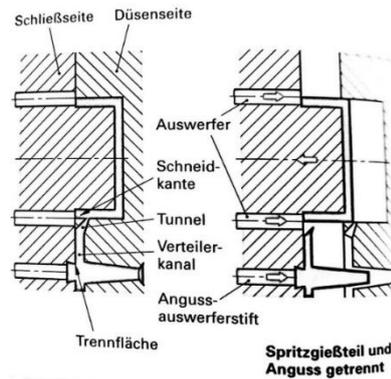


Abbildung 37: Tunnelanguss [13]

### 5.2.4.7 Angussloses Spritzgießen

Bei dieser Art wird die Düse des Plastifizierzylinders an die Formteilkavität geführt und von dort eingespritzt, was den Wegfall des ganzen Angussystems bedeutet. Die Düse fungiert hier als Angusskanal und dessen Spitzte sorgt für einen Punktanguss. Zudem hat die Düse eine Abdichtungsfunktion und schließt somit das gesamte Werkzeug. Nachteilig wirkt sich hier der direkte Kontakt der beheizten Düse mit der kalten Werkzeugwand, da dadurch die Düse durch Erkalten der Schmelze verstopfen kann. Deshalb ist eine hohe Zykluszeit gefordert und damit wird nur das Spritzen von dünnwandigen Formteilen möglich [2, 3].

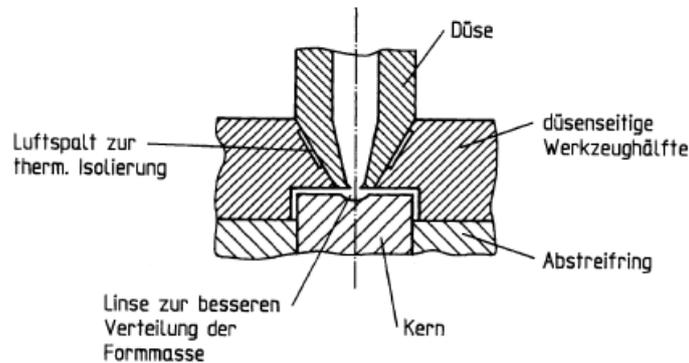


Abbildung 38: Angussloses Anspritzen [3]

### 5.2.4.8 Scheibenanguss

Der Schiebenanguss wird für scheibenförmige bzw. zylindrische Formteile verwendet, um Bindenähte wie Sie bei einem Punktanguss entstehen würden, zu vermeiden.

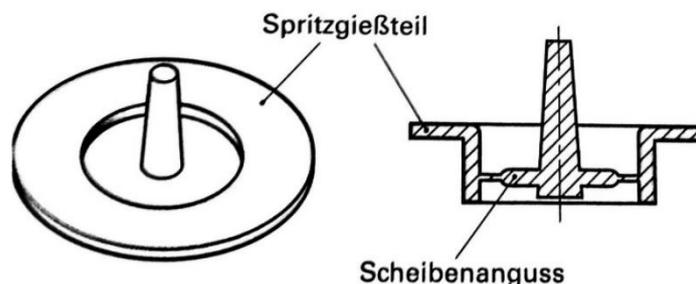


Abbildung: Scheibenanguss [13]

### 5.2.5 Werkzeugtemperierung

Die Schmelze gelangt mittels der Einspritzdüse, durch die Angussbuchse, in das Werkzeug- in unserem Fall soll eine Abkühlung der Schmelze stattfinden- welche nun rasch gekühlt werden muss, um eine geringe Zykluszeit zu erreichen und vor allem soll eine gleichmäßige homogene Kühlung stattfinden, um eine gleichmäßige Schwindung im gesamten Formteil zu erreichen.

Zu diesem Zweck muss das Werkzeug gekühlt werden, was bei thermoplastischen Materialien vorwiegend durch eine Wassertemperierung geschieht. Bei Durlauftemperaturen von mehr als 160° Celsius ist eine Ölkühlung zu verwenden, wobei hier die niedrigere Wärmekapazität der Öle mitberücksichtigt werden muss. Hier muss das Gesamtsystem in Betracht gezogen werden. Die in das Werkzeug strömende Schmelze hat bedingt durch ihre Temperatur einen Wärmegehalt, welches im Werkzeug durch Wärmeabfuhr zu einem niedrigeren Wärmegehalt umgesetzt wird. Maßgebend sind also die Temperatur der einströmenden Formmasse, sowie die Temperatur der Werkzeugoberfläche. Erhöht man die Temperatur der Schmelze, so wird die Zykluszeit erhöht, da eine höhere Wärmemenge im Werkzeug abgeführt werden muss. Erniedrigt man die Werkzeugoberflächentemperatur zu sehr, so kann dadurch die Formteiloberflächenqualität darunter leiden. Je nach Geometrie des Formteils muss eine Anpassung des Kühlungssystems vorgenommen werden. Ein Kühlungssystem besteht im Wesentlichen aus einer Kanalisation welche durch das Werkzeug führt, welches durch Wasser mittels einer Druckanlage durchströmt wird.

Besondere Aufmerksamkeit muss den Stellen zugewidmet werden, welche wegen ihrer Geometrie, eine höhere Wärmemenge in derselben Zeiteinheit abgeben als benachbarte Bereiche. Ein Beispiel dafür sind Eckenbereiche in einem Formteil, welche eine äußere Ecke und eine innere aufweisen. Die Äußere, an der Werkzeugwand liegende Ecke, wird wegen der höheren, zur Wärmeabfuhr verfügbaren Fläche, mehr Energie abtransportieren als die Oberfläche der innenliegenden Ecke. Deshalb sollte an innenliegenden Ecken möglichst eine höhere Anzahl an Kühlkanälen vorgesehen werden als in außenliegenden Eckenbereichen.

5.3 Entformungssystem

	Normalwerkzeug	Abstreifwerkzeug	Schieberwerkzeug	Backenwerkzeug	Abschraubwerkzeug	Abreißwerkzeug
schematische Darstellung						
wichtige Elemente	a Aufspannplatte SS b Entformungssystem c Formnest d Angußkanal e Aufspannplatte DS	a Aufspannplatte SS b Abstreifplatte c Formnest d Angußkanal e Aufspannplatte DS	a Entformungssystem b Steuerfinger c Formnest d Schieber e Angußkanal	a Entformungssystem b Backenführungsplatte c Backe d Formnest e Angußkanal	a Entformungssystem b Spindel c Zahnrad d Formkern e Formnest	a Entformungssystem b Zuganker c Formnest d Angußkanal
charakteristische Beschreibung	einfachste Bauweise; zwei Werkzeughälften; eine Teilungsebene; Öffnungsbewegung in eine Richtung: Entformung durch Schwerkraft, Hülse oder Stifte	Aufbau ähnlich dem Normalwerkzeug, jedoch Entformung durch Abstreifplatte	Aufbau ähnlich dem Normalwerkzeug, jedoch mit zusätzlichem Schieber und Steuerfinger für Seitenbewegung	Aufbau ähnlich dem Normalwerkzeug, jedoch mit zusätzlichen Backen für Teile mit Hinterschneidung oder äußerem Gewinde sowie zur Kraftaufnahme	Drehbewegung des Gewindeformkerns durch eingebautes Getriebe mechanisch betätigt	zwei Trennebenen; Betätigung der Zwischenplatte durch Klinkenzug oder Zuganker; unterteilte Öffnungsbewegung
Formteile	für Formteile aller Art ohne Hinterschneidung	Für becherförmige Teile ohne Hinterschneidung	für flache Teile mit Hinterschneidung oder äußerem Gewinde	für längliche und breite Teile mit Hinterschneidung	für Teile mit innerem oder äußerem Gewinde	für Teile mit automatischer Angußabtrennung
Öffnungsrichtung						

Abbildung 39:Auswerferrmechanismen [3]

Nach der Abkühlphase muss das Formstabile Formteil aus dem Werkzeug entnommen werden. Dazu wird je nach Geometrie und Anzahl der Formteile ein optimal auf das Formteil abgestimmtes Entformungssystem benötigt. Beim Öffnen des Werkzeuges soll das Formteil an der beweglichen Hälfte des Werkzeuges gehalten werden. Normalerweise setzen sich je nach Geometrie der Formteile die Formteile durch Schwindungsvorgänge an Kernen fest oder können aufgrund von Hinterschneidungen nicht selbst einfach fallen. Der Auswerferrmechanismus kann dabei hydraulisch, mechanisch oder pneumatisch betrieben werden.

Ein mechanischer Auswerferr ist durch einen, durch die mittlere Bohrung der beweglichen Aufsannplatte gehender, axial verschiebbaren Stößel (vgl. Abb. 30) charakterisiert. Der Stößel wird dabei an das Auswerferrsystem angebunden. Hierbei wird beim Öffnen des Werkzeuges der Stößel gegen einen Stehbolzen gefahren [13].

Die pneumatisch bzw. elektrisch wirkenden Auswerferr sind direkt an das Werkzeug gekoppelt. Bei einem hydraulischen Auswerferr kann die Entformungskraft durch eine Regeleinrichtung eingestellt werden und somit der Entformungsprozess besser kontrolliert werden.

In obiger Abb.40 stellt das Normalwerkzeug die einfachste Form eines Werkzeuges dar. Hierfür werden Formteile verwendet welche keine Inneren oder äußeren Hinterschneidungen aufweisen. Das Werkzeug selbst besteht deshalb aus nur einer Trennebene und somit wird das Formteil durch Ausschleiben aus der Kavität aus einer Hälfte des Werkzeuges entformt. Dabei kommen Auswerferrstifte zum Einsatz. Einen Nachteil hat die Entformung durch Stifte. Sie können Druckstellen am Formteil hinterlassen, welche nicht erwünscht sind. Die in der Tabelle enthaltenen Auswerferrmechanismen sind nur einige Grundtypen, welche wegen der Formteilgeometrie zum Einsatz kommen. Jedes Werkzeug muss ebenfalls bezüglich der Entformungsart konzipiert sein. Dabei können bei Bedarf auch mehrere Trennebenen von Nöten sein.

### 5.4 Schließeinheit

Die Schließeinheit ist eine wichtige Baugruppe der Spritzgießmaschine, welche bestimmte Anforderungen erfüllen muss. Sie nimmt das Werkzeug auf und sorgt dafür, dass die Bewegungsabläufe des Werkzeuges während der Öffnungs- und Schließphase den Anforderungen entsprechen und sorgt für die notwendigen Kräfte zum Schließen des Werkzeuges. Das Werkzeug muss während des Spritzvorganges dicht sein und dafür muss die Schließeinheit die notwendigen Kräfte aufbringen. Die Hauptbestandteile eines Schließsystems sind Säulen, Komponenten für das Öffnen und Schließen des Werkzeuges und Werkzeugaufspannplatten [3]. Die wichtigste Aufgabe besteht darin das Werkzeug während eines ganzen Spritzgießzyklus dicht geschlossen zu halten. Deshalb sollte immer gewährleistet werden, dass die Schließkraft größer ist als die durch den Füllvorgang des Werkzeuges entstehende Auftriebskraft der Schmelze. Die Auftriebskraft wird durch den Fülldruck im Inneren des Werkzeuges und die projizierte Fläche auf dessen der Druck wirkt berechnet. Das Werkzeug sollte am besten während des Schließvorganges schnell bewegt werden, um bis kurz vor dem Zusammentreffen der Werkzeughälften in ein sanftes Anfahren überzugehen. Dadurch verkürzt sich die Zykluszeit und das Werkzeug wird durch die, durch zusammentreffen der Werkzeughälften, entstehenden Kräfte nicht beschädigt [8]. Hier muss sichergestellt werden, dass die beiden Werkzeughälften präzise geführt werden und koaxial fixiert werden.

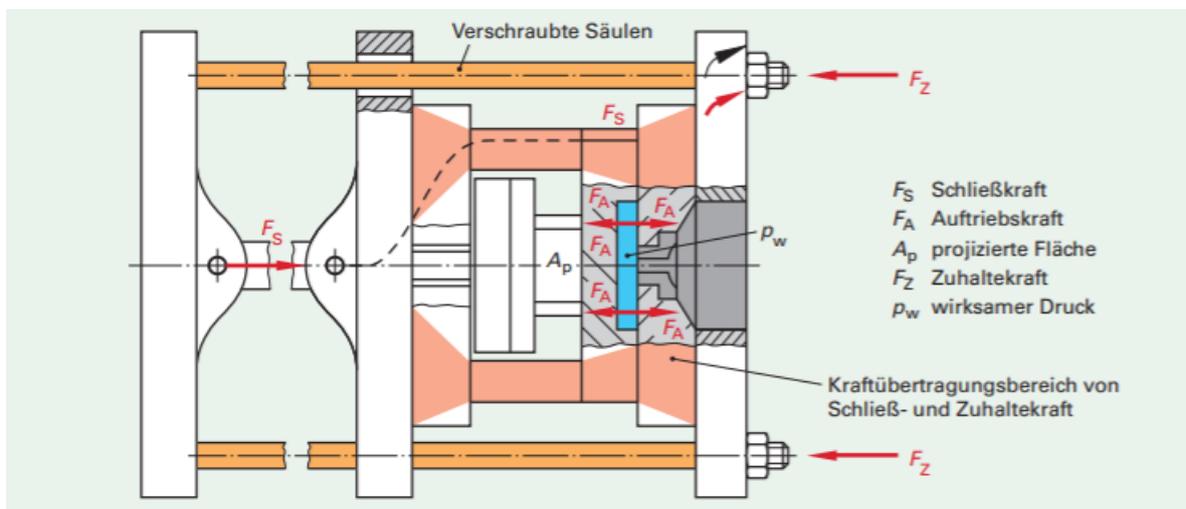


Abbildung 40: Schließeinheit [15]

In der Abb.41 ist eine Schließeinheit mit einem Kniehebelmechanismus zur Schließung der Werkzeughälften abgebildet. Das Werkzeug ist geschlossen und die Schmelze füllt die gesamte Kavität in einer Formplatte bzw. im Einsatz. In der Abbildung sind die wirkenden Kräfte eingezeichnet und verdeutlichen wie der Kraftfluss in der Schließeinheit und im Werkzeug verlaufen. Dabei ist die Schließkraft diejenige Kraft die notwendig ist um das Werkzeug geschlossen zu halten und sie muss immer größer sein als die Auftriebskraft. Die Zuhaltkraft ist die Summe aller auf die Holme wirkenden Kräfte. Dabei muss die Schließkraft immer größer sein als die Schließkraft und diese wiederum sollte nie höher sein als 80% der maximal möglichen Schließkraft der Schließeinheit.

## 5. Spritzgießmaschine

---

Es sind drei Varianten der Zuhaltung vorhanden welche den Aufbau von Schließeinheiten bestimmen [3] :

- mechanische Zuhaltung (formschlüssige Verriegelung)
- hydraulische Zuhaltung (Kraftschlüssige Verriegelung)
- mechanisch-hydraulische Zuhaltung (kraftschlüssige Verriegelung)

Die Formschlüssige Verriegelung wird im Allgemeinen meist durch ein hydraulisch oder elektromechanisch angetriebenes Kniehebelsystem realisiert. Diese werden meist für den mittleren Schließkraftbereich eingesetzt [3].

Dieses System erlaubt es durch die Variation der Hebelarmlänge die Geschwindigkeitsverlaufsanforderungen an die bewegliche Werkzeughälfte einzuhalten. Durch die Hebelwirkung kann mit geringer Kraft eine große Last bewegt werden [1]. Dabei ist es ein selbstsperrendes System, was bedeutet das beim Schließen des Werkzeuges keine weitere Kraft auf das Werkzeug mehr aufgebracht werden muss. Die einfachste Form eines Kniehebelsystems ist der Einfachkniehebel, welcher die geringsten Kosten aufzeigt, jedoch wegen der nicht parallelen Führung der Aufnahmeplatte auch Nachteile aufweist. Deshalb haben sich weitere Arten wie Doppelkniehebel (vgl. Abb. 42) etabliert, die diese Probleme der Führung beseitigen. In der untenstehenden Abb. 42 ist die Realisierung von Zwei Varianten eines mehrgelenkigen Kniehebelsystems abgebildet. Wie man erkennen kann hat auch die Anzahl der Gelenke einen Einfluss auf die Gesamtlänge der Maschine. Hier ist klar zu erkennen das ein 5-Punkt-Kniehebelsystem die Maschinenlänge verkürzt. Der Vorteil solcher Systeme liegt in deren Bewegungsgeschwindigkeit während der Öffnungs- und Schließphase. Eine Variation erlaubt sogar die Geschwindigkeit noch zu steigern, in dem man noch einen Verfahrzylinder verwendet.

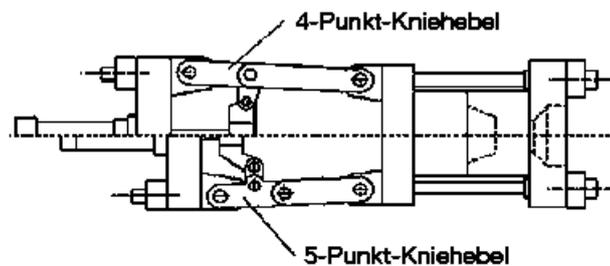


Abbildung 41: Doppelkniehebel [1]

Das System muss auf die Maße des Werkzeuges abgestimmt sein, was nachteilig ist bei einem Werkzeugwechsel, was wiederum maschinenbaulichen Aufwand mit sich bringt. Man kann hier durch einen Höhenverstellmechanismus die Höhe an das Werkzeug anpassen. Zudem kann auch manchmal eine Kraftkontrolle erforderlich sein, da durch Wärmeeinwirkung durch das Werkzeug die Schließkraft während des Betriebes variieren kann.

Bei der kraftschlüssigen Verriegelung wird eine hydraulische Einheit verwendet, welche auch für den Bewegungsablauf und der Kraftübertragung verantwortlich sein kann. Hierbei wird die Zuhalkraft mittels eines oder mehreren mittig angeordneten Hydraulikkolben auf das Werkzeug ausgeübt. Da hier als Übertragungsmittel ein Öl zum Einsatz kommt, muss ein Öltank installiert sein, welcher das Öl als Reserve vorhält. Beim Schließen des Werkzeuges wird das Öl aus dem Tank in einen Kolbenzylinder zugeführt und somit die bewegliche Aufnahmeplatte bewegt. Die auf das

## 5. Spritzgießmaschine

Werkzeug übertragene Kraft wird durch den im Zylinder befindlichen Öldruck und der Fläche der beweglichen Platte bestimmt. Bei großen Verfahrwegen können auch zwei Zylinder kombiniert werden, wobei der kleinere für den Verfahrweg gedacht ist und der größere für das Schließen des Werkzeuges verantwortlich ist (vgl. Abb. 43). Der große Vorteil dieser Verriegelung ist, dass es nicht an die Dimensionierung des Werkzeuges gebunden ist. Es kann ja mittels eines Öldruckes eine bestimmte Kraft an jedem Ort seines Verfahrweges auf das geschlossene Werkzeug aufbringen. Zudem ist es gegenüber thermischen Schwankungen im Werkzeug unempfindlich. [1, 3]

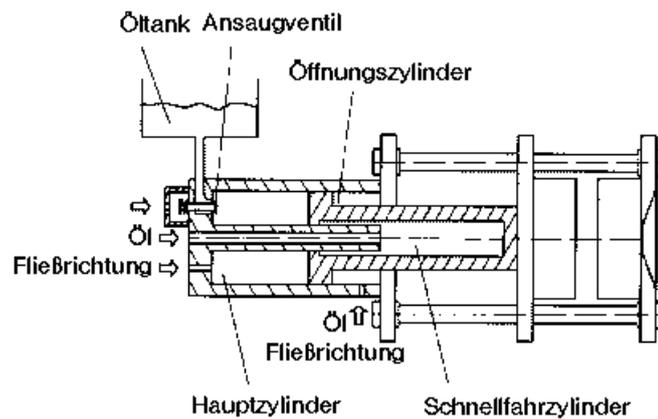


Abbildung 42:Hydraulische Schließeinheit [1]

Verwendet man nur einen Zylinder zum Verfahren und der Aufbringung der Schließkraft, so würde man einen größeren Öltank für den Verfahrweg benötigen und eine leistungsstarke Pumpe müsste installiert werden um die bewegliche Werkzeughälfte schnell öffnen und schließen zu können. Deshalb verwendet man zwei separate Zylinder, einen für den Verfahrweg, welcher eine sehr geringe Kraft aufbringen muss und ein großer Zylinder, welcher nur die Schließkraft aufbringen muss. Durch diese Aufteilung wird eine Energieeinsparung und damit eine Effizienzsteigerung erzielt. [3, 2, 1]

Die sich aus beiden vorangegangenen vorgestellten Schließsystemen ergebenden Vorteile können kombiniert werden, woraus eine mechanisch-hydraulische Verriegelung resultiert. Hier wird der Hauptzylinder während der schnellen Bewegung der verschiebbaren Werkzeughälfte entkoppelt und anschließend wieder kurz vor dem Zusammentreffen der Werkzeughälften wieder gekoppelt. Deshalb hat der Kolben im Zylinder nur einen geringen Kolbenhub.

Andere Varianten sind für bestimmte Anwendungen vorhanden. Bei der holmlosen Schließeinheit wird auf eine Holmführung verzichtet. Zur kompakteren und kostenreduzierenden Bauweise kommen auch zwei-Platten-Werkzeuge zum Einsatz. Desweiteren gibt es eine Vielzahl an Bauarten, auf welche ich im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehen werde.

### 6. Spritzgießprozess

Auf den Kern gebracht beinhaltet der Spritzgießprozess alle wesentlichen Verfahrensschritte, um aus einem Ausgangsmaterial durch ein Formgebungsverfahren ein Formteil zu erstellen.

Es können je nach Formteil auch spezielle Prozessvarianten vorkommen, wobei all diese den Prozessschritten Einspritzphase, Nachdruckphase, Abkühlphase bzw. Reaktionsphase bei vernetzenden polymeren, Dosierphase und die Entformungsphase unterliegen. Heute läuft ein Spritzgießprozess von thermoplastischen Polymeren größtenteils automatisiert ab. Das heißt auch das durch ein Handlingsystem das Formteil nach einem Spritzgießzyklus entnommen wird. Dies dient der Steigerung der Automation des gesamten Prozesses, wobei hier die Besonderheiten des Formteils entscheiden, ob dies maschinell entnommen werden kann oder nicht. Der gesamte Ablauf von der Einspritzphase bis zur Werkzeugöffnung wird als Spritzgießzyklus bezeichnet. Die Dauer wird mit der Zykluszeit angegeben. Die Phasen eines gesamten Prozesses laufen nacheinander ab und können sich auch überschneiden.

Der Prozess wird durch steuerungstechnische Vorrichtungen geregelt. Dies beinhaltet alle Arbeitsschritte die notwendig sind um ein formstabiles Formteil zu erstellen. Dabei werden die gewünschten Prozessparameter durch den Maschinenbediener an der Steuerungseinheit übermittelt, welcher diese Daten zur Regulierung des Systems nutzt.

Der Gesamtdurchlauf des Kunststoffes durch die Spritzgießanlage kann wie folgt beschrieben werden: Das meist rieselfähige Kunststoffgranulat wird über den Trichter auf dem Plastifizierzylinder in das System eingeführt, wobei es durch eine im Plastifizierzylinder befindliche Schnecke transportiert wird und durch Konvektion durch die beheizte Zylinderwand, wie auch durch Scherbeanspruchung aufgeschmolzen wird. Es wird bis zur Schneckenspritze transportiert und baut dadurch vor der Zylinderspitze einen Staudruck auf, der die Schnecke nach hinten schiebt. Die Rückstromsperre verhindert das die Kunststoffmasse zurückfließt. Nach einem vordefinierten Dosierweg stoppt die Schnecke. Durch die Verbindung zwischen der Düse an der Spritzeinheit mit der Angussbuchse des Werkzeuges, welches formschlüssig oder kraftschlüssig dicht verschlossen ist, kann der Einspritzvorgang in die Formteilkavitäten beginnen. Nach der Nachdruckphase und einer bestimmten Kühlzeit kann das Werkzeug geöffnet werden und die Formteile können entnommen werden. [3, 2, 1]

Alle einzelnen Schritte eines Spritzgießzyklus laufen nacheinander und auch zum Teil überlappend ab. Alle Arbeitsschritte müssen aufeinander abgestimmt sein und die Zeiten für jedes dieser Schritte werden, hinsichtlich der Maschine wie auch des zu erstellenden Formteils, von vielen Einflussparametern beeinflusst. Alle relevanten Parameter zur Regelung oder Steuerung des gesamten Zyklusses müssen festgelegt sein, was eines der schwierigen Aufgaben darstellt und es deshalb auch Versuchsreihen erfordert, um die richtigen Parameter zur Herstellung eines qualitativ den Anforderungen entsprechendes Formteil herzustellen. In der Abb. 44 sind alle relevanten Schritte auf der Zeitachse aufgetragen. Hier sieht man das die Abkühlphase überlappend mit anderen Schritten abläuft.

Der gesamte Zyklus mit all seinen Schritten ist der Abb. 45 zu entnehmen. Diese Schritte sind bei allen Spritzgießmaschinen gleich und werden nur durch die Art des Temperaturverlaufes unterschieden. Bei thermoplastischen Ausgangsmaterialien wird eine Abkühlung des Werkzeuges

## 6. Spritzgießprozess

angestrebt, im Gegensatz zu vernetzenden Polymeren wo eine Aufheizung des Werkzeuges gefordert ist.

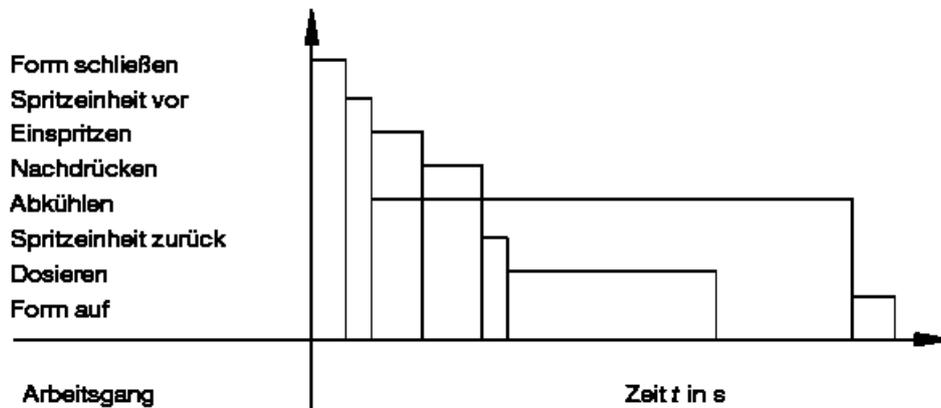


Abbildung 43: Zeiten eines Spritzgießzyklus [1]

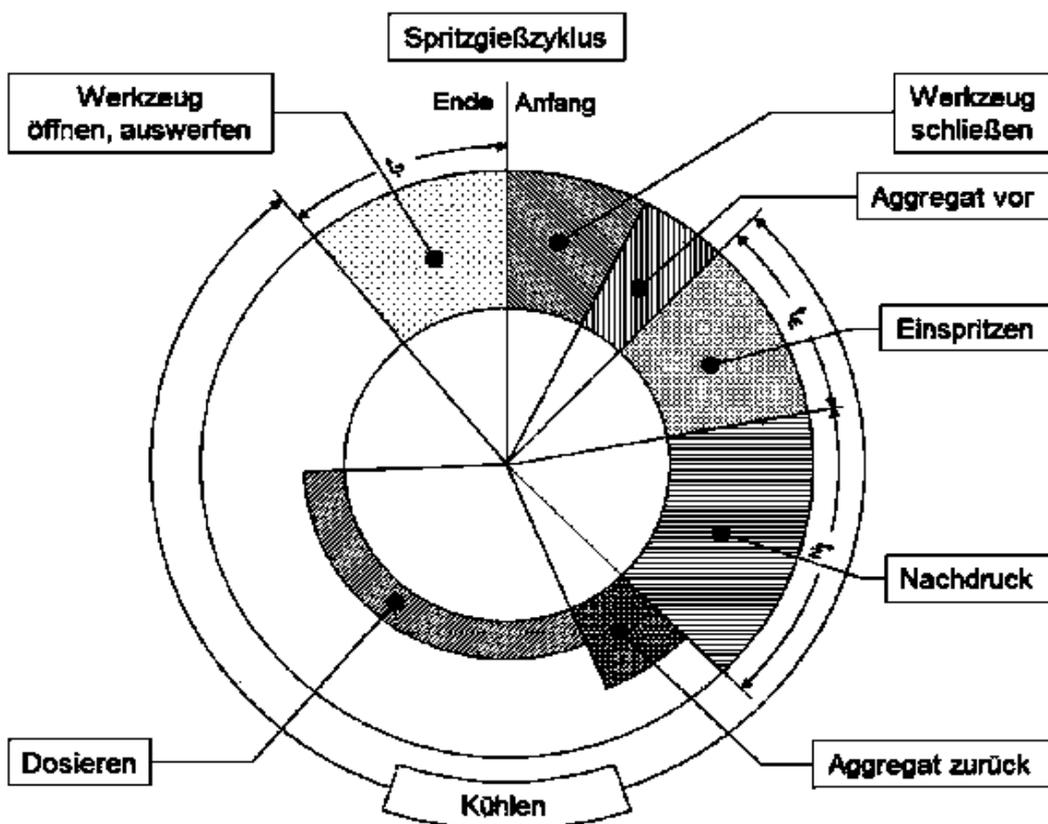


Abbildung 44: Spritzgießzyklus [1]

Bevor ein Zyklus beginnt müssen alle Baugruppen in ihren vordefinierten Ausgangszustand versetzt werden. Wie aus der Abb. 45 zu erkennen ist, beginnt der Zyklus mit dem Schließen des Werkzeuges und dem Aufbau der Schließkraft. Dabei darf natürlich kein Formteil mehr in den Kavitäten vorhanden sein. Zudem kann vor Beginn dieses Arbeitsschrittes das Werkzeug Oberflächentechnisch behandelt werden. Es kann zum Beispiel ein Trennmittel aufgetragen

werden. Die Auswerfer müssen zurückgezogen sein. Die Schnecke und der Plastifizierzylinder sollten auch auf die vorgesehene Temperatur hochgefahren worden sein.

Voraussetzung für den Beginn des Zyklusses ist, dass sich vor der Schneckenspitze ein vordefiniertes Volumen an plastifiziertem Polymer befindet. Sind diese Kriterien erfüllt und wird der Prozess gestartet, so wird das Werkzeug mittels der Schließeinheit geschlossen und durch eine formschlüssige oder kraftschlüssige Verriegelung dichtend abgeschlossen. Dabei baut sich eine Schließkraft auf, die das Öffnen des Werkzeuges verhindert.

Sofern es sich nicht um eine offene Düse handelt, fährt nun die Spritzeinheit mit der Düse gegen den Angusskanal in der feststehenden Aufspannplatte. Diese Verbindung wird dichtend hergestellt. Ist dies vollzogen, öffnet die Düse und es kann Material in das Werkzeug gelangen. Um den Einspritzvorgang zu starten wird die Schnecke nach vorne bewegt, was einen hohen Spritzdruck vor der Schneckenspitze verursacht. Dieser Spritzdruck nimmt dabei über den gesamten Fließweg ab. Die Rückstromsperre sorgt hier dafür dass die Schmelze nur in das Werkzeug geleitet wird und nicht nach hinten fließt. Dieser Schritt des Prozesses wird durch die Schneckenvorlaufgeschwindigkeit der Schnecke kontrolliert. [1, 3, 8] Der Angusskanal, das Verteilersystem, der Anschnitt, die Düse wie auch die Höhlungen stellen Fließwiderstände dar die von der Schmelze überwunden werden müssen.

Auch muss eine Fließgeschwindigkeit erreicht werden, die es erlaubt alle Kavitäten vor dem Einfrieren der Schmelze zu füllen. Dies kann nur durch eine hohe Druckbeaufschlagung erzielt werden. Dieser Druck wird durch die Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke übertragen.

Sind alle Kavitäten mit der Schmelze vollständig gefüllt, so muss der im Werkzeug wirkende Druck gesenkt werden, da ansonsten erhebliche Schäden am Werkzeug auftreten oder sich ein Grat bildet. Die Regelung muss so konzipiert sein, dass nach dem Einspritzen und vollständigem Füllen der Druck auf einen niedrigeren Druck, dem Nachdruck gesenkt wird. Ab diesem Zeitpunkt wechselt man von der Einspritzphase in die Nachdruckphase. Das zähflüssige Polymer in den Kavitäten beginnt sich mit der Zeit rasch abzukühlen, da die Wärmeleitung über die Werkzeuginnenwand dies begünstigt. Dadurch dass nun ein Schwindungsvorgang eintritt, kann es wegen es der Volumenkonstanz zu Lunkern und Einfallstellen im Formteil kommen, welche ungünstig und unerwünscht sind. Diese Fehler würden bei den herzustellenden Mehrzweckkörpern zu falschen Messergebnissen im Zugverfahren führen. Deshalb wird bei der Nachdruckphase dieser Volumenschwund durch Förderung von Schmelzmasse ausgeglichen, so dass genug Masse nachgeströmt wird, um solche Fehler im Bauteil zu vermindern bzw. zu verhindern. Dieses Vorhaben gelingt jedoch nur, wenn man die Schmelze an der dicksten Stelle des Formteils einführt, da diese zuletzt erstarrt. Die Phase wird zeitlich durch das Erstarren des Angusses begrenzt, was als Siegelpunkt bekannt ist. In dieser Phase drückt die Schnecke auf ein Massepolster im Plastifizierzylinder, was bedeutet dass bei der Volumenkalkulation auch ein Restmassepolster einkalkuliert werden muss. Die Herausforderung hier ist dass ein in Grenzen gehaltener Nachdruck herrschen muss und deshalb wird in dieser Phase eine Druckregelung realisiert. Der Druck darf weder zu niedrig noch zu hoch angesetzt werden.

## 6. Spritzgießprozess

---

Während der Einspritzphase und der Nachdruckphase befindet sich das eingespritzte Polymer in einer Kühlphase die als Resultat eine Abkühlung des Formteils, zur Sicherstellung der Entnahmefähigkeit aus dem Werkzeug, garantiert.

Die Schmelze erstarrt sofort bei ihrem Kontakt mit der Werkzeugwand, jedoch erstarrt die Schmelze im Inneren, bedingt durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffe, wesentlich später.

Die Formteile im Werkzeug müssen so lange abgekühlt werden bis Sie eine gewisse Stabilität erreicht haben, welche ausreicht um sie aus dem Werkzeug mittels Entformungssystem, aus dem Werkzeug zu entformen.

Im Anschluss an die Nachdruckphase kommt die Dosierphase, um neues Material für einen weiteren Spritzzyklus bereit zu stellen. Wenn es sich bei der Düse der Plastifiziereinheit um eine offene Düse handelt, so darf die Plastifiziereinheit nicht zurückgezogen werden und muss an der Angussbuchse angelegt bleiben, da sonst durch den entstehenden Staudruck und durch Rotation der Schnecke Material aus der Düse herausfließt und der Druck somit abgebaut wird [1]. Bei einer verschließbaren Düse tritt dies nicht auf und die Düse kann somit von der Angussbuchse entfernt werden. Das Ausgangsmaterial wird durch den Trichter in den Schneckengang der Schnecke im Plastifizierzylinder transportiert und durch die Drehung der Schnecke in den Schneckenorraum geleitet. Durch die aufgeheizte Zylinderwand und die Scherung durch Schneckenrotation wird das eingeführte Material plastifiziert.

Zudem wird durch Abnahme des Schneckenganges hin zur Düse ein Entlüftungseffekt bewirkt, um Gase aus der Formmasse zu entfernen.

Die Schnecke ist dabei axial beweglich, um eine Ansammlung eines bestimmten voreingestellten Massevolumens zu ermöglichen. Der Bewegung wird, um einen sogenannten Staudruck vor der Schneckenspitze zu erzeugen, ein Widerstand entgegengesetzt [3, 1]. Die Regel- oder Messeinrichtung misst dabei den von der Schnecke zurückgelegten Weg und stoppt Das Dosieren bei Erreichen des gewünschten Volumens. Dabei wird das Zusammenspiel zwischen Dosierphase und Kühlphase so aufeinander abgestimmt, dass die Dosierphase maximal so lang ist wie die Kühlzeit, ansonsten verlängert sich die Zykluszeit und die Wirtschaftlichkeit nimmt ab, da weniger Teile pro Zeiteinheit hergestellt werden können.

Nach der Abkühlphase, das heißt dass die Formteile einen entformungsstabilen Zustand aufweisen, kann die Entformungsphase beginnen. Hierzu muss das Werkzeug so weit geöffnet werden, dass die Formteile aus ihren Kavitäten herausgestoßen werden können. Dafür wird durch die Schließeinheit die bewegliche Aufspannplatte bewegt und das Formteil bleibt dabei auf der schließseitigen Formplatte. Da es durch Volumenschwindung zu Festsetzungen der Formteile an den Kernen kommt und ebenfalls bei Hinterschneidungen, werden die Formteile nicht von alleine aus den Formnestern gelöst. Das Entformungssystem kann nun betätigt werden und wirft die Formteile aus dem Werkzeug heraus. Im Fall dieser Arbeit werden Stifte zum Entformen des Formteils verwendet. Dabei muss darauf geachtet werden dass durch die Stifte kein Schaden an dem Formteil entsteht. Handelt es sich bei den Formteilen um sehr sensible Bauteile, so muss mit Druckluft gearbeitet werden. Dieser sorgt dafür das sie von den Formnestern gelöst werden [1]. Bei anderen Teilen kann das manuelle Entformen erforderlich sein, was bei thermoplastischen Formteilen selten ist, jedoch nicht bei Elastomeren, da diese eine hohe Dehnbarkeit aufweisen.

Desweiteren kann auch ein Handhabungssystem eingesetzt werden um die Teile zu lösen. Während dieser Phase wartet die Spritzeinheit auf den Abschluss, um mit dem nächsten Spritzzyklus zu beginnen.

## 7. Gestaltungsrichtlinien für Spritzgussprobekörper

Das Spritzgießen von Kunststoffformteilen erfordert eine gute Werkzeugkonstruktion wie auch eine auf das Formteil abgestimmte Prozessführung. Aber auch die Formteile die gespritzt werden, müssen gewissen Anforderungen gerecht werden. Sie müssen werkstoff-, verfahrens- und werkzeuggerecht konstruiert werden [2]. Bedingt durch den Prozessverlauf beim Spritzgießen und dem Verhalten der Kunststoffe müssen einige Gestaltungsrichtlinien beachtet werden, um ein funktionsfähiges, anforderungsgerechtes Spritzgussteil herzustellen.

Aus den Erkenntnissen des Abkühlvorganges im Werkzeug lässt sich feststellen, dass gespritzte Formteile eine ungleichmäßige Abkühlung über dem Querschnitt erfahren. Dies hat jedoch negative Auswirkungen auf die Formteilqualität, da unterschiedliche Kühlzonen auch unterschiedliche Schwindungsbereiche mit sich bringen. Je größer der Querschnitt ist, desto größer sind die möglichen negativen Auswirkungen. Deshalb sollte man möglichst dünnwandig konstruieren, um auch abgesehen von den Qualitätsanforderungen den wirtschaftlichen Anforderungen gerecht zu werden, weil die Kühlzeit ca. 50 bis 70% der Gesamtzykluszeit beträgt [2]. Es kann auch sein dass ein Formteil zu dünne Wanddicken aufweist, dies hängt von der Viskosität des eingesetzten Material und der Fließweglänge ab. Hier sollte beachtet werden, dass je dünnwandiger die Konstruktion ist, desto mehr Widerstand wird der fließenden Schmelze entgegengesetzt.

Beim Spritzvorgang gelangt die Schmelze in die Kavitäten und kühlt in Wandnähe rasch ab. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffe entsteht ein Temperaturprofil von der Werkzeugwand zum Zentrum der Schmelze. Weist ein Kunststoffbauteil Eckenbereiche auf, so werden diese Eckenbereiche schneller abkühlen als die Oberfläche und werden somit steifer. Der Schwindungsvorgang im Zentrum der Schmelze wird deshalb die Bereiche zwischen den Eckenbereichen, da sie noch keine ausreichende Steifigkeit aufweisen, nach unten ziehen und so entstehen Einfallstellen die von außen durch eine nach innen gerichtete Verwölbung der äußeren Flächen zu erkennen sind. Erreichen dann die Wände eine ausreichende Steifigkeit um der Verformung zu widerstehen, so werden durch die fortschreitende Volumenkontraktion Lunker entstehen. Die Lunker haben auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften gravierende Auswirkungen, da dadurch die Festigkeitswerte abnehmen und die Rissbildung im Inneren durch Spannungsspitzen begünstigt wird [2, 16]. Einfallstellen und Lunker können bei allen Kunststoffen entstehen und sind ausgeprägter je höher die Schwindung eines Materials ist. Auch die Struktur eines Kunststoffes kann einen Einfluss haben. Werden teilkristalline Werkstoffe verwendet, so ist der Lunkereffekt ausgeprägter und wahrscheinlicher als bei amorphen thermoplastischen Materialien. Grund dafür ist, dass sie einen Schmelzpunkt aufweisen bzw. ihren Aggregatzustand in einem sehr kleinen Temperaturbereich verändern und deshalb schneller versteifen als amorphe Kunststoffe [16].

## 7. Gestaltungsrichtlinien für Spritzgussprobekörper

---

Um all diese Effekte auszugleichen wird eine Massenförderung während der Abkühlphase angestrebt. Deshalb wird auch eine Nachdruckphase beim Kunststoffspritzgießen verwendet.

Dadurch das Material bei Schwindung nachfließt, ist immer genügend Material in den Kavitäten vorhanden, um den Schwindungseffekt auszugleichen. Können Beanspruchungsbedingt keine geringen Wanddicken realisiert werden, so kann über die Möglichkeit der geometrischen Steifigkeit <sup>4</sup>eine Verringerung der Wanddicke realisiert werden.

Nachteilig sind auch unterschiedliche Wanddickenrealisierungen in einem Formteil. Durch die Kontraktion während der Abkühlphase versuchen sich Kunststoffe zusammenzuziehen, werden jedoch bei unterschiedlichen Wanddicken daran gehindert, da die Dickenunterschiede auch unterschiedliche Schwindungen bedeuten. Dünnere Bereiche geben die in ihrem Volumen gespeicherte Wärmemenge an die Umgebung ab. Da das Volumen geringer ist als bei den Bereichen mit höherer Wanddicke, geben diese die Wärmeenergie schneller ab und kühlen vorher ab. Die dickwandigen Bereiche sind noch verformbar und werden durch die fortschreitende Schwindung in ihrem Volumen verkleinert.

Dadurch entstehen in den dünneren Bereichen Druckspannungen, welche zu Verzug führen können. Ist eine Konstruktion ohne Wanddickenunterschiede nicht möglich, so sollten Übergänge realisiert werden. Dieser zuerst erscheinende negative Effekt kann auch bei bestimmten Geometrien genutzt werden, um andere negative Auswirkungen zu kompensieren [2]. Problematisch sind auch Stellen wo eine Materialanhäufung vorzufinden ist. Materialanhäufungen sind Stellen die relativ zur umgebenden Kunststoffmasse ein höheres Massevolumen aufweisen. Solche Stellen werden beim Spritzgießen nicht mehr über den Nachdruck erreicht, da die umgebende Masse schon vorher erstarrt ist. Deshalb bilden sich in diesem Bereich auch Einfallstellen und Lunker. Solche Massenanhäufungen sollten vermieden werden.

Alle Kunststoffe weisen eine Kerbspannungsempfindlichkeit auf, welche auf Einkerbungen bzw. Kanten beruhen. An Kanten und Ecken kommt es bei Belastungen zu Belastungsspitzen, dessen Höhe mit der Schärfe der Einkerbung zusammenhängt. Kunststoffe können daher an solchen Stellen bei ungünstiger Belastung brechen. Deshalb sollten alle Bereiche mit scharfen Kanten abgerundet werden. Dabei gilt, je höher der Ausrundungsradius desto besser. Das Verhältnis von Rundungsradius und Formteildicke sollte im Bereich zwischen 0,4 und 0,6 Millimeter liegen [2]. Ebenfalls ist als Richtwert ein Bereich von 0,2 bis 0,5 Millimeter für den Mindestradius von Ecken erlaubt. Die Ausrunden haben auch einen positiven strömungstechnischen Effekt auf den Spritzgießprozess. Dadurch dass es keine scharfen Kanten gibt, können Auswaschungen im Werkzeug gemindert werden. Auch bei dem Mehrzweckkörper vom Typ A weist Ausrundungen auf.

Die Erstellung eines Probekörpers erfordert eine ebene Fläche. Dies kann jedoch bei nicht abgestimmtes Prozessführung zu Verformungen führen. Durch die Abkühlung eingebrachten Eigenspannungen im Formteil können die Geometrie verändern. Dieses Verhalten resultiert aus der Kombination von Eigenspannungen und geringen Flächenträgheitsmomenten.

---

<sup>4</sup> Geometrische Steifigkeit: Mit geometrischer Steifigkeit ist die Ausnutzung von Geometrieelementen zur Erhöhung der Steifigkeit gemeint.

Nach dem Abformprozess und der Abkühlphase muss das Formteil entformt werden. Dabei können die notwendigen Entformungskräfte sehr hoch sein, da sich die Formteile durch Schwindung an den Kernen heften. Durch eingebrachte Entformungsschrägen können diese Kräfte vermindert werden, um einen Schaden des Formteils zu verhindern [2].

## 8. Probekörper

Probekörper sind genormte Prüfkörper, welche dazu dienen mechanisch- technologische Kennwerte von Materialien zu Erfassen. Sie werden bei einer Vielzahl von Prüf- und Messverfahren eingesetzt, um das Materialverhalten unter bestimmten Bedingungen zu bestimmen. Durch die Erkenntnisse aus den Versuchen und den damit gesammelten Daten können Rückschlüsse bezüglich des Materialverhaltens gezogen werden. Diese Daten werden für die Auslegung in der Konstruktionsphase eines jeden Bauteils benötigt und sind somit unerlässlich. In dieser Arbeit geht es um die Herstellung eines thermoplastischen Vielzweckkörpers vom Typ A1 welcher in der DIN EN ISO 20753 definiert ist. Probekörpertypen nach DIN EN ISO 20753 sind:

- Typ A
- Typ B4
- Typ C
- Typ D

Die Typen B und C können aus dem Typ A mechanisch herausgearbeitet werden. Der Typ A stellt damit eine Besonderheit dar und wird selbst in Zwei Untertypen unterteilt:

- Typ A1
- Typ A2

Beide Untertypen sind von den Maßen her gleich, unterscheiden sich jedoch in ihrem Herstellungsprozess. Der Typ A1 wird aus einem Spritzgießprozess hergestellt und der Typ A2 wird aus einer Platte oder einem Formkörper durch mechanische Bearbeitung herausgearbeitet. Der Typ A1 ist ein Vielzweckkörper, wobei verschiedene Prüfverfahren diesen Typ verwenden können. Dadurch können die gemessenen Eigenschaften des Werkstoffes in den Prüfverfahren zueinander in Beziehung gebracht werden.

Die mechanisch- technologischen Eigenschaften von gespritzten Formteilen sind von den Herstellungsbedingungen abhängig und somit ist auch das Herstellungsverfahren wichtig. Alle hergestellten Prüfkörper müssen den gleichen Herstellungsbedingungen unterliegen, um auch die gleichen Messwerte je nach Prüfverfahren zu erhalten. Es werden nach Norm Anforderungen an die Oberflächengüte gestellt, wie das nicht Vorhandensein von sichtbaren Fehlstellen, Kratzern oder im allgemeinen Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche. Sollten Gräte vorhanden sein, müssen diese mechanisch entfernt werden. Die Norm empfiehlt für die Herstellung eines Vielzweckkörpers mittels Spritzgießen die Verwendung der DIN EN ISO 294-1, auf der ich mich bei der Werkzeugkonstruktion beziehen werde. Diese Norm gilt als Richtlinie zur Erstellung von Werkzeugen zur Herstellung von Prüfkörpern nach DIN EN ISO 20753. Sie legt die

## 9. Anforderungsliste

Spritzgießbedingungen fest, welche für reproduzierbare Prüfkörper nötig sind. Die Informationen dieser Norm sind Grundlage für die Konstruktion des Einfachwerkzeuges.

Laut Norm DIN EN ISO 20753 sind die Maße für den Vielweckkörper vom Typ A1 wie folgt definiert:

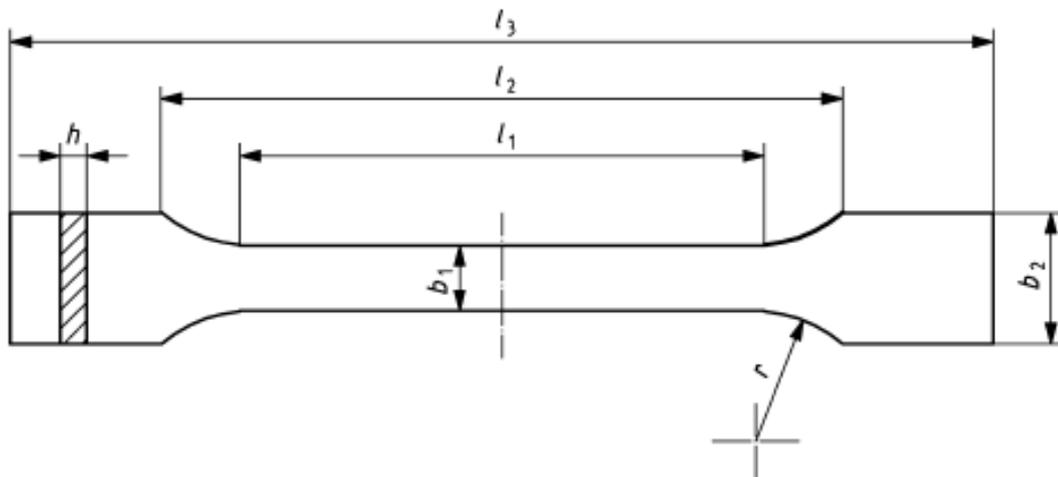


Abbildung 45: Allgemeine Ausführung vom Probekörper Typ A1 [18]

Bezeichnung	Maß [mm]
$l_3$	170
$l_2$	$109,3 \pm 3,2$
$l_1$	$80 \pm 2$
$r$	$24 \pm 1$
$b_2$	$20,0 \pm 0,2$
$b_1$	$10 \pm 0,2$
$h$	$4,0 \pm 0,2$

Tabelle 3: Maße des Probekörpers Typ A1

## 9. Anforderungsliste

Für die Herstellung eines in der DIN EN ISO 20753 definierten Vielweckkörpers in einem Spritzgießverfahren wird in der Norm auf die Norm DIN EN ISO 294 verwiesen die alle Rahmenbedingungen zur Herstellung dieser Probenkörper festlegt. Ich werde mich auf diese Anforderungen beziehen, um ein reproduzierbares Formteil herzustellen. Die Norm stellt alle nötigen Informationen für die Werkzeugkonstruktion bereit. Aus den in der Norm enthaltenen Anforderungen habe ich eine Anforderungsliste zur Werkzeugkonstruktion erstellt, welche in der Tab.4 dargestellt ist:

<h2>Anforderungsliste</h2>	
Nr.	Anforderung
1	Angießbuchsen- Durchmesser mindestens 4 mm
2	Durchmesser der Verteilerkanäle mindestens 5mm
3	Formnest mit beidseitigem Anschnitt
4	Die Höhe des Anschnitts muss mindestens 2/3 der Höhe des Formnestes betragen
5	Anschnitt so breit wie das Formnest
6	Anschnittslänge maximal 3mm
7	Die Entformungsschräge der Verteiler muss mindestens 10° betragen
8	Entformungsschräge von höchstens 1° aufweisen, außer im Bereich von Zugstab-Schultern, in dem sie nicht größer als 2° sein darf
9	Auswerferstifte nur im Schulterbereich erlaubt
10	Einlegeteil zur Steuerung des Schmelzflusses
11	Entlüftungsmaßnahme des Werkzeuges vorsehen
12	Geringe Oberflächenrauheit
13	Anguss in der Mitte positionieren
14	Verteilersystem nur in einer Werkzeughälfte einarbeiten
15	Kein Formnesteinsatz in der festen Werkzeughälfte

*Tabelle 4: Anforderungsliste*

# 10. Werkzeugauslegung

Die Werkzeugauslegung muss alle in der Anforderungsliste aufgelisteten Anforderungen erfüllen. Jedes Formteil benötigt ein eigens dafür konstruiertes Werkzeug, um hergestellt werden zu können. Viele der in einem Werkzeug befindlichen Funktionskomplexe kommen bei den meisten Werkzeugen vor. Deshalb hat sich eine Art der Normierung in der Werkzeugkonstruktion etabliert, welche viele Einheiten genormt zur Verfügung stellt. Diese sogenannten „Normalien“ erlauben dem Konstrukteur sich vollständig auf die Konstruktion der formgebenden Elemente zu konzentrieren. In dieser Arbeit werde ich Normalien der Firma ARBURG GmbH + Co KG für die Konstruktion verwenden.

## 10.1 Werkstoffauswahl

Durch die hohen Druckverhältnisse im Werkzeug während des Spritzgießprozesses ist die Materialauswahl ein entscheidender Faktor für die Sicherstellung der korrekten Funktion aller Funktionselemente im Werkzeug. Das Werkzeug darf keine Spalte aufweisen wodurch die Schmelze nach Außen gelangen kann. Deshalb wird bei der Auslegung nach der Verformung dimensioniert und nicht nach der maximalen Spannung. Es sind die zulässigen Verformungen einzuhalten, weshalb hier bei diesen Flächenpressungen nur spezielle Materialien zum Einsatz kommen können. Das Werkzeug entscheidet letztendlich über die Qualität der gespritzten Spritzlinge. Dabei sind nicht nur die Formteile von Belang. Werkzeuge für das Spritzgießen sind relativ teuer und deshalb wird auch versucht mit der Werkstoffauswahl die Standzeit auf ein Maximum zu erhöhen. Meist wird als Werkstoff ein Stahl oder eine Aluminiumlegierung verwendet die den Anforderungen entspricht. Die Funktionselemente die der höchsten Aufmerksamkeit bedürfen sind die formgebenden Elemente, also die Kavitäten und die Kerne. Der Hersteller der hier verwendeten Normalien, stellt die meisten für den Werkzeugbau genutzten Werkstoffe zur Verfügung.

Es gibt viele Stähle die geliefert werden, danach durch spanabhebende Verfahren bearbeitet werden und dann eine Wärmebehandlung durchlaufen, um auf die geforderte Festigkeit für ihren Einsatz zu kommen. Diese Reihenfolge ist durch die Zerspanbarkeit von den angelieferten Werkstoffen bedingt. Stähle mit hohen Festigkeiten über 800 MPa sind nicht wirtschaftlich zerspanbar. Für die formgebenden Formplatten wird ein hochlegierter Stahl mit der Kennzeichnung 1.2312 (40CrMnNiMo8-6-4) verwendet. Dieser Werkstoff hat eine Festigkeit von über 1000 MPa bei Anlieferungszustand, kann jedoch durch den enthaltenen Schwefel spanend bearbeitet werden. Er ist zudem vergütet und polierfähig, was notwendig ist um eine genaue Maßhaltigkeit des Spritzlings zu gewährleisten. Es besteht auch die Möglichkeit den Stahl durch erodieren zu bearbeiten. Für alle weiteren Platten wird ein Stahl mit der Kennzeichnung 1.1730 (C45W) verwendet. Dieser ist ein Einsatzstahl und genügt meist den Anforderungen mit einer Streckgrenze von etwas mehr als 600 MPa.

### 10.2 Auswahl Angussbuchse und Zentrierflansch

Die Angussbuchse ist das Funktionselement das mit der Düse des Plastifizierzylinders in Kontakt steht. Wegen den auf ihr wirkenden Kräften muss sie einige Anforderungen erfüllen. Aufgrund der mechanischen Kräfte während des Anliegens der Düse und der Forderung nach Verschleißfestigkeit sollte ein gehärteter Stahl verwendet werden. Der am Fußpunkt der Angussbuchse liegende Bohrungsdurchmesser sollte mindestens 1 mm größer sein als der Angusskanal. Dies ist wichtig da man somit sicherstellt, dass der Anguss in der Buchse zuletzt erstarrt und somit der Nachdruck nicht behindert wird. Damit der Zapfen entformt werden kann, muss die Angussbuchse konisch, ohne Hinterschneidungen ausgeführt sein [3].

Folgende Richtlinien für die Auswahl der Angussbuchse:

- gehärteten Stahl verwenden
- Radius des kugelförmigen Endes der Düse muss mindestens 1 mm kleiner sein als Radius der halbkugeligen Vertiefung an der Oberfläche der Angussbuchse [4].
- Die Durchgangsbohrung der Düse soll mindestens 1 mm kleiner sein als die Durchgangsbohrung der Angussbuchse
- Düse und Buchse müssen fluchten [3]
- konische Ausführung zur Sicherstellung der Entformbarkeit
- glatte Oberfläche

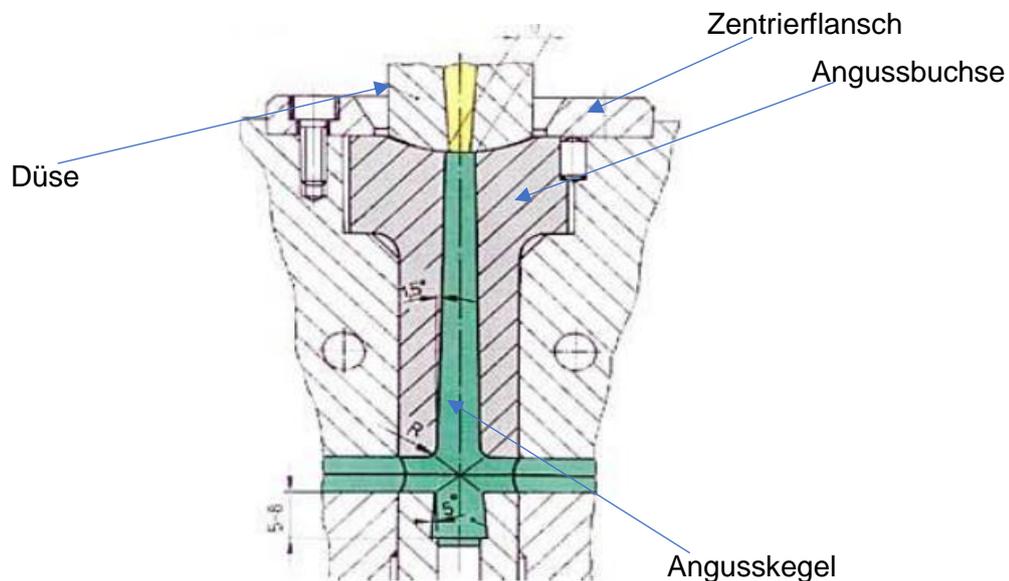


Abbildung 46: Angussbuchse mit Zentrierflansch [18]

Eine glatte Oberfläche und eine konische Ausführung von  $1^{\circ}$ - $4^{\circ}$  der Bohrung der Angussbuchse ist notwendig zur Erleichterung der Entnahme aus dem Werkzeug nach jedem Spritzgießzyklus. Je glatter die Oberfläche ist, desto weniger Reibkraft wird einer Entformung entgegengestellt. Hinterschneidungen sind nicht im Sinne der Funktion.

Die Dichtigkeit wird durch eine fluchtende Anordnung von Düsenbohrung und Angussbohrung wie auch durch die Bohrungsdurchmesser nach der oben erwähnten Richtlinie gewährleistet. Durch die Unterschiede in den Bohrungsdurchmessern wird ein Hinterschnitt vermieden. Da der Anguss nicht direkt die Schmelze wie bei einem Einfachwerkzeug zum Anschnitt leitet, sondern über Verteilerkanäle, sollte auch eine Entformungseinrichtung für den Angusskegel vorgenommen werden. Dazu kann die Angusszapfen in die bewegliche Werkzeughälfte verlängert werden und mittels Ausdrückstift verankert werden. So wird sichergestellt das durch die mechanische Verklammerung der Angusszapfen samt der Verteilerkanäle leichter entformt wird und durch Betätigung des Auswerfermechanismus freigegeben wird. Dies ist bei einer Serienproduktion wichtig und auch für eine Automatisierung der Herstellung wichtig.

Diese Maßnahme werde ich nicht konstruktiv beachten, da es sich nur um ein zu entformendes Formteil handelt und es handelt sich nicht um eine Serienproduktion. Dadurch werden auch die Kosten für die Herstellung des Werkzeuges verringert.

Die Zentrierflansche dienen dazu das Werkzeug auf der festen und auf der beweglichen Aufspannplatte zu zentrieren. Dazu wird der Flansch in die Bohrung der jeweiligen Aufspannplatte eingesetzt, um so eine Zentrierung der Angussbuchse mit der Düse des Plastifizierzylinders und dem Auswerfersystem sicher zu stellen. Für den Zentrierflansch wird ein Werkzeugstahl mit der Kennzeichnung 1.1730 (C45) verwendet. Es handelt sich hierbei um einen Vergütungsstahl. Er kann durch Flammhärten auf höhere Härtewerte aufgehärtet werden. Dies ist nicht notwendig und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht bezweckt.

### 10.3 Angusskanäle und Anschnitt

Die Verteilerkanäle bzw. Angusskanäle werden nur in der beweglichen Werkzeughälfte eingearbeitet. Dies entspricht der Forderung der DIN EN ISO 294 und hat den Vorteil dass der Bearbeitungsaufwand sinkt. Der Querschnitt soll parabelförmig gestaltet sein. Dabei braucht man die Kanalwände nicht zu polieren, denn eine rauere Oberfläche sorgt für eine bessere Haftung der erstarrten, Werkzeugoberflächennahen Schmelze.

Der Anschnitt soll als Bandanguss ausgeführt sein. Für die Anschnittsformen sind zwei Varianten üblich:

- Punktanschnitt
- Bandanschnitt

Welcher gewählt wird, hängt maßgeblich von der Geometrie des Formteils und dessen Verwendungszweck ab. Für einen Prüfkörper welcher in einem Zugversuch eingesetzt werden soll, heißt das, er muss in Zugrichtung homogene Eigenschaften aufweisen und sollte nur in Orientierungsrichtung belastet werden. Wenn die Forderung der homogenen mechanischen Eigenschaften in Zugrichtung besteht, so ist es mit der Forderung nach einem fehlerfreien inneren Aufbau gleichzusetzen. Deshalb dürfen sich keine Bindenähte im Formteil befinden.

Diese entstehen durch Verschweißungen von Schmelzströme in der Kavität. Das heißt, dass als erste Bedingung zur Entstehung von Bindenähten eine Teilung des Schmelzstromes stattfinden

muss. Dies soll verhindert werden und deshalb kann nur ein Bandanschnitt infrage kommen. Durch einen Bandanschnitt fließt die Schmelze zuerst in einen langgestreckten Verteilerkanal, um dann durch den Anschnitt zur Kavität zu gelangen. Bei einem Mehrzweckkörper sollte der Anschnitt an den Schultern erfolgen und so breit sein wie die Breite der Schulter. Die Frage nach der Höhe des Anschnittes resultiert aus der Forderung nach minimalem Druckverlust durch den Anschnitt und nach der gleichmäßigen Füllung der Kavität. Durch die Höhe kann die Wärmeentwicklung in der Schmelze beim durchlaufen des Anschnittes eingestellt werden. Je niedriger die Höhe ist, desto mehr Druck ist nötig um die Kavitäten bei gleicher Geschwindigkeit zu füllen. Durch diesen Druckverlust entsteht Reibungswärme die die Schmelze erwärmt und somit die Viskosität des Polymers senkt, was vorteilhaft für die Füllung der Kavität ist [3]. Ebenfalls wird durch diese Wärme der Anschnitt länger passierbar für den Nachdruck gehalten. Man muss also einen Kompromiss zwischen Energieverbrauch und guter Abformung finden. In der Norm wird eine Höhe von mindestens  $\frac{2}{3}$  der Höhe des Formteils vorgeschlagen. Wie in Abb.48 sind Entformungsschrägen einzubringen, welche die Entnahme des Angussystems und des Formteils erleichtern. Alle Schmelzführenden Kanäle sollten natürlich strömungsgerecht ausgeführt sein. Es dürfen also keine scharfen Umlenkungen in den Kanälen vorhanden sein und deshalb sollte immer bei Umlenkungen mit Radien gearbeitet werden. Ich habe mich für einen halbrunden Kanal entschieden, da dieser in der Fertigung einfacher ist, als die Darstellung in der Norm.

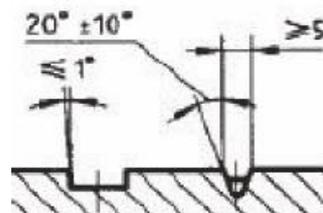


Abbildung 47: Entformungsschrägen nach DIN EN ISO 294-1 [20]

Für die Anschnittsform ergibt sich ein rechteckiger Querschnitt. Der Anschnitt kann entweder exzentrisch oder zentrisch erfolgen. Da nur eine Formplatte spanend bearbeitet werden soll, handelt es sich hier um einen exzentrischen Anschnitt. Diese Art bietet den Vorteil, dass der mechanische Bearbeitungsaufwand sinkt. Zudem ist die Entformbarkeit leichter als bei einem exzentrischen Anschnitt und es kann hier kein Freistrahle entstehen [3]. Die Höhe des Anschnittes beträgt in meiner Konstruktion 3 Millimeter.

### 10.4 Entlüftung des Werkzeuges

Die Entlüftung ist ein entscheidender Faktor bei der Sicherung der Qualität der herzustellenden Formteile. Die Werkzeughöhlungen eines jeden Werkzeuges werden durch die einströmende Schmelze gefüllt. Dabei befindet sich bei nicht zuvor evakuierten Werkzeugen noch Luft in den Kavitäten. Kann diese Luft nicht entweichen, kommt es zu Problemen. Die Luft wird verdichtet und kann das Formteil und auch das Werkzeug schädigen. Schließt das Werkzeug wiederum nicht dichtend ab, so entstehen Gräte. Deshalb muss eine Konstruktion gewährleisten, dass das Werkzeug zwar dicht geschlossen ist, aber auch die Luft entweichen kann. Diese kann sich durch die einströmende Masse erhitzen und es kommt zu Brandstellen am Formteil. Im Falle eines Mehrzweckkörpers der durch zwei Anschnitte an den Schultern mit Schmelze durchströmt wird,

kommt es beim zusammenfließen der Schmelzströme von beiden Seiten zu einer Behinderung der Verschweißung, da beide vor sich die eingeschlossene Luft schieben bis sie sich so sehr verdichtet, dass ein Zusammenfluss nicht möglich ist oder teilweise nicht mehr gegeben ist.

Es gibt zwei Arten von Entlüftungsmaßnahmen:

- aktive Entlüftung
- passive Entlüftung

Bei der aktiven Entlüftung wird die Luft mittels eines künstlich hergestellten Druckunterschiedes aus den Hohlräumen gesaugt. Diese Variante erfordert weitere Funktionselemente im System wie eine Vakuumanlage. Diese Maßnahme wird meist bei duroplastischen oder elastomeren Werkstoffen eingesetzt, weil die konstruktiven Maßnahmen nicht geeignet sind. Bei der passiven Methode wird eine konstruktive Lösung verwendet.

Die Entlüftungsmaßnahmen sind von der Angussart, Angusslage und der Formteilgestalt abhängig. Meist reicht es aus dass die Trennebenen eine gewisse Rauheit aufweisen, so dass die Luft ins freie gelangen kann.

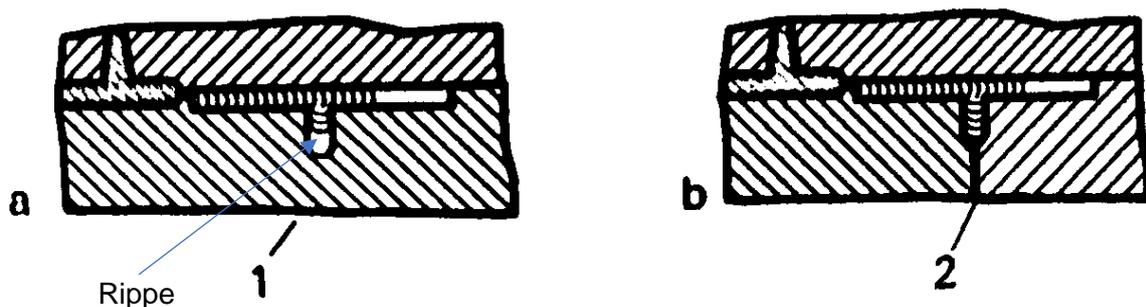


Abbildung 48: Entlüftung eines Rippenartikels [3]

In Abb. 49 ist ein Beispiel für eine passive Entlüftungsmaßnahme gegeben. Bei der linken Variante passiert die Schmelze den Anschnitt und gelangt in die Kavität. Wegen der hohen Viskosität von Polymerschmelzen wird die Rippe nicht sofort als erstes mit Schmelze befüllt. Die Schmelze legt sich über die Rippe. Dies jedoch behindert das Entweichen der Luft im Nachhinein. Wird hier wie in der Variante Rechts noch eine zusätzliche Trennfuge eingebracht, so kann die Luft durch den Spalt entweichen. Dies gelingt jedoch nur wenn die Schmelze langsam eingespritzt wird und der Spalt so klein ist das nur Luft entweichen kann und nicht die Schmelze austreten kann.

Bei hohen Einspritzgeschwindigkeiten nützen dies Maßnahmen nichts, es muss dann anders konstruktiv gelöst werden, indem zum Beispiel Kanäle ausgearbeitet werden oder spezielle Stopfen verwendet werden. Für unser Formteil kann darauf verzichtet werden. Die dichtenden Formplatten werden grobkörnig plangeschleift und zwar senkrecht zur Fließrichtung der Schmelze in der Kavität. Dies weil die Luft dann von allen Seiten aus dem Werkzeug gelangen kann.

### 10.5 Führung und Zentrierung des Werkzeuges

Das zwischen den Aufspannplatten montierte Werkzeug wird allgemein durch die Holme der Schließeinheit geführt. Die bewegliche Aufspannplatte bewegt sich in Richtung der festsitzenden Aufspannplatte, um so das Werkzeug zu schließen. Diese Führung des Werkzeuges reicht zumeist nicht aus um eine gewisse Genauigkeit beim Zusammenführen der Werkzeughälften zu ermöglichen. Deshalb ist auch eine Innere Führung und Zentrierung der beiden Werkzeughälften nötig, was mit Führungseinheiten durchgeführt wird. Führungseinheiten bestehen aus mehreren Komponenten wie Führungssäulen, Führungsbuchen und Zentrierhülsen [3].

In der nebenstehenden Abbildung ist das Zusammenwirken aller drei Komponenten dargestellt. Der Führungsbolzen gleitet beim Schließen des Werkzeuges in die Führungsbuchse. Bei mehreren Formplatten kommt auch eine Zentrierhülse zum Einsatz, um die Platten untereinander zu zentrieren. Dabei sind an am Bolzen Schmierrillen angebracht, wo Schmieröl aufgetragen werden kann. Der Kontakt zwischen Buchse und Bolzen ist eine Verschleißbeanspruchung und deshalb kommen hier Einsatzstähle zum Einsatz. Die Schmierung reduziert die Reibwirkung beim Kontakt und verlängert die Standzeit der Einzelteile. In meiner Konstruktion verwende ich eine Ausführung der Führungseinheit mit rückwärtigem Zentrierzapfen für den Bolzen und die Buchse. Zur Zentrierung verwende ich ebenfalls zwei seitlich symmetrisch angeordnete Rechteckführungen. Im Werkzeug befinden sich immer vier dieser Führungseinheiten.

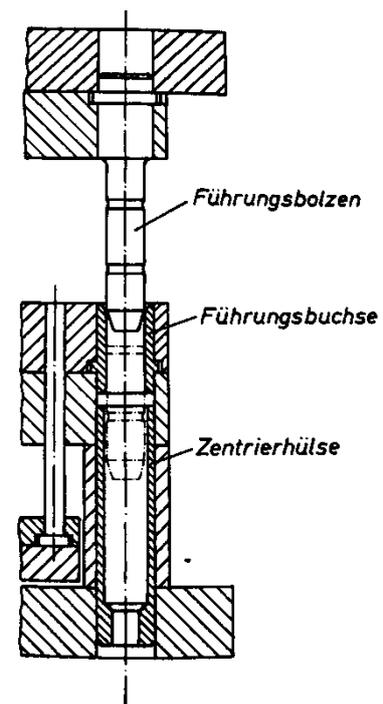


Abbildung 49: Führungseinheit [3]

Es ist immer auf eine ausreichend vorhandene Schmierung zu achten und deshalb sollte vorab immer ein Wartungsintervall nach der Zyklusanzahl geplant werden.

Damit das Werkzeug angehoben werden kann habe ich zwei Bohrungen mit einem Gewinde vorgesehen. In meiner Konstruktion verwende ich einen verschiebbaren Transportbügel. Diese Lösung ist optional und muss aufgrund des Preises nicht verwendet werden. Es können auch Ringschrauben in Kombination mit einem Seil eingesetzt werden.

### 10.6 thermische Auslegung

In der Serienproduktion von Formteilen im Spritzgießverfahren spielt die Abkühlzeit eine wichtige Rolle und ist entscheidend für eine wirtschaftliche Herstellung. Die Abkühlzeit ist die Zeit, die vergeht, vom Eintritt der Schmelze in das Werkzeug, bis das Formteil eine festgelegte Entformungsstabilität erreicht hat. Sie ist die Zeit, die den größten Anteil an der Zykluszeit einnimmt. Bei der Herstellung von einem thermoplastischen Probekörper muss das Werkzeug deshalb gekühlt werden, im Gegensatz zur Verwendung von Duroplasten oder Elastomeren, wo eine Werkzeugwärmezufuhr notwendig ist, um die Vernetzung zu starten. Durch, in das Werkzeug

## 10. Werkzeugauslegung

eingebraachte Fluidkanäle, kann dem Werkzeug Wärme entzogen werden. Bei Eintritt der Schmelze findet aufgrund der Temperaturdifferenz des Werkzeuges und der Schmelze ein Wärmeaustausch statt und deshalb wirkt das Werkzeug wie ein Wärmetauscher.

Das Werkzeug hat die Aufgabe die aufgenommene Wärme aus der Schmelze zum Abkühlsystem zu transportieren, um von da aus dem Werkzeug entnommen zu werden. Die dem Werkzeug zugeführte Energiemenge ist von der Temperaturdifferenz zwischen der Werkzeugwand und der Schmelze, dem spezifischen Wärmeinhalt des Polymers und der Entformungstemperatur des Formteils abhängig. Eine weitere Funktion des Temperiersystems ist es eine homogene Abkühlung des Formteils zu gewährleisten, um Verzugserscheinungen zu verhindern [4] [3]. Man muss die Temperaturparameter mit Bedacht wählen und als Entscheidungsgrundlage die von den Herstellern ausgegebenen Materialkennwerte und Empfehlungen verwenden. Eine zu kurze Kühlzeit kann auch Probleme verursachen, wie die Erhöhung des benötigten Druckes aufgrund der niedrigeren Schmelztemperatur oder die Verminderung der Abformgenauigkeit. Bei der Entformungstemperatur sollte darauf geachtet werden dass eine Entformungstemperatur gewählt wird, bei der bei der Entformung des Formteils keine bleibenden Verformungen durch die Auswerferstifte entstehen.

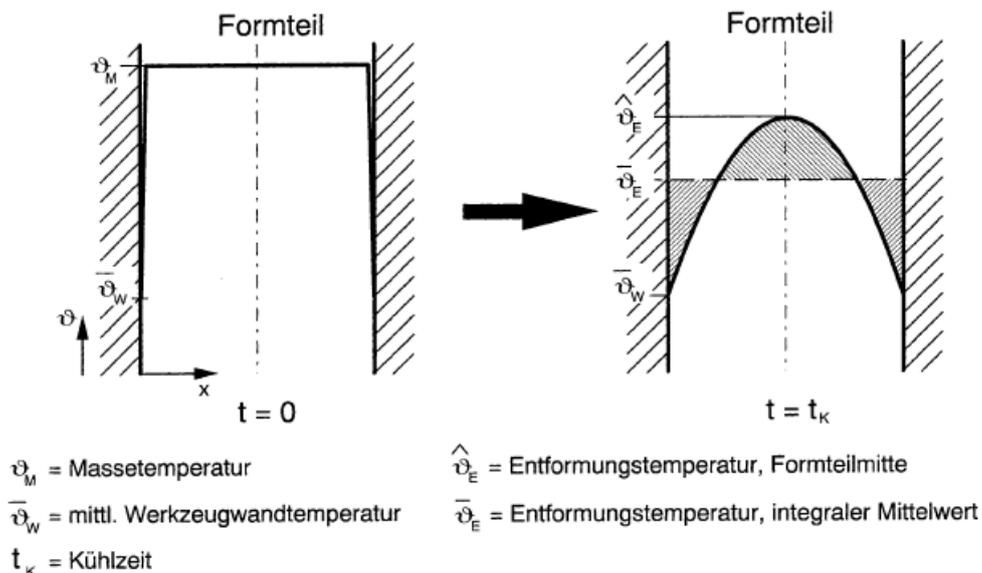


Abbildung 50: Temperaturprofil im Formteil [4]

Aus der obigen Abb.51 ist der Temperaturverlauf über den Querschnitt zu Zwei Zeiten zu erkennen. Die einströmende Masse hat zu Beginn an der Werkzeugwand die Temperatur des Werkzeuges und im restlichen Bereich die Massestemperatur. Bei der Entformung ergibt sich ein parabolischer Verlauf. Die Wärme wird über die Dicke in einer Richtung abgeführt. Nimmt man an das die Werkzeugtemperatur sich nicht ändert und es sich somit um einen quasi-stationären isothermen Fall handelt, so kann man die eindimensionale Berechnung der Leitung der Wärme durch das Werkzeug nach Fourier verwenden und die Kühlzeit ermitteln:

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \cdot \ln \left( \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\vartheta_M - \vartheta_W}{\hat{\vartheta}_E - \vartheta_W} \right) \quad (10.1)$$

Diese Gleichung gilt nur für plattenförmige Bauteile.

Material	Massetemperatur °C	Wandtemperatur °C	Entformungstemperatur °C	Mittlere Dichte g/cm <sup>3</sup>
ABS	200 - 700	50 – 80	60 – 100	1,03
HDPE	200 - 300	40 – 60	60 – 110	0,82
LDPE	170 - 245	20 – 60	50 – 90	0,79
PA 6	235 - 275	60 – 95	70 – 110	1,05
PA 66	260 - 300	60 – 90	80 – 140	1,05
PBTP	230 - 270	30 – 90	80 – 140	1,05
PC	270 - 320	85 – 120	90 – 140	1,14
PMMA	180 - 260	10 – 80	70 – 110	1,14
POM	190 - 230	40 – 120	90 – 150	1,3
PP	200 - 300	20 – 100	60 – 100	0,83
PS	160 - 280	10 – 80	60 – 100	1,01
PVC hart	150 - 210	20 – 70	60 – 100	1,35
PVC weich	120 - 190	20 – 55	60 – 100	1,23
SAN	200 - 270	40 - 80	60 - 100	1,05

Tabelle 5: Anhaltswerte für Materialien [3]

Die Tab.4 ist nur zur Überschaubarkeit zu verwenden. Man muss sich immer an die vom Hersteller ausgegebenen Informationen richten. Bei der thermodynamischen Betrachtung müssen alle Wärmeströme bezüglich des Werkzeuges betrachtet werden. Geht man von einer konstanten Werkzeugtemperatur aus, dann muss die Summe alle wirkenden Wärmeströme im System Werkzeug Null sein:

$$\sum \dot{Q}_i = 0 \quad (10.2)$$

Alle dem Werkzeug zugeführten Wärmeströme werden positiv gezählt und alle aus dem Werkzeug ausgehenden Wärmeströme negativ.

Die Systemgrenze stellt die Außenkontur des Werkzeuges dar. Daraus ergibt sich die Wärmestrombilanz für einen gesamten Zyklus:

$$\dot{Q}_{KS} + \dot{Q}_U + \dot{Q}_{ZUS} + \dot{Q}_{TM} = 0 \quad (10.3)$$

$$\dot{Q}_{KS} = \Delta h * \frac{\rho_{KS} * V}{t_Z} = \Delta h * \frac{\rho_{KS} * A_{FT} * S}{t_Z} \quad (10.4)$$

Dabei setzt sich der Wärmestrom aus der Umgebung aus verschiedenen Anteilen zusammen:

$$\dot{Q}_{KO} + \dot{Q}_{Str} + \dot{Q}_{Lei} = \dot{Q}_U \quad (10.5)$$

$$\dot{Q}_{KO} = A_s * \alpha_L * (\vartheta_{WA} - \vartheta_U) \quad (10.6)$$

$$\dot{Q}_{KO} = A_s * \epsilon * C_s * \left[ \left( \frac{T_{WA}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_U}{100} \right)^4 \right] \quad (10.7)$$

$$\dot{Q}_{Lei} = A_A * \beta * (\vartheta_{WA} - \vartheta_U) \quad (10.8)$$

mit folgenden Konstanten:

$$\alpha_L \sim 8 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$C_s = 5,77 \frac{W}{m^2 * K^4}$$

$$\epsilon = 0,01$$

$$\beta \sim 100 \frac{W}{m^2 * K}$$

Die unbekannte Werkzeugaußentemperatur kann entweder iterativ ermittelt werden oder es dürfen Annahmen getroffen werden:

- $\vartheta_{WA} = \vartheta_U$  → kein Wärmestrom zwischen Werkzeug und Umgebung
- $\vartheta_{WA} = \vartheta_{TM}$  → Außentemperatur entspricht der Temperiermitteltemperatur
- $\vartheta_{WA} = \vartheta_{TK}$  → entspricht der Temperiermittelkanaltemperatur

Bei der Wahl des iterativen Weges gilt:

$$\vartheta_{WA} = \vartheta_{TK} + \frac{\dot{Q}_U * \bar{l}}{(A_A + A_s) * \lambda_w} \quad (10.9)$$

Da das Werkzeug für den Vielzahlkörper unbeheizt ist und es klein im Vergleich zu anderen Werkzeugen ist, kann man die Werkzeugaußenwandtemperatur gleich setzen mit der Umgebungstemperatur:

$$\vartheta_{WA} = \vartheta_U$$

Die Zykluszeit setzt sich aus der Kühlzeit und der Nebenzeit zusammen. Die Nebenzeit ist die Zeit die für das öffnen, Schließen und Auswerfen der Formteile notwendig ist.

Aus 10.4 ergibt sich die Wärmestromdichte des Formteils:

$$\dot{q} = \Delta h * \frac{\rho_{KS} * S}{t_Z} \quad (10.10)$$

$$C_K = \frac{t_K}{s^2} \quad (10.11)$$

Zunächst soll die Nebenzeit nicht beachtet werden. Diese Vorgehensweise vereinfacht die Gleichung 10.10 zu:

$$\dot{q} = \Delta h * \frac{\rho_{KS}}{s * c_K} \quad (10.12)$$

Aus der Gleichung 10.12 zeigt sich, dass zur Formteildicke umgekehrt proportionales Verhalten der Wärmestromdichte. Das heißt dass die Wärmestromdichte bei kleiner werdender Wanddicke größer wird. Dies ist mit der gewünschten konstanten Wandtemperatur zu erklären.

Betrachtet man nun den gesamten Zyklus, so wird man feststellen das sich der Wärmestrom verringert hat, denn wenn das Werkzeug zum Auswerfen geöffnet ist, wird es trotzdem durch das Kühlmedium gekühlt und somit Wärme kontinuierlich entzogen. In bestimmten Datenblättern ist der Wärmestrom einer Materialzusammensetzung in Abhängigkeit von der Bauteildicke und der Nebenzeit dargestellt, aus denen man den tatsächlich idealisierten Wärmestrom ermitteln kann [3].

Aus dieser Wärmestromdichte, für ein Formteil einer bestimmten maximalen Wanddicke, kann nun der Temperiermitteldurchsatz errechnet werden. Aus dieser spezifischen Größe kann der Wärmestrom berechnet werden, der während eines ganzen Zyklusses vom Temperiermittel abgeführt werden muss. Nimmt man die spezifische Wärmemenge aus einem Diagramm, so muss man es mit der projizierten Formteilfläche multiplizieren, um die Wärmestrommenge zu errechnen. Das Temperaturmedium selbst, was meistens Wasser ist, darf keine Temperaturerhöhung über einen zulässigen Wert annehmen. Diese Voraussetzung ist notwendig um den richtigen Durchsatz zu ermitteln. Als Bedingung gilt hier eine maximale Temperaturdifferenz des Temperiermittels von 3°C bis 5°C [3].

Der minimal erforderliche Temperiermitteldurchsatz ergibt sich aus:

$$\dot{V}_{TM} \geq \frac{\dot{q} * A_{FT}}{\rho_{TM} * c_{TM} * \Delta \vartheta_{TM}} \quad (10.13)$$

Der Volumendurchsatz kann, bei bekannter Kanalgeometrie und Druckverlusten, durch Druckregulierung an dem Temperiergerät eingestellt werden. Ist dies nicht möglich und ist ein fester Druck durch das Gerät vorgegeben, so muss der gewünschte Volumendurchsatz durch Variation des Kanaldurchmessers sichergestellt werden [3]. Ich habe mich bei der Konstruktion des Werkzeuges auf vier Kanäle festgelegt, welche durch die beiden formgebenden Formplatten gehen. Da die Druckverluste auch in den Leitungen auftreten und diese noch unbekannt sind, kann man den vom Temperiersystem verfügbaren Druck bei der weiteren Berechnung verringern, um diese Druckverluste auch zu berücksichtigen. Die Verluste in den Kanälen des Werkzeuges summieren sich auf:

$$\Delta p_{TK} = \frac{\rho_{TM}}{2} * v * \left( \lambda_{TK} * \frac{l}{d_{TK}} \right) * 4 \quad (10.14)$$

## 10. Werkzeugauslegung

---

Um den Kanaldurchmesser zu errechnen muss die Gleichung 10.14 nach  $d_{TK}$  aufgelöst werden. Um auch die Leitungsverluste und sonstige, durch die Rauheit der Kanäle, zu berücksichtigen, sollte auch eine Annahme zu den weiteren Verlusten getroffen werden. Ich habe einen Aufschlag von 10% verwendet:

$$\Delta p = \Delta p_{TK} + 0,1 * \Delta p_{TK} \quad (10.15)$$

Daraus ergibt sich der Mindestkanaldurchmesser der Temperierkanäle zu:

$$d_{TK} = \sqrt[4]{\frac{\rho_{TM}}{2 * \Delta p} * \frac{16 * \dot{V}_{TM}^2}{\pi^2} * \left( \lambda_{TK} * \frac{l}{d_{TK}} \right) * 4} \quad (10.16)$$

mit:

$$Re = \frac{4 * \dot{V}_{TM}}{\pi * v * d_{TK}} \quad (10.17)$$

$$\lambda_{TK} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (10.18)$$

Durch einsetzen von 10.17 und 10.18 in 10.16 mit  $v = \frac{\dot{V}_{TM}}{\pi * \frac{d_{TK}^2}{4}}$  folgt:

$$d_{TK} = \sqrt[13]{\frac{\rho_{TM}^4}{\Delta p^4} * \frac{16 * \dot{V}_{TM}^4 * 0,3164^4 * l^4 * 3}{\pi^4}} \quad (10.19)$$

Erwünscht ist immer eine turbulente Strömung in den Kanälen und keine laminare aufgrund des besseren Wärmeüberganges. Mit dieser Berücksichtigung kann der maximale Durchmesser der Strömungskanäle im Werkzeug berechnet werden:

$$d_{TK} < \frac{4 * \dot{V}_{TM}}{\pi * 2300 * v_{visk.}} \quad (10.20)$$

## 10. Werkzeugauslegung

Für das Temperiermittel Wasser kann unter Beachtung der Temperatur und des vorherrschenden Druckes die kinematische Viskosität aus der Tab.5 ausgelesen werden. Bei zwischenliegenden Werten zu den angegebenen kann eine lineare Interpolation vorgenommen werden.

**Kinematische Viskosität  $\nu$  von Wasser in  $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  in Abhängigkeit von Druck und Temperatur nach [1]<sup>1</sup>**

Druck bar	Temperatur in °C									
	0	25	50	75	100	150	200	250	300	350
1	1,793	0,8931	0,5537	0,3877	20,81	27,46	35,14	43,83	53,54	64,22
5	1,791	0,8928	0,5537	0,3877	0,2942	0,1991	6,819	8,604	10,58	12,74
10	1,790	0,8925	0,5536	0,3877	0,2942	0,1991	3,272	4,198	5,206	6,302
20	1,786	0,8919	0,5536	0,3878	0,2944	0,1993	0,1555	1,989	2,518	3,083
30	1,783	0,8912	0,5535	0,3879	0,2945	0,1994	0,1556	1,247	1,620	2,010
40	1,779	0,8906	0,5534	0,3880	0,2946	0,1996	0,1558	0,1329	1,169	1,472
50	1,776	0,8900	0,5534	0,3881	0,2948	0,1997	0,1559	0,1330	0,8969	1,149
60	1,773	0,8894	0,5533	0,3882	0,2949	0,1999	0,1561	0,1332	0,7132	0,9331
70	1,770	0,8888	0,5533	0,3883	0,2951	0,2001	0,1562	0,1334	0,5797	0,7783
80	1,767	0,8882	0,5532	0,3884	0,2952	0,2002	0,1564	0,1335	0,4766	0,6616
90	1,763	0,8876	0,5532	0,3885	0,2953	0,2004	0,1565	0,1337	0,1207	0,5702
100	1,760	0,8871	0,5531	0,3886	0,2955	0,2005	0,1567	0,1338	0,1209	0,4965

Tabelle 6: kinematische Viskosität von Wasser [21]

Anhand des Verhältnisses von  $\frac{A_{TK}}{A_{FT}}$ , kann durch die Diagramme in [3] die Temperierkanalanordnung und der Abstand Werkzeugwand-Temperierkanäle ermittelt werden. Es können für die Ermittlung der Kanaldurchmesser auch Diagramme herangezogen werden, sofern diese vorhanden sind. Die thermisch genaue Auslegung ist natürlich für einen automatisierten Prozess geeignet, wo es um die Stückzahlen in einer bestimmten Zeiteinheit geht. Bei der Massenproduktion von Formteilen geht es abgesehen von der Qualität der Spritzlinge auch um die Herstellungszeit. Die thermische Auslegung erlaubt es den gesamten Zyklus auf eine minimal notwendige Zeitspanne zu reduzieren. Dies ist für die Aufgabe dieser Thesis unerheblich. Man kann den Kanaldurchmesser der einzelnen Temperierkanäle zu Beginn auf ein Minimum setzen und durch Erprobung den Durchmesser soweit vergrößern, bis das gewünschte Ergebnis auftritt. Ich habe mich für einen Temperiermittelkanaldurchmesser von 8 Millimetern entschieden. Ich habe auch eine Umlenkeinheit verwendet, um den Wasserstrom ohne Schlauchverbindung im Werkzeug umzuleiten. Desweiteren kann durch eine zweidimensionale Berechnung mittels Computereinsatz auch ein optimaler Durchmesser, wie auch die Abstände zwischen den Kanälen und der Entfernung von der Kavität ermittelt werden. Dies ist wiederum ebenfalls nicht für die Ausarbeitung dieser Thesis nicht notwendig. Bei einem Temperiergerät mit regelbarem Druck braucht man nur den nötigen Volumenstrom zu errechnen und die nötige Anordnung der Kanäle zu ermitteln. Die Anzahl und die Anordnung sind der Grund für eine homogene Abkühlung.

### 10.7 Schmelzstromsteuerelement

Wie in der Aufgabenstellung beschrieben, soll ein Kontrollfluss der Schmelze zur Kavität realisiert werden. Entweder soll die Schmelze nur in einer Richtung zur Kavität fließen oder durch zwei Richtungen. Vom Angusskegel führen Zwei Verteiler zu den Anschnitten, jeweils an der Schulter des Körpers. Die konstruktive Lösung sollte eine Ventilfunktion erfüllen. Folgend sind Zwei Konzepte aufgezeigt.

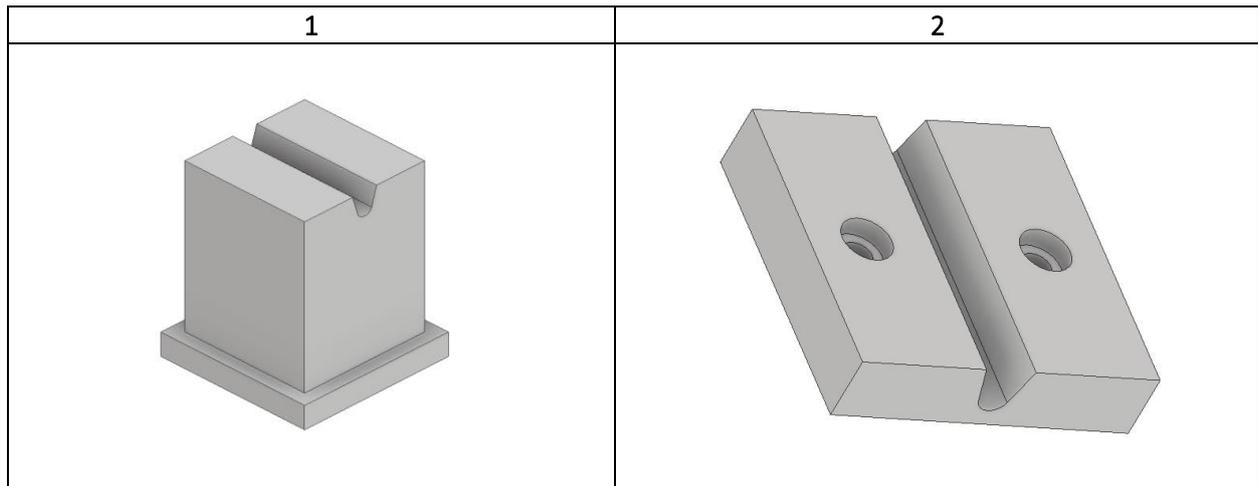


Abbildung 51: Konzept Schmelzstromkontrollelement

Das erste Konzept ist ein Einsatz welches spanend hergestellt werden kann. Es kann in die Platte mit der Kavität eingeführt werden und durch die Hinterschneidung und der darunterliegenden Formplatte kann es in seiner Position fixiert werden. Die Geometrie ist quadratisch und der dargestellte Verteilerkanal im Einsatz kann parallel zum Verteilerkanal, der zum Anschnitt führt orientiert werden oder senkrecht dazu. Durch Parallellegung wird der Schmelzfluss zu beiden Anschnitten ermöglicht und durch eine senkrechte Orientierung wird der Schmelzfluss nur zu einem Anschnitt geführt. Vorteil dieses Konzeptes ist die einfache Herstellung und der unkomplizierte Einbau. Nachteilig ist jedoch der Orientierungswechsel der Stellung des Verteilerkanals. Dazu muss das Werkzeug teilweise ausgebaut werden. Beim zweiten Konzept wird die gleiche Funktion ebenfalls erfüllt, nur das hier eine Schraubenverbindung zur Fixierung dient. Dazu sind in der Formplatte mit dem Formnest Vier Bohrungen angebracht. Zwei von ihnen sind immer symmetrisch zueinander. Zwei Bohrungen sind parallel zum Verteilerkanal angebracht und zwei senkrecht dazu. Je nach Einbaurichtung kann der Schmelzfluss gesteuert werden. Vorteilhaft sind hier ebenfalls die einfache Herstellung und der Wegfall der Notwendigkeit, bei einem Orientierungswechsel ein Teil des Werkzeuges ausbauen zu müssen. Ich habe mich deshalb für das zweite Konzept entschieden, da dies vom Aufwand her geringer ist. Der Einsatz erfordert enge Toleranzen um mögliche Spalte zu minimieren. Zudem muss der Kanal in sehr engen Grenzen zum Kanal in der Formplatte verlaufen. Hierfür verwende ich einen Werkzeugstahl mit der Bezeichnung 1.2311 (40CrMnMoS 8 6).

### 10.8 Simulation des Füllvorganges

Ich habe für die Konstruktion des Werkzeuges das CAD-System von Autodesk Inventor 2017 verwendet und für die Simulation des Füllprozesses die Simulationssoftware Autodesk Moldflow 2018. Mit Moldflow lässt sich der Füllvorgang bei vorgegebenen Spritzgießparametern ermitteln oder durch vom Rechner gestellte optimierte Spritzgießparameter. Die Software weist eine große Palette an Werkstoffen von bestimmten Herstellern auf, dessen Materialdaten ebenfalls im Programm integriert worden sind. Da dieses Werkzeug nicht nur für eine bestimmte Materialsorte vorgesehen ist, habe ich mich aus Simulationszwecken auf den Werkstoff Polyamid 6 beschränkt. Nach Erstellung der Kavität, der Anschnitte und den Verteilern werden noch Prozessspezifische wie auch Maschinenabhängige Daten benötigt. Das Programm errechnet automatisch die optimierte Zykluszeit. Es handelt sich bei der Berechnung um eine numerische Simulation die eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse wiedergeben soll. Es erlaubt frühzeitig Fehler in der Formgestaltung, der Formteilung oder des Angussystems festzustellen. Um meine Konstruktion zu überprüfen, habe ich zwei Modelle angefertigt. Das Erste Modell füllt die Kavität nur durch einen Anschnitt und das zweite Modell durch die zwei Anschnitte an jeweils einer Schulter des Vielzweckprobekörpers.

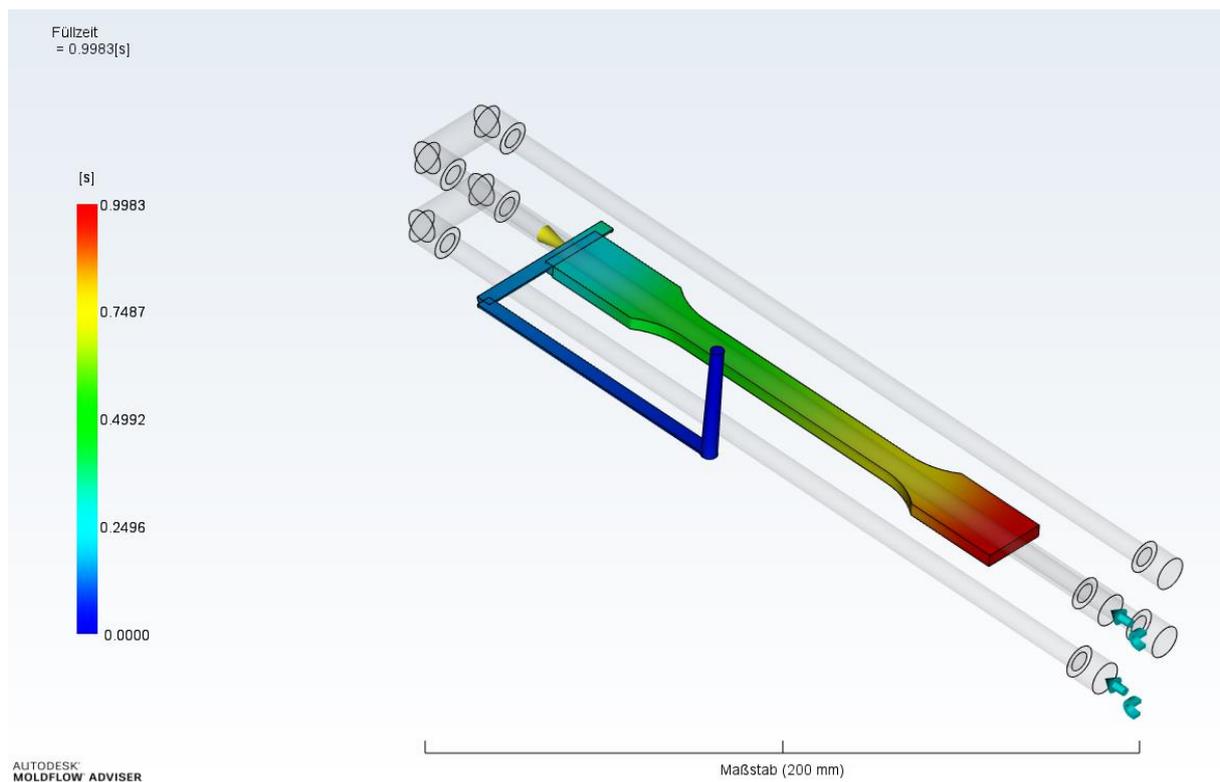


Abbildung 52: Füllzeit der Kavität mit einem Anschnitt

Das Temperiersystem wurde ebenfalls in der Simulation berücksichtigt, um die Wärmeverteilung und die Homogenität der Abkühlung zu ermitteln.

Es wurden keine Lufteinschlüsse gefunden.

## 10. Werkzeugauslegung

Tatsächliche Füllzeit	1.00 (s)
Tatsächlicher Einspritzdruck	89.698 (MPa)
Bezugsfläche f. Zuhaltekraft	28.1684 (cm <sup>2</sup> )
Maximale Zuhaltekraft während Füllphase	3.108 (Tonne)
Geschwindigkeits-/Druckumschaltung bei % Volumen	99.19 (%)
Geschwindigkeits-/Druckumschaltzeitpunkt bei Zeit	0.99 (s)
Geschätzte Zykluszeit	16.10 (s)
Gesamtformteilmgewicht	9.535 (g)
Füllvolumen	11.6147 (cm <sup>3</sup> )
Volumen der Kavität	9.6055 (cm <sup>3</sup> )
Volumen des Angussystems	2.0092 (cm <sup>3</sup> )

Tabelle 7: Füllanalyse der Kavität mit einem Anschnitt

Max. Temperatur, Formteil	123.7 (C)
Min. Temperatur, Formteil	30.1 (C)
Mittlere Temperatur, Formteil	50.4 (C)
Werkzeugwandaußentemperatur	24.5 (C)
Prozent erstarrt (bei Zyklusende)	98.57 (%)

Tabelle 8: Temperieranalyse der Kavität mit einem Anschnitt

Ich habe bei der Analyse in beiden Simulationen eine Werkzeugöffnungszeit von Vier Sekunden miteinkalkuliert und einen Wasserdurchfluss von 35l/min vorgegeben, bei einer Wassertemperatur von 23°C. Die Kühlkanaldurchmesser betragen wie in der Konstruktion 8 Millimeter. Aus der Tab.7 ist die Werkzeugaußentemperatur zu entnehmen. Diese kann als Umgebungstemperatur angenommen werden. Deshalb ist die Annahme das kein Wärmestrom aus dem Werkzeug an die Umgebung stattfindet korrekt. Ebenfalls erkennt man die notwendige Kraft die zur Schließung des Werkzeuges von der Maschine aufgebracht werden muss (siehe Anhang ).

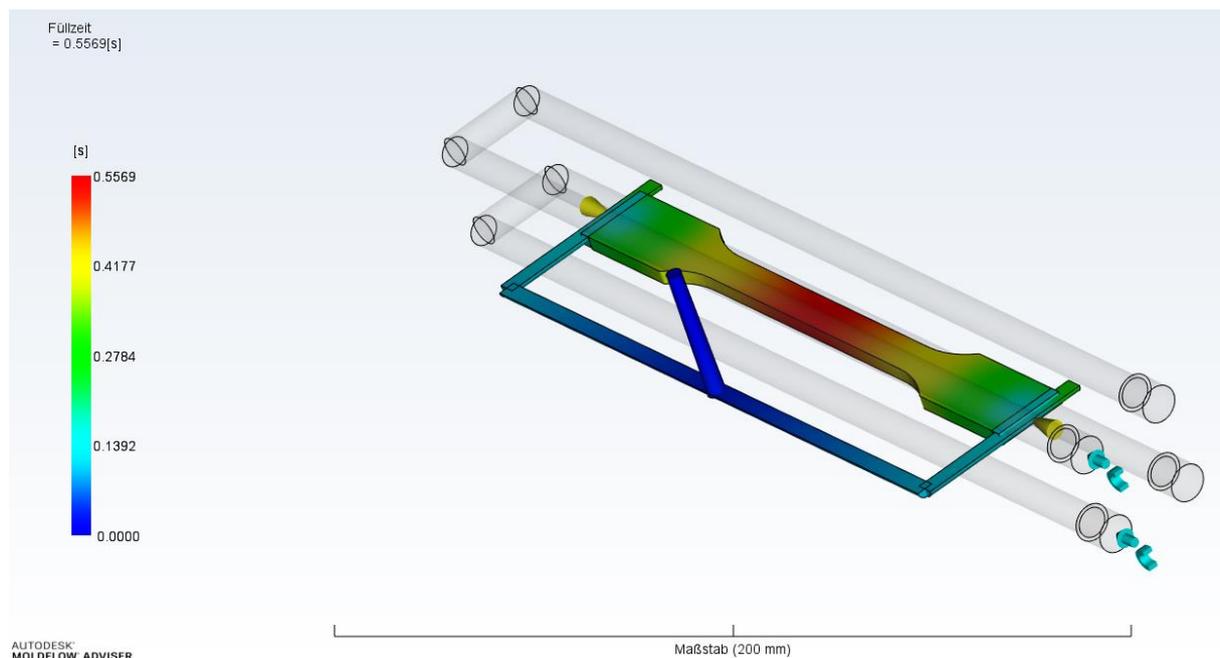


Abbildung 53: Füllzeit der Kavität mit zwei Anschnitten

## 10. Werkzeugauslegung

Zum Unterschied zur Realisierung durch einen Anschnitt sieht man bei dem Angusssystem mit zwei Anschnitten, dass sich die Füllzeit nahezu halbiert hat, wie es auch zu erwarten war.

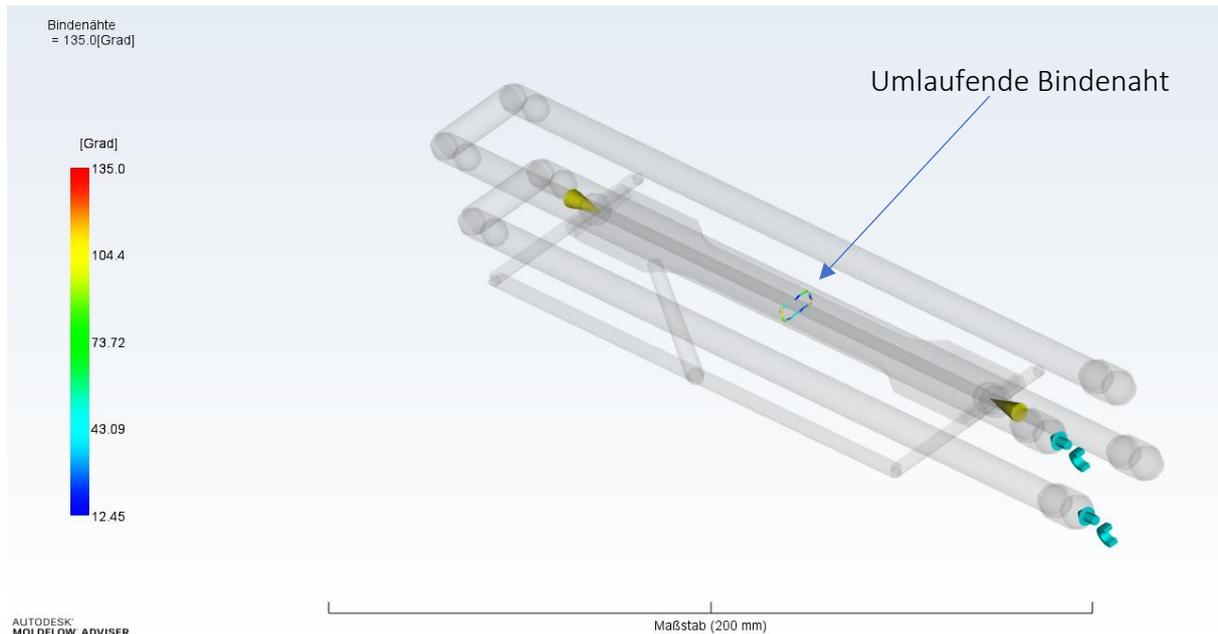


Abbildung 54: Bindahtdarstellung mit zwei Anschnitten

In der Abb.54 ist die Lage der Bindaht dargestellt. Dies war auch zu erwarten, da wir hier zwei Schmelzströme in der Kavität und die im mittigen Bereich aufeinandertreffen. Dabei ist die Temperatur so abgesunken, dass sich die Schmelzströme nicht vollständig durchdringen und es zu einer sichtbaren Verschweißung kommt.

Tatsächliche Füllzeit	0.56 (s)
Tatsächlicher Einspritzdruck	82.854 (MPa)
Bezugsfläche f. Zuhaltekraft	32.3102 (cm <sup>2</sup> )
Maximale Zuhaltekraft während Füllphase	3.487 (Tonne)
Geschwindigkeits-/Druckumschaltung bei % Volumen	99.25 (%)
Geschwindigkeits-/Druckumschaltpunkt bei Zeit	0.55 (s)
Geschätzte Zykluszeit	16.10 (s)
Gesamtformteilmgewicht	9.490 (g)
Füllvolumen	13.0210 (cm <sup>3</sup> )
Volumen der Kavität	9.6055 (cm <sup>3</sup> )
Volumen des Angusssystem	3.4155 (cm <sup>3</sup> )

Tabelle 9: Füllanalyse der Kavität mit zwei Anschnitten

Max. Temperatur, Formteil	123.8 (C)
Min. Temperatur, Formteil	32.9 (C)
Mittlere Temperatur, Formteil	50.8 (C)
Werkzeugwandaußentemperatur	24.8 (C)
Prozent erstarrt (bei Zyklusende)	98.45 (%)

Tabelle 10: Temperieranalyse der Kavität mit zwei Anschnitten

### 11. Zusammenfassung

Werkzeuge bestehen aus vielen Einzelteilen, die Zusammen und aufeinander abgestimmt das Werkzeug bilden. Werkzeuge für das Fertigungsverfahren Spritzgießen wird es immer geben und es ist Ziel der Ingenieure die Prozessparameter so einzustellen, dass die bestmögliche Qualität zum günstigsten Preis erreicht wird. In dieser Arbeit wurden die wesentlichen Funktionskomplexe im Werkzeug aufgezeigt und auch für den Vielweckkörper vom Typ A1 verwendet. All diese Komponenten haben eine wichtige Funktion im Werkzeug zu erfüllen. Es gibt eine Fülle an Werkzeugen die hoch komplex sind und nicht nur aus einer Kavität bestehen. Es gibt sehr kleine Werkzeuge und sehr große mit einem hohen Gewicht. In dieser Thesis wurde ein Werkzeug für ein Vielweckkörper konstruiert, mithilfe von Normalien der Firma ARBURG GmbH + Co KG. Um den Werkzeugbau zu verstehen, muss erst ein Verständnis für das Fertigungsverfahren des Spritzgießens aufgebaut werden. Deshalb wurde eingangs auch der gesamte Prozess in Prozessschritte zerlegt und schrittweise erläutert. Desweiteren müssen auch die Grundlagen des Verhaltens polymerer Kunststoffe erarbeitet werden, um zu verstehen wie sich die Prozessparameter auf die spätere Bauteilqualität auswirken. Es gibt im Werkzeugbau eine Unterscheidung zwischen den Typen der eingesetzten Kunststoffe in einem Urformverfahren. Für jeden Typen, sei es ein Thermoplast, ein Duroplast oder ein Elastomer, gibt es spezielle Vorgehensweisen bei der Werkzeugkonstruktion. Diese notwendige Unterscheidung wurde durch den Aufbau von Kunststoffen erläutert.

Ein herzustellendes Formteil muss auch gewissen Prozessrelevanten Anforderungen genügen und auch fertigungsgerecht, in diesem Fall, Spritzgießgerecht gestaltet worden sein, um in einem solchen Verfahren mit guter Qualität hergestellt werden zu können. Deshalb wurden auch einige Konstruktionsregeln bezüglich des Spritzgießgerechten Konstruierens gezeigt. Es gibt weit mehr Regeln als hier beschrieben worden ist, jedoch habe ich nur Regeln aufgezeigt, die durch den Einsatz eines Vielweckkörpers angewandt werden können.

Aus der DIN EN ISO 20753 konnten alle Formteilm Informationen entnommen werden. Die Grundlage für diese Thesis stellt die DIN EN ISO 294-1. Diese Norm fungiert als Informationsquelle und Richtlinie zur Konstruktion. Aus ihr habe ich alle an das Werkzeug gestellten Anforderungen entnommen. Im weiteren Verlauf wurden die einzelnen Funktionskomplexe die zum Einsatz kamen vorgestellt und deren Funktion erklärt. Die Verwendung von Normalien im Werkzeugbau hat sich seit Jahrzehnten etabliert und verhilft einem schneller und effizienter zu einem Ergebnis zu kommen. Die Normalienhersteller bieten alle für den Werkzeugbau nötigen Komponenten. Der Konstrukteur muss lediglich seine volle Konzentration der formgebenden Elemente widmen.

Die wichtigen Schritte zu Beginn einer Konstruktion eines Werkzeuges ist die Auswahl des Entformungssystems und des Angussystems. Diese sind an die Formteilgeometrie gebunden.

Um meine Konstruktion bezüglich der thermischen Verhältnisse zu überprüfen, habe ich die Simulationssoftware Autodesk MOLDFLOW 2018 verwendet. Diese Software erlaubt es den gesamten Zyklus eines Spritzgießvorganges zu simulieren und daraus Rückschlüsse auf das thermische Verhalten zu ziehen. Anhand dieser Simulationen wollte ich erfahren, ob sich Fehler eingeschlichen haben und es Lufteinschlüsse oder Bindenähte gibt.

## Literaturverzeichnis

- [1] „<http://www.kunststoffforum.de>,” [Online].
- [2] C. Hopmann, W. Michaeli, H. Greif und F. Ehrig, Technologie des Spritzgießens, 4., aktualisierte Auflage Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2017, p. 151.
- [3] G. Menges, W. Michaeli und P. Mohren, Spritzgießwerkzeuge, 6 Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2007, p. .
- [4] F. Johannaber und W. Michaeli, Handbuch Spritzgießen, 2. Auflage Hrsg., München, Bayern: Carl Hanser Verlag, 2004, p. 1275.
- [5] „Maschinenbau wissen,” [Online]. Available: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/387-kunststoffverarbeitung>.
- [6] D.-C. E. Moeller, Handbuch Konstruktionswerkstoffe, 2., überarbeitete Auflage Hrsg., München: Carl Haser Verlag München Wien, 2014.
- [7] P. D. F. Ohlendorf, „Werkstoffprüfung - Teil Kunststoffe,” Hamburg, 2015.
- [8] C. Fritsche, H. Fritsche, J. Kolbinger, K.-H. Küspert, G. Lindenblatt, D. Morgner, T. Paus, A. Schmidt und F. Schwarze, Kunststofftechnik, 4., verbesserte Auflage Hrsg., Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel, 2014.
- [9] S. Stitz und W. Keller, Spritzgießtechnik, 2. Auflage Hrsg., München, Bayern: Carl Hanser Verlag, 2004, p. 461.
- [10] C. Jaroschek, Spritzgießen für Praktiker, 2. Auflage Hrsg., München, Bayern: Carl Hanser Verlag München, 2008.
- [11] C. Hopmann und W. Michaeli, Einführung in die Kunststoffverarbeitung, Bde. %1 von %27., aktualisierte Auflage, München, Bayern: Carl Hanser Verlag, 2015, p. 310.
- [12] T. Kies, 10 Grundregeln zur Konstruktion von Kunststoffprodukten, München: Carl Hanser Verlag, 2014, p. 317.
- [13] H. Fritsche, C. Fritsche, W. Gradl, J. Kolbinger, K.-H. Küspert, G. Lindenblatt, D. Morgner, T. Paus, A. Schmidt und F. Schwarze, Fachkunde Kunststofftechnik, 5., erweiterte Auflage Hrsg., Haan-Gruiten: VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL, 2016, p. 672.
- [14] „European Patent Register,” [Online]. Available: <https://register.epo.org>.
- [15] „Kunststoffreport,” [Online]. Available: <http://kunststoffreport.de>.
- [16] P. Eyer, „Polymer Engineering,” Karlsruhe, 2014.
- [17] „[kunststoff.bearx](http://kunststoff.bearx.de),” [Online]. Available: <http://kunststoff.bearx.de>.
- [18] D. N. (. E. I. 20753), „DIN EN ISO 20753,” 2014.
- [19] Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung, [Online]. Available: [https://www.iet.hsr.ch/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/KT1\\_Kap8\\_Spritzgiessen\\_Teil2.pdf](https://www.iet.hsr.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/KT1_Kap8_Spritzgiessen_Teil2.pdf).

[20] D.-N. (. E. I. 294-1), „DIN EN ISO 294-1,“ 2017.

[21] Universität Magdeburg, „<http://www.uni-magdeburg.de>,“ [Online]. Available: <http://www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Arbeitsheft/IV.pdf>.

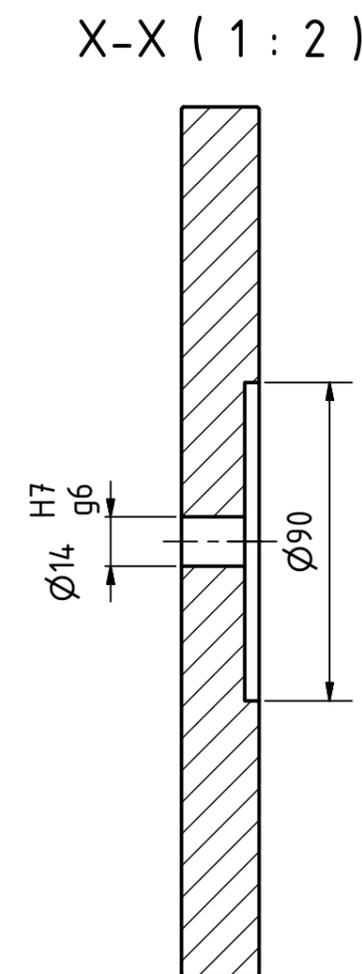
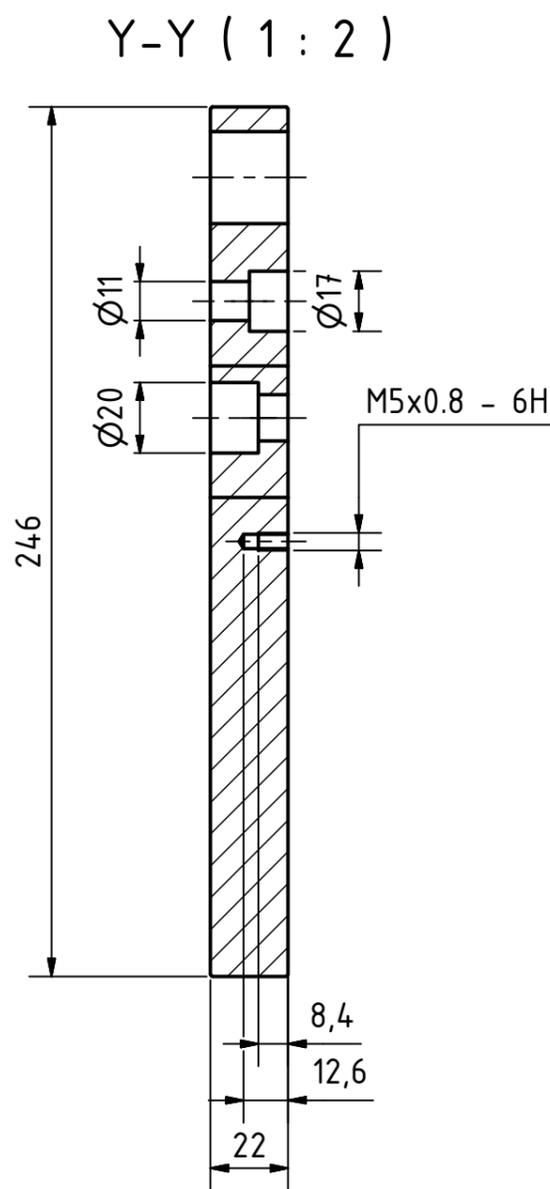
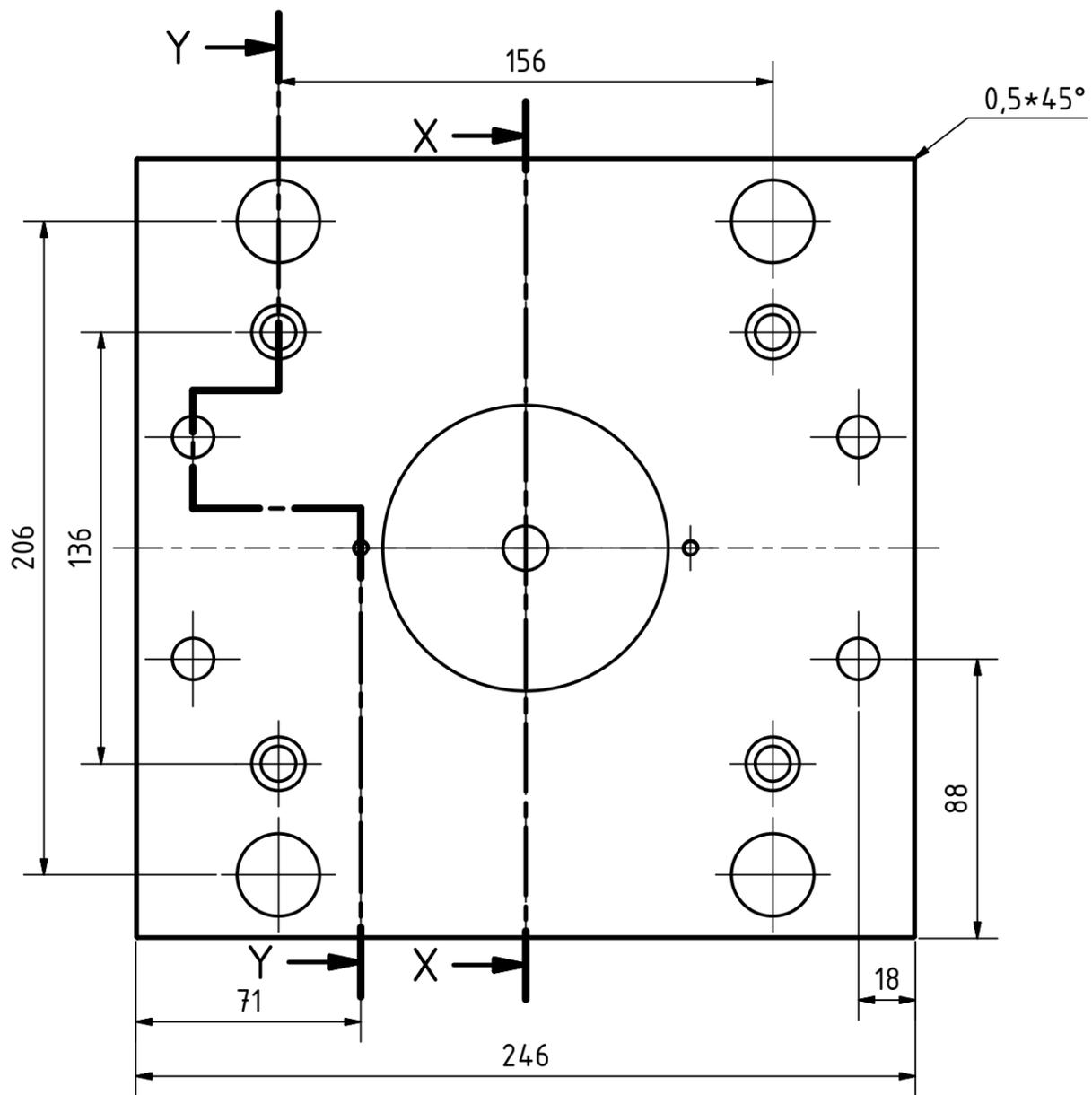
## Anhang

<b>Teileliste</b>			
<i>Objekt</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Norm/Kennung</i>
1	1	Aufspannplatte F10- Auswerferseite	F10
2	1	Aufspannplatte F10- Düsenseite	F10
3	1	Auswerfer Grundplatte F85	F85
4	1	Auswerferhalteplatte F80	F80
5	1	Formplatte F50-Düsenseite	F50
6	1	Formplatte mit Kavität F50	F50
7	1	Schmelzstromkontrollelement	None
8	1	Zwischenplatte F60	F60
9	2	Zentrierflansch mit Ansatz und Bohrung konisch, Schraubenbohrungen	E1362 125/90/26x12
10	1	Angussdüse 1° mit Radius 40	E 1610/12 x 27/3
11	2	Auswerferstifte gehärtet	E 1710/6 x 100
12	1	Gewindebolzen für Auswerferpaket	E 1514/ 8/28
13	1	Führungsbolzen für Ausstoßerführung	E 1050/ 8/14 x 80
14	4	Führungssäule mit Zentrierbund	E 1000/ 20- 36/75
15	4	Schlauchtülle	E 2040/ 9/10
16	8	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M12 x 30
17	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M5 x 8
18	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M10 x 30
19	4	Führungsbuchse für Ausstoßerführung	E 1160/26 x 100
20	4	Führungsbuchse mit Zentrierbund	E 1100/20- 22

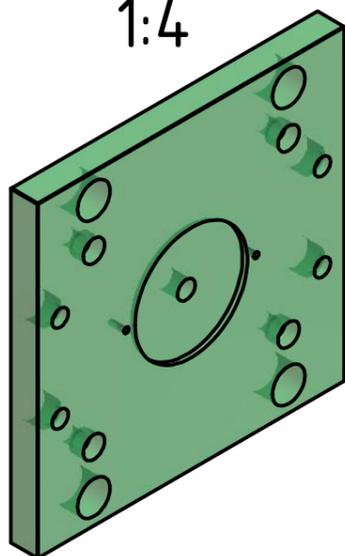
21	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M6 x 16
22	2	Umlenkeinheit	E 2141/ 8/28
23	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M8 x 12
24	1	Transportbügel verstellbar	E1930
25	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M5 x 16
26	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M5 x 25
27	4	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M10 x 100
28	4	Anschlagplättchen für Auswerferpaket	E 1500/20
29	2	Endzentrierung flach	E 1304/40
30	2	Zylinderkopfschraube mit Innensechskant	ISO 4762 M5 x 10
31	2	Leiste F70	F70

*Tabelle 11: Teileliste des Werkzeuges*

**Anmerkung:** Die Positionsnummern der Einzelelemente in den Gesamtzeichnungen wiederholen sich in einer Zeichnung, um die Montage zu erleichtern.

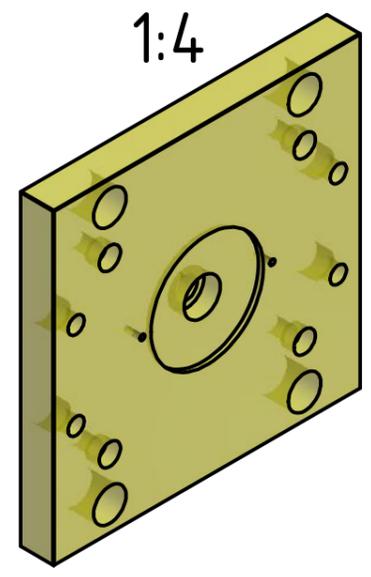
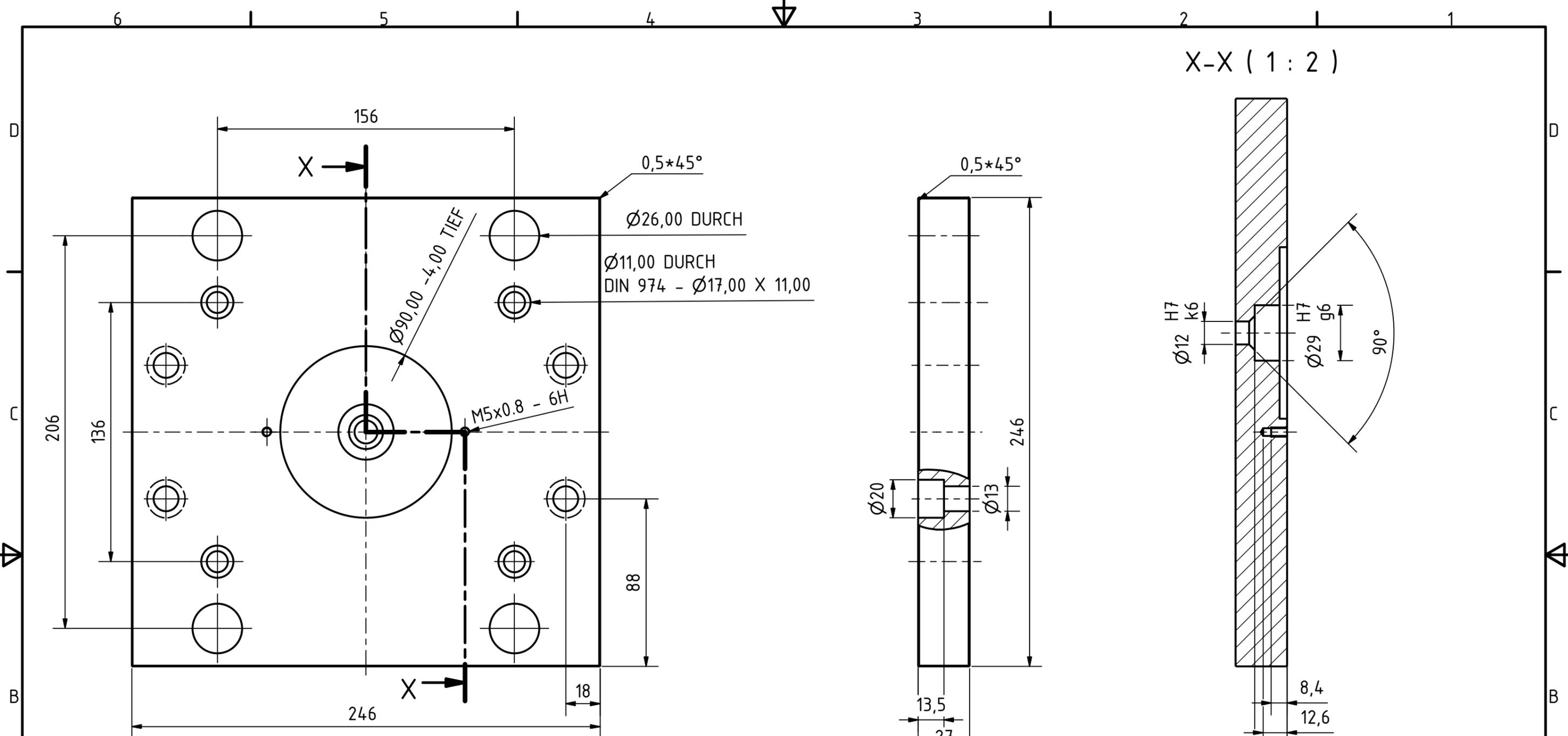


1:4

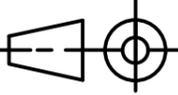


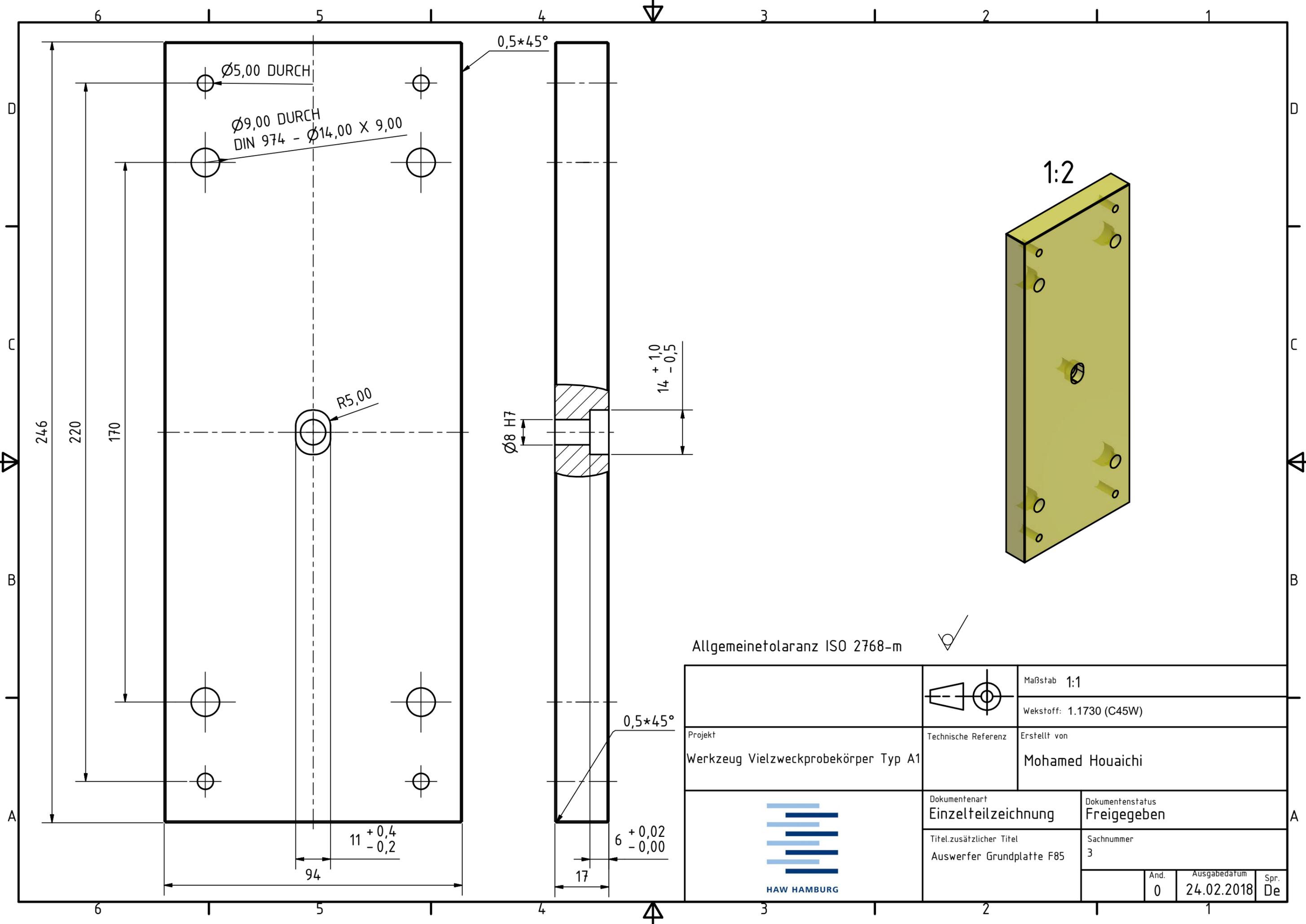
Allgemeintoleranz ISO 2768-m

Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1	Technische Referenz	Maßstab 1:2	Erstellt von Mohamed Houaichi		
		Werkstoff: 1.1730 (C45W)			
 HAW HAMBURG	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben			
	Titel.zusätzlicher Titel Aufspannplatte F10-Auswerferseite	Sachnummer 1			
		And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018	Spr. De	



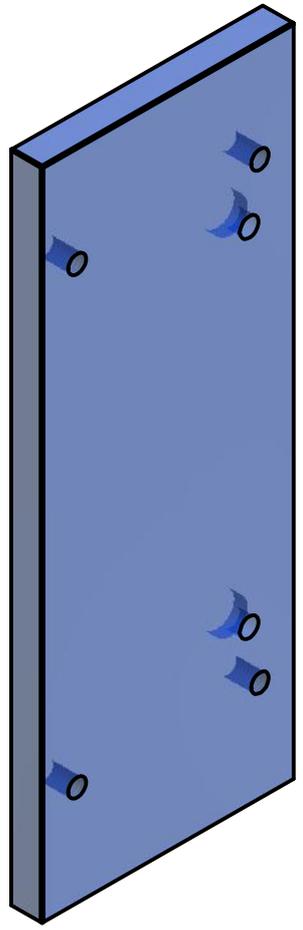
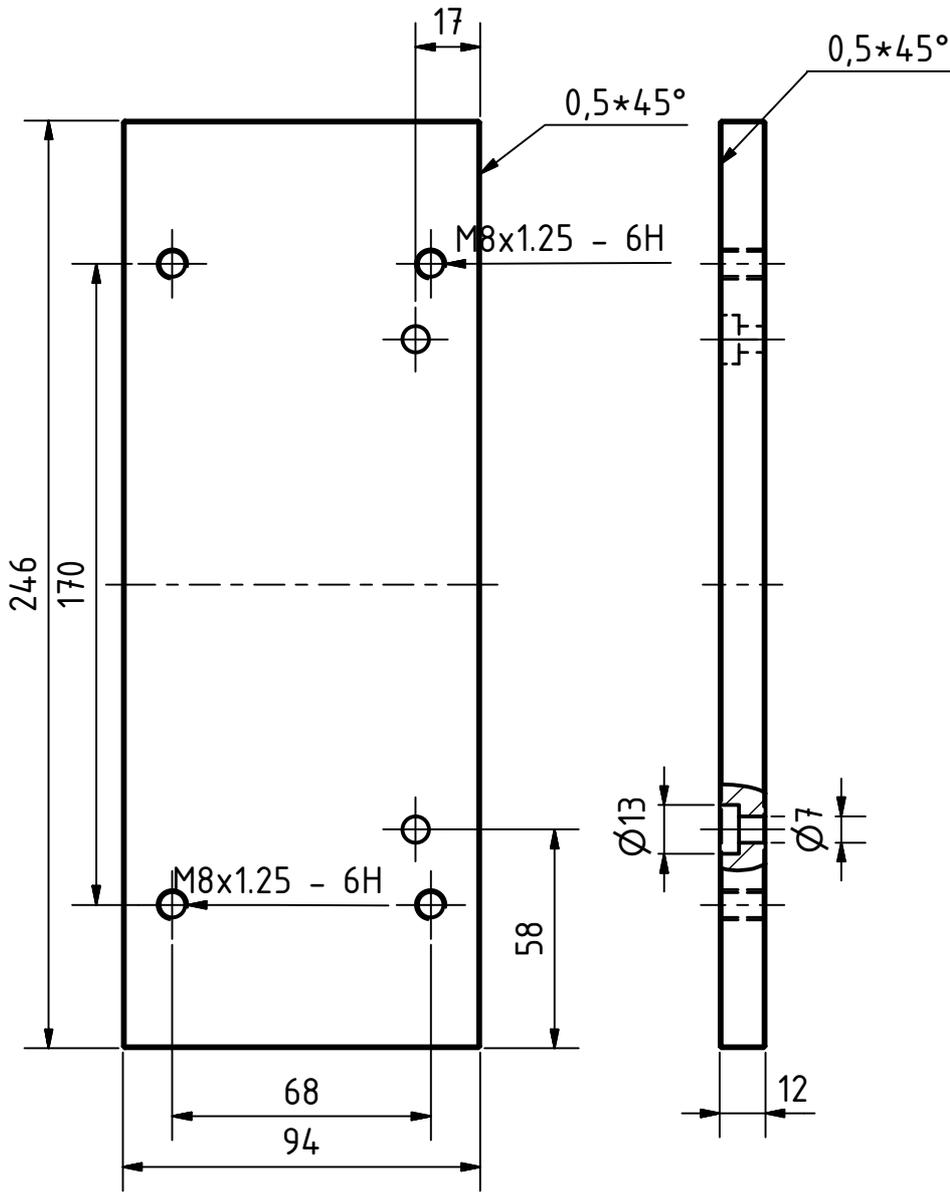
Allgemeinetoleranz ISO 2768-m

	Maßstab 1:2	
	Werkstoff: 1.1730 (C45W)	
Projekt Werkzeug Vielzahlprobekörper Typ A1	Technische Referenz Erstellt von Mohamed Houaichi	
	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Abgeschlossen
	Titel.zusätzlicher Titel Aufspannplatte F10-Düsenseite	Sachnummer 2
	And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018
	Spr. De	



Allgemeinetoleranz ISO 2768-m

		Maßstab 1:1 Werkstoff: 1.1730 (C45W)
	Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1	Technische Referenz Erstellt von Mohamed Houaichi
	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben
	Titel.zusätzlicher Titel Auswerfer Grundplatte F85	Sachnummer 3
	And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018
	Spr. De	



Allgemeintoleranz ISO 2768-m

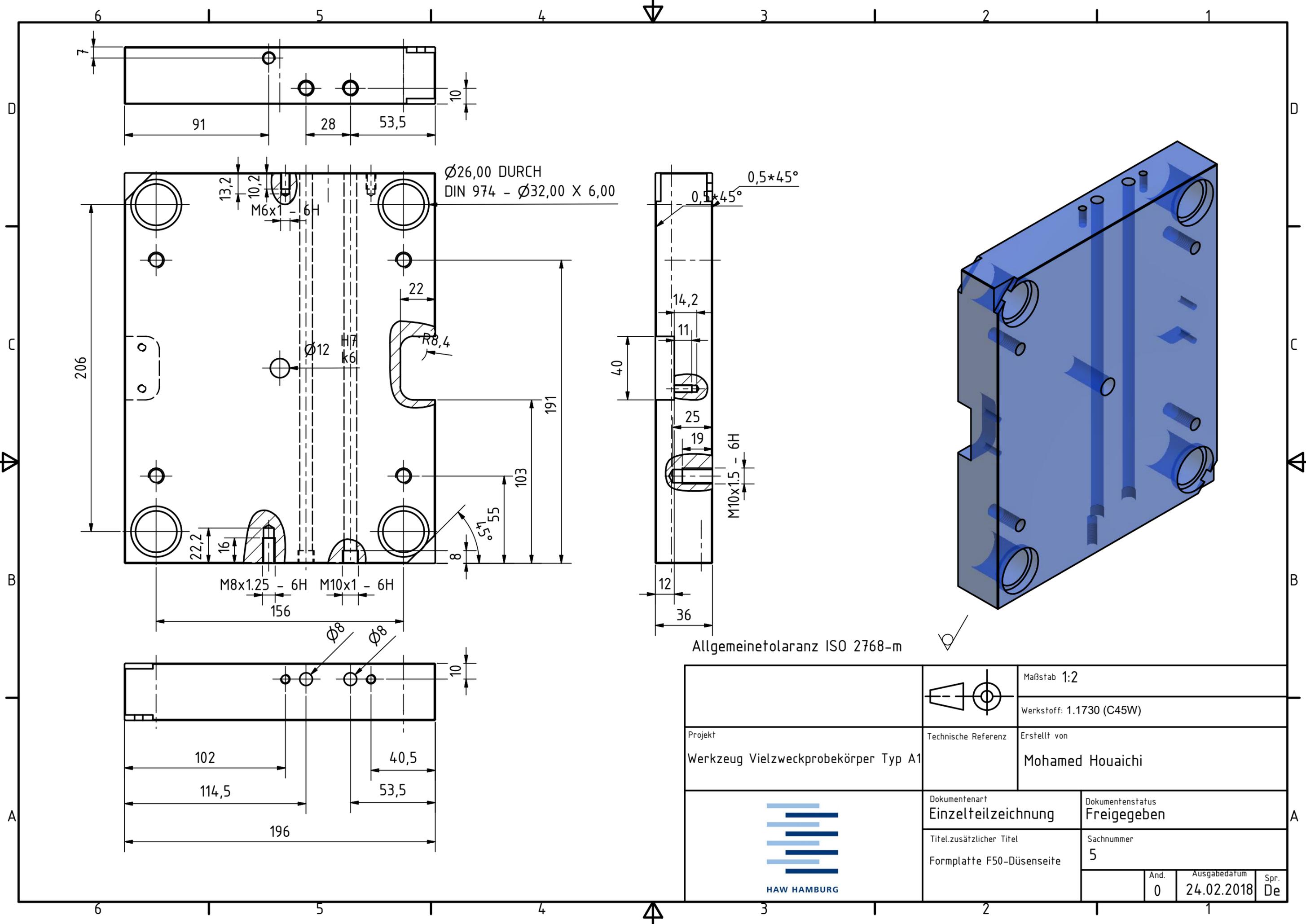


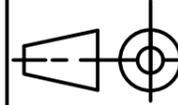
Werkstoff: 1.1730 (C45W)

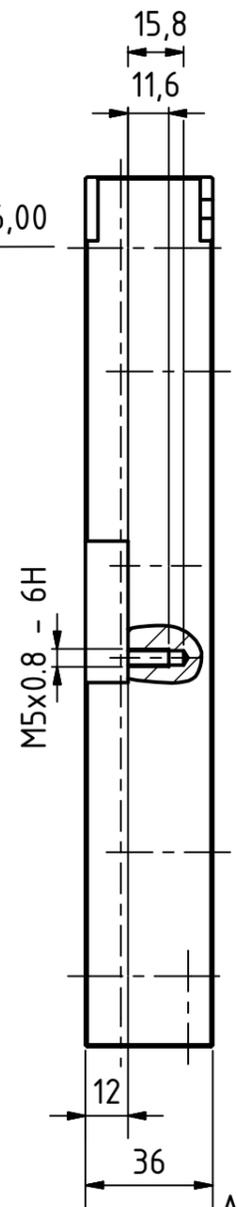
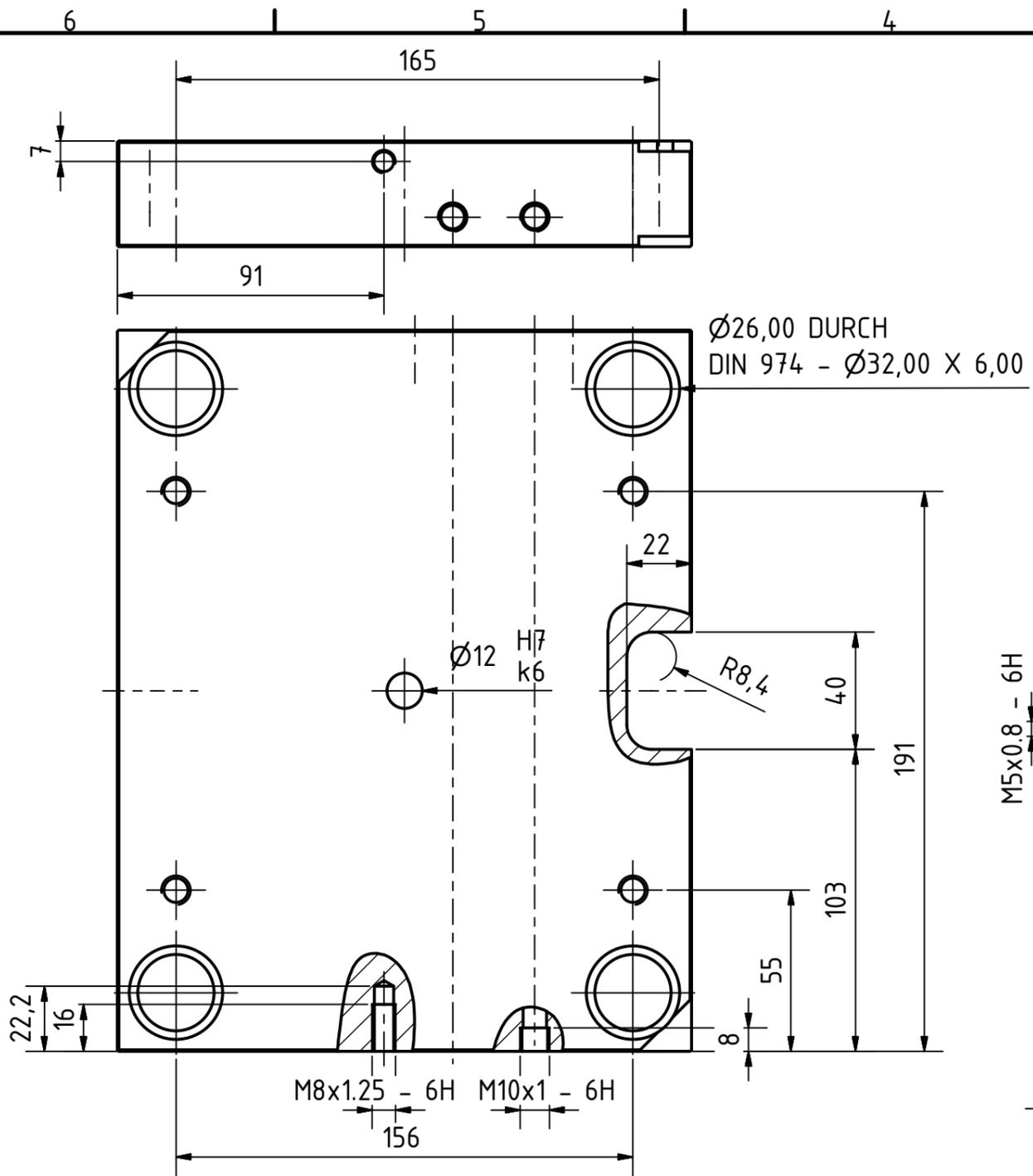
Maßstab 1:2

Verantwrtl.Abtfg.	Technische Referenz	Erstellt durch Mohamed Heouaichi	Genehmigt von	
<p><b>HAW HAMBURG</b></p>		Dokumentenart Einzelzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben	
		Titel.zusätzlicher Titel Auswerferhalteplatte F80		Sachnummer 4
		Änd.	Ausgabedatum 26.02.2018	Spr. de

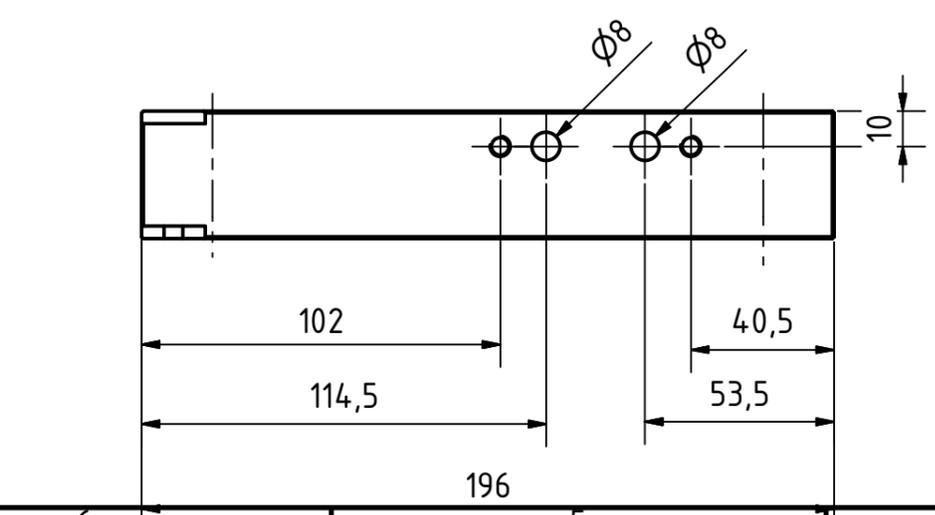
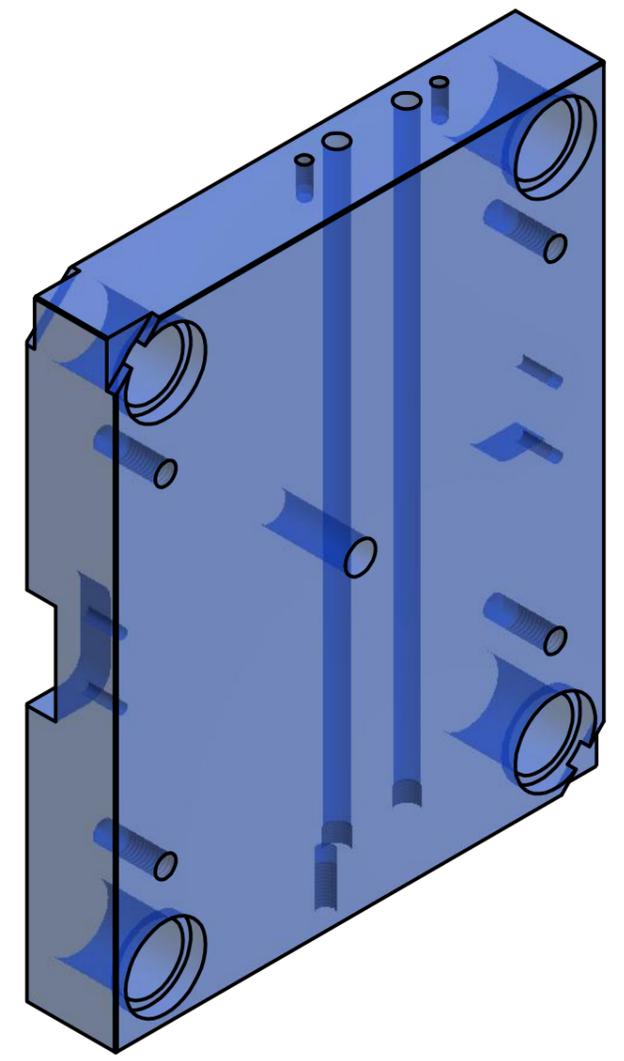




	Maßstab 1:2	
	Werkstoff: 1.1730 (C45W)	
Projekt Werkzeug Vielzahlprobekörper Typ A1	Technische Referenz	Erstellt von Mohamed Houaichi
	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben
	Titel.zusätzlicher Titel Formplatte F50-Düsenseite	Sachnummer 5
	And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018
	Spr. De	



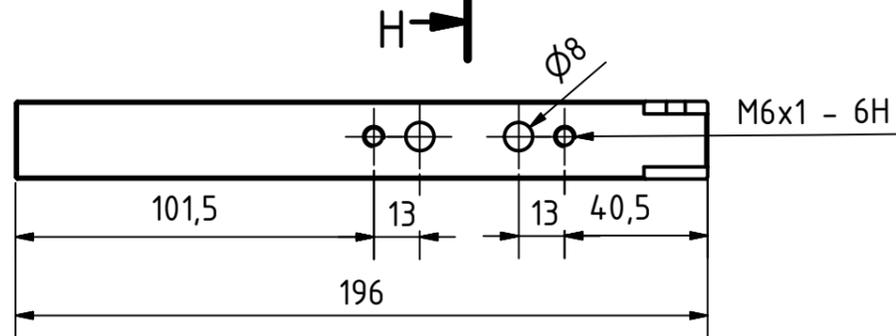
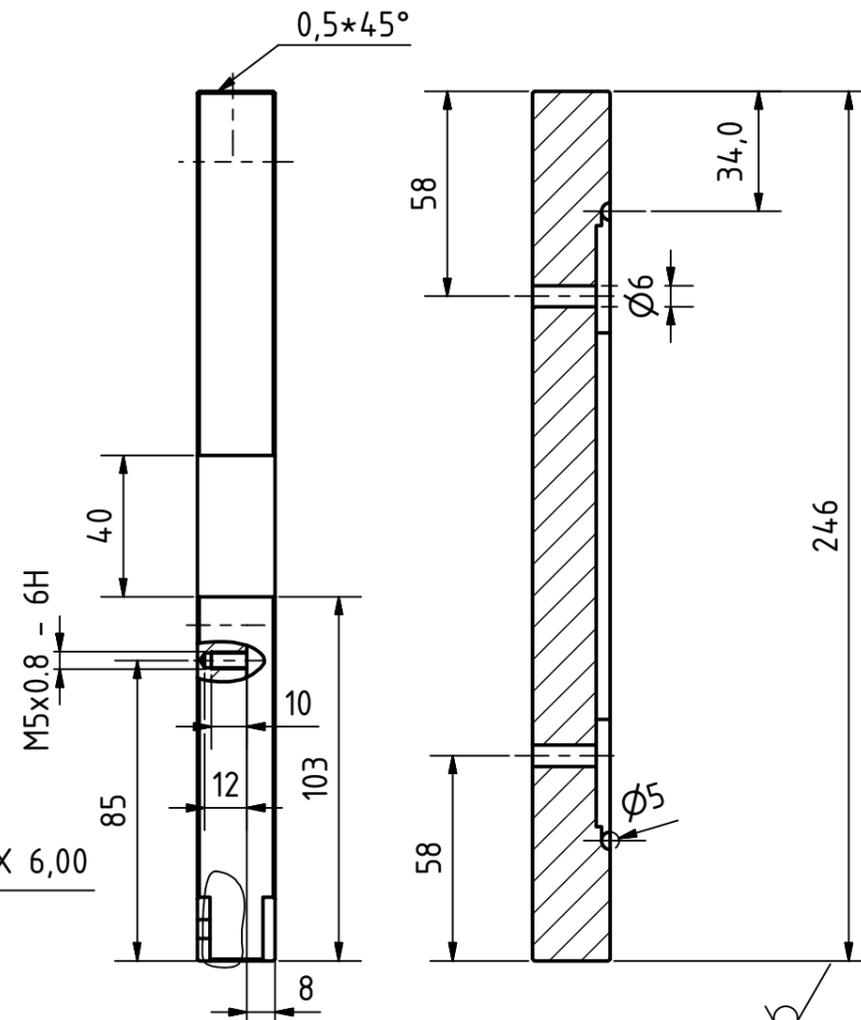
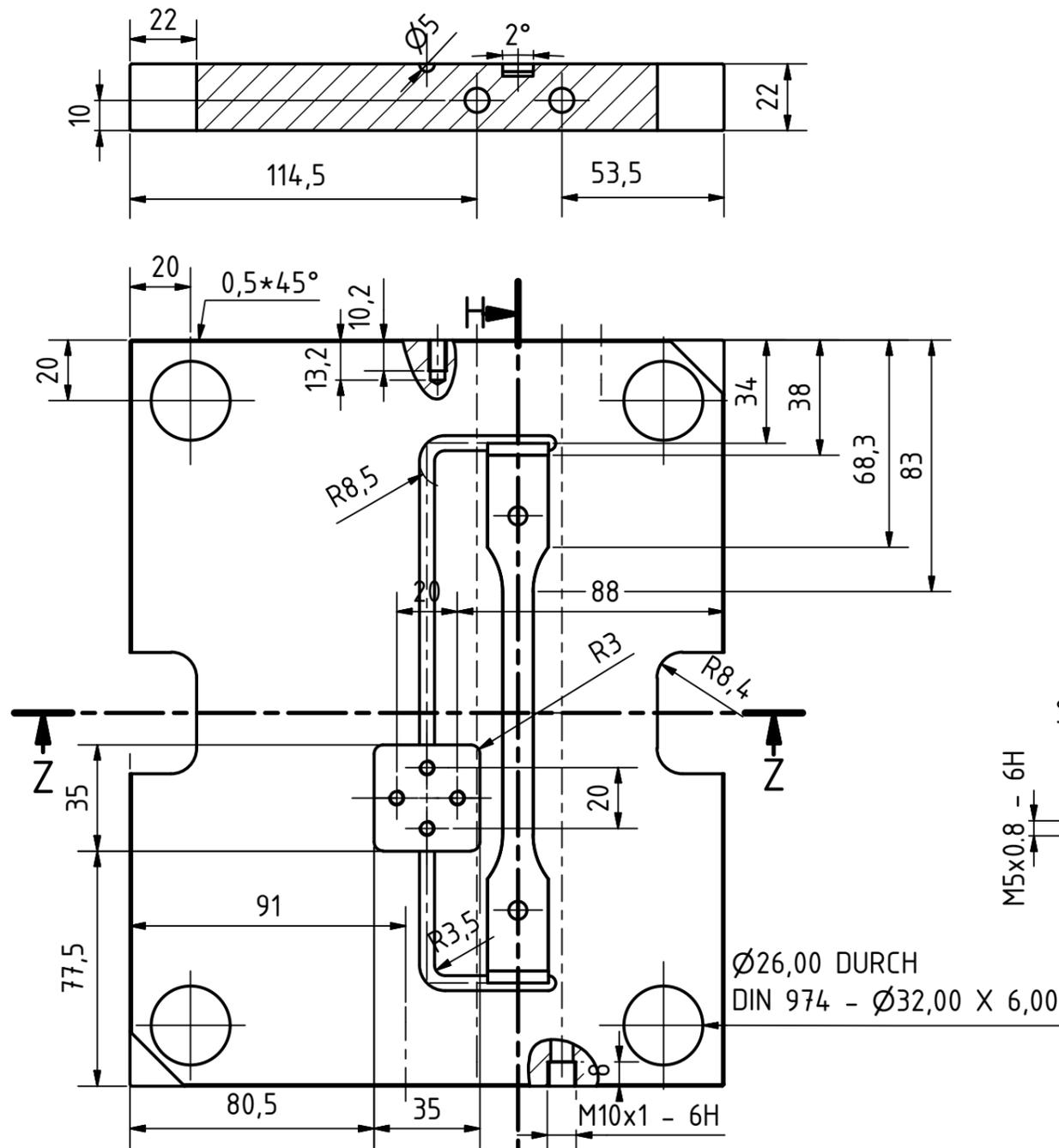
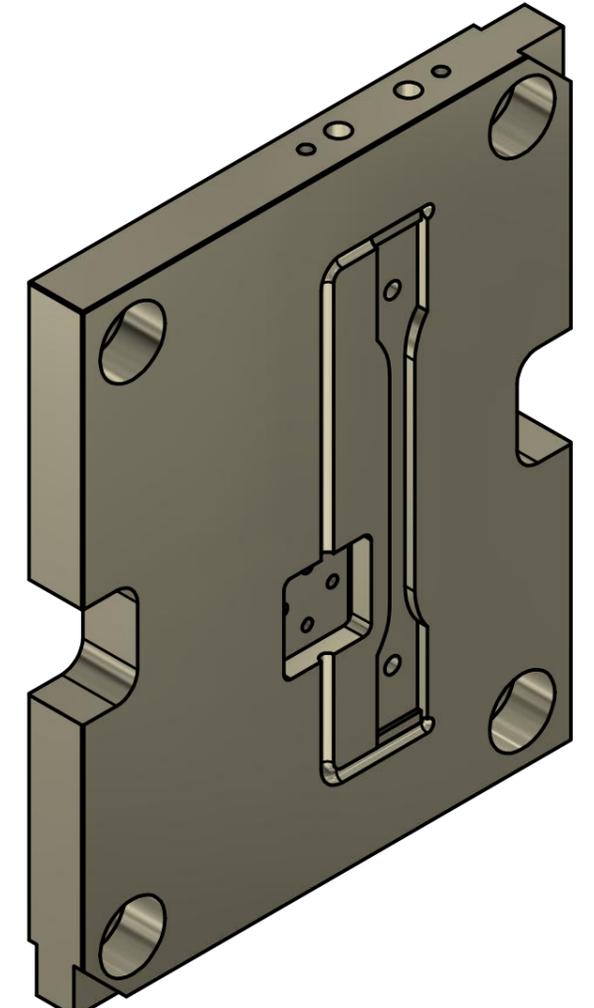
Allgemeinetoleranz ISO 2768-m



			Maßstab 1:2
Projekt Werkzeug Mehrzweckkörper Typ A1	Technische Referenz	Erstellt von Mohamed Houaichi	
	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Abgeschlossen	
	Titel.zusätzlicher Titel Formplatte F50-Düsenseite	Sachnummer	
	And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018	Spr. De

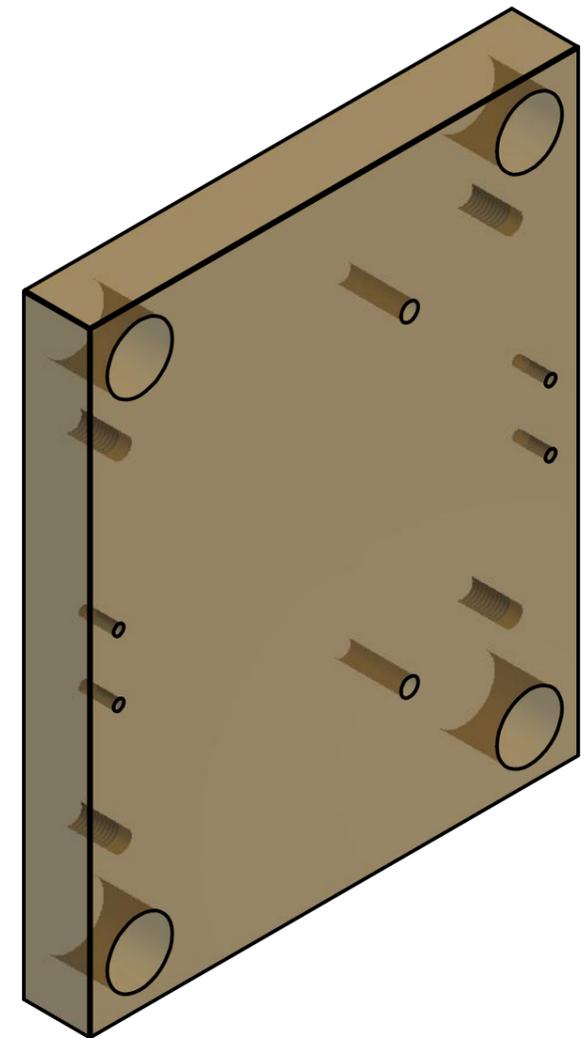
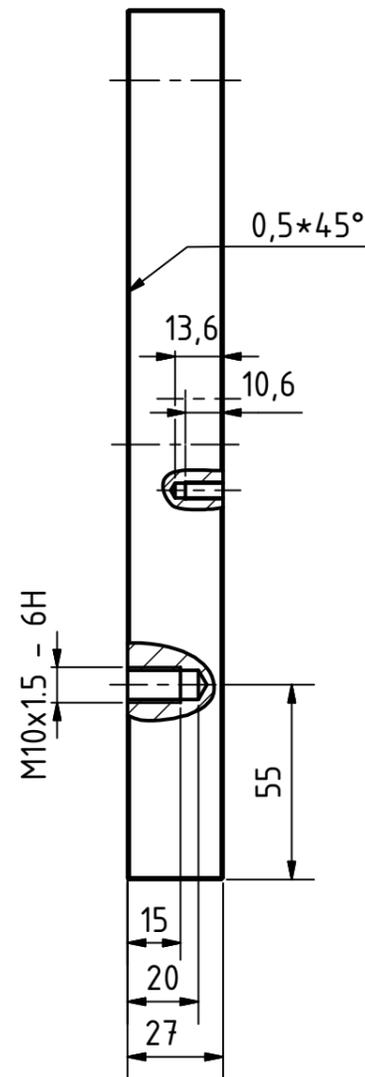
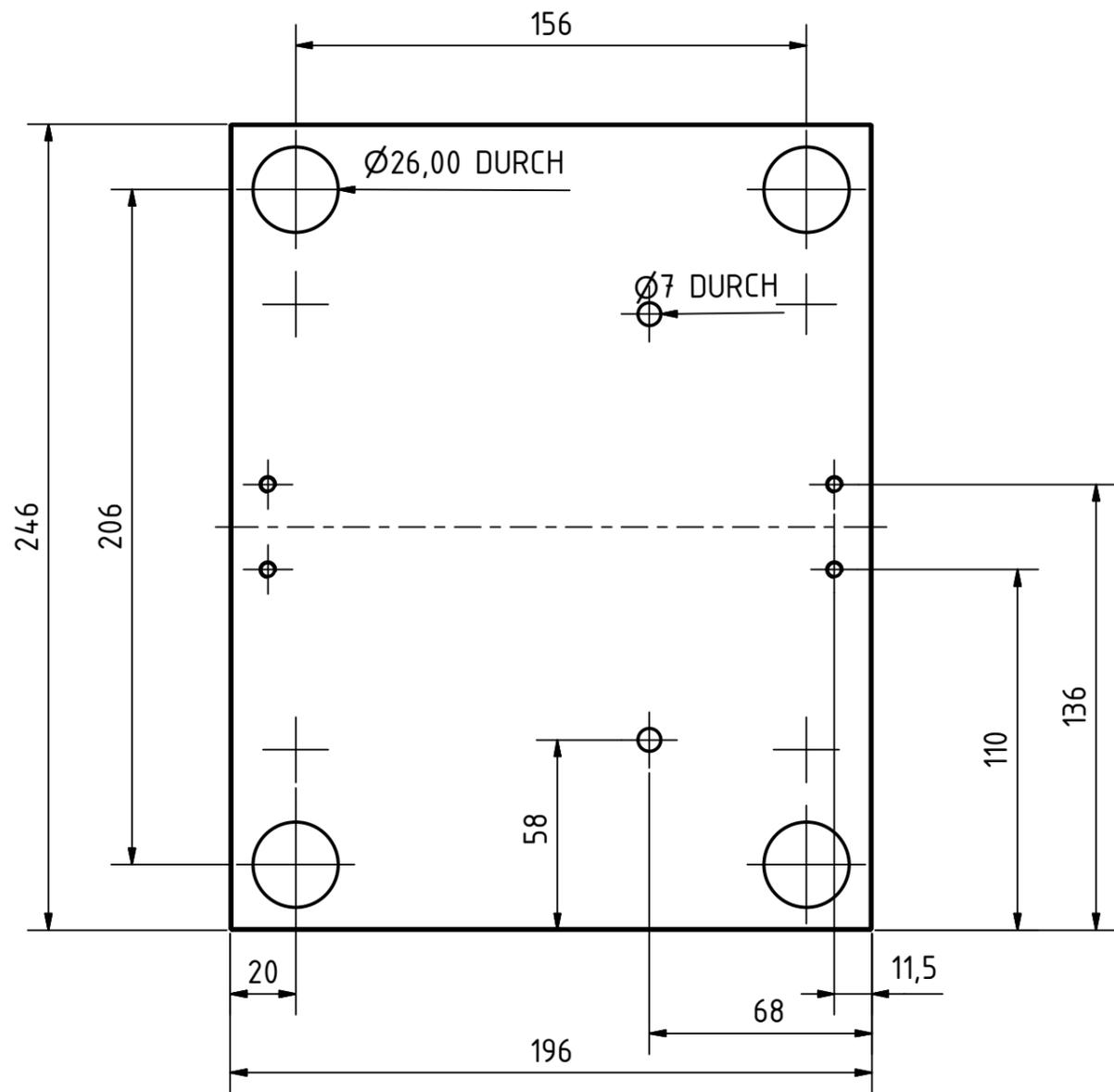
Z-Z (1:2)

H-H (1:2)



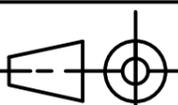
Allgemeintoleranz ISO 2768-m

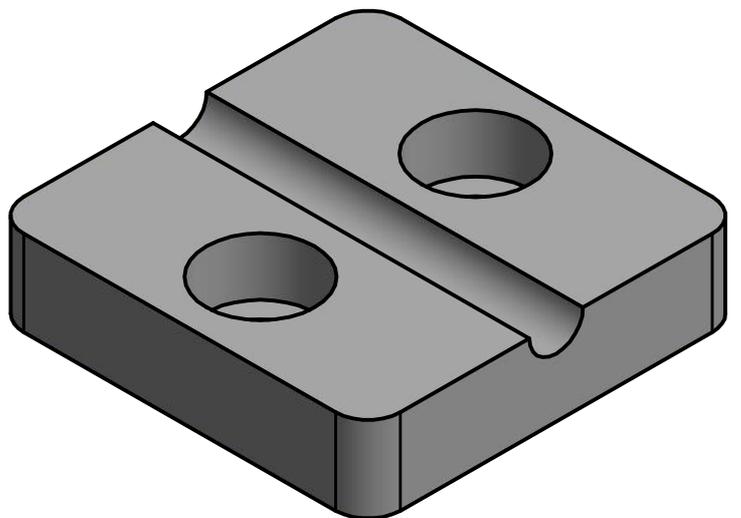
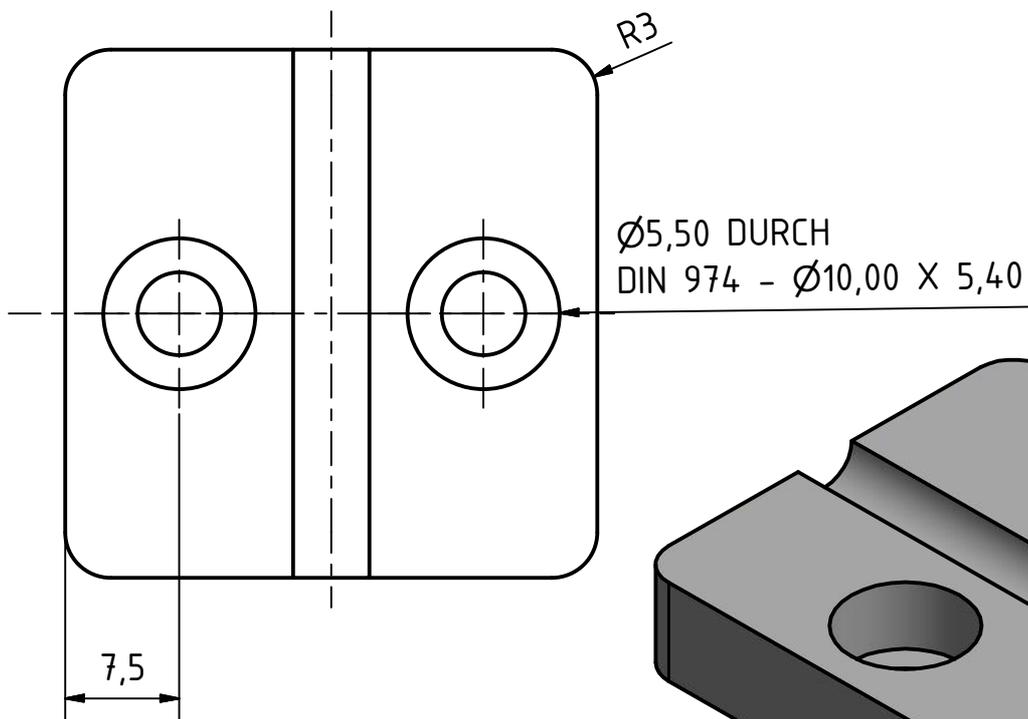
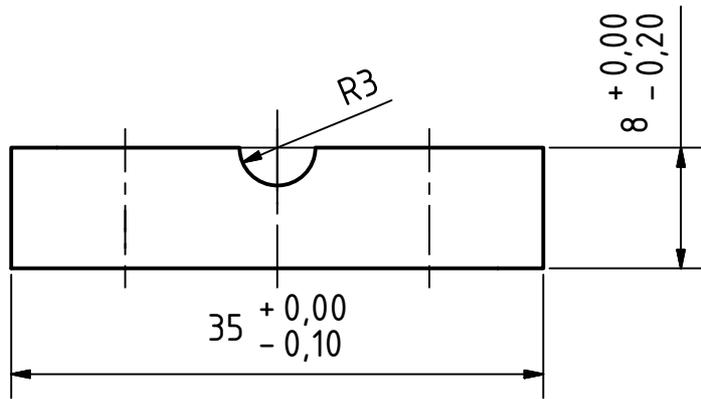
				Maßstab 1:2	
				Werkstoff: 1.2312 (40CrMnNiMo8-6-4)	
Projekt		Technische Referenz		Erstellt von	
Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1				Mohamed Houaichi	
		Dokumentenart		Dokumentenstatus	
		Einzelteilzeichnung		Freigegeben	
		Titel.zusätzlicher Titel		Sachnummer	
		Formplatte mit Kavität F50		6	
		And.	Ausgabedatum	Spr.	
		0	24.02.2018	De	



Allgemeinetoleranz ISO 2768-m



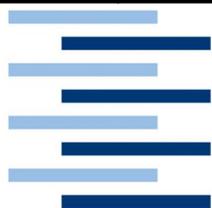
	Maßstab 1:2	
	Werkstoff: 1.1730 (C45W)	
Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1	Technische Referenz	Erstellt von Mohamed Houaichi
	Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben
	Titel.zusätzlicher Titel Zwischenplatte F60	Sachnummer 8
	And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018

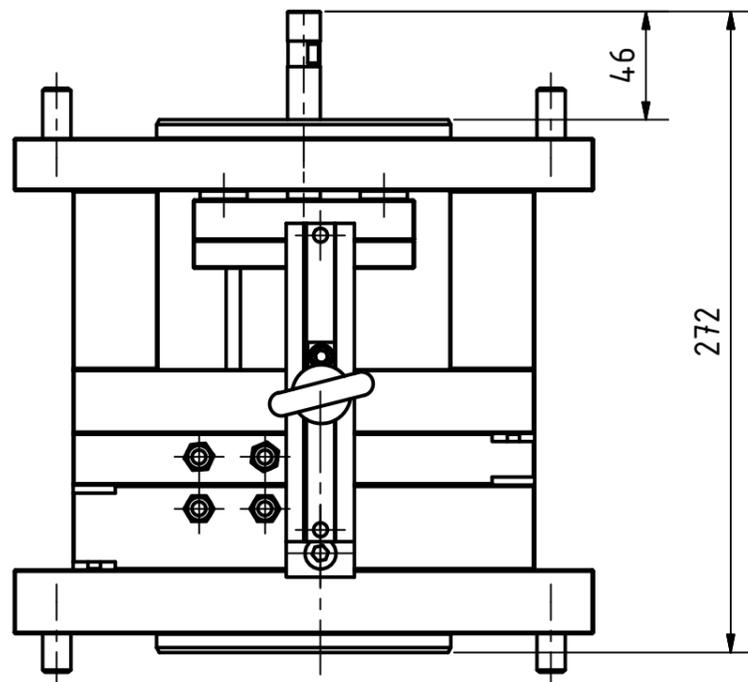
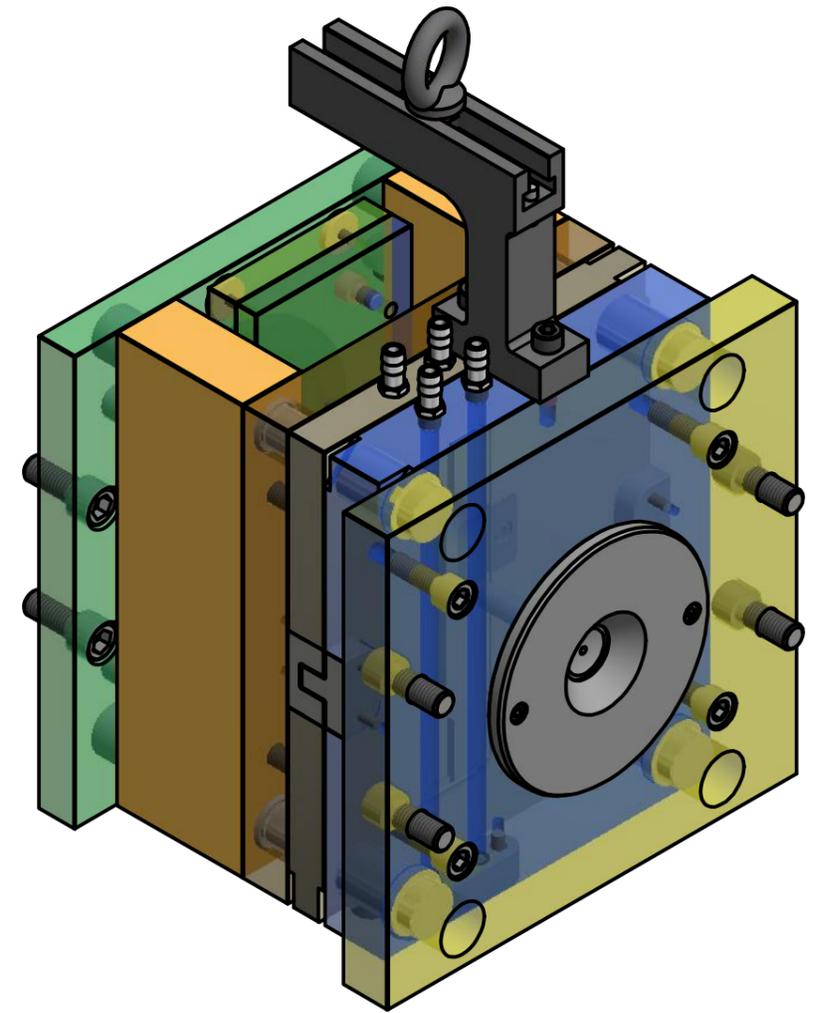
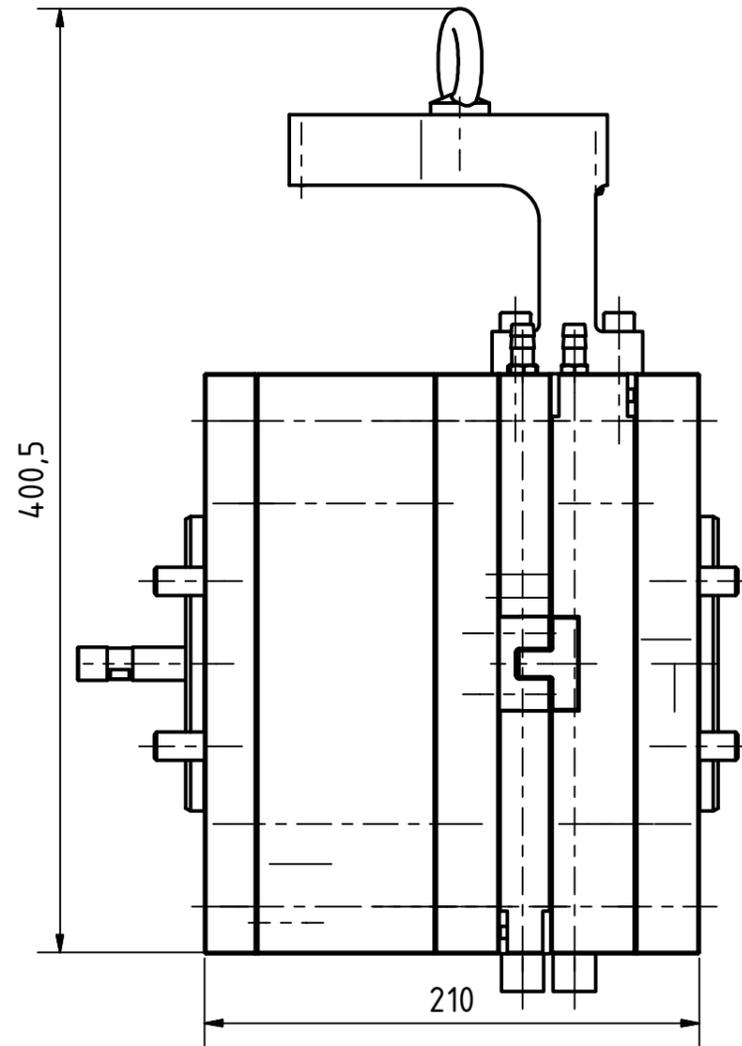
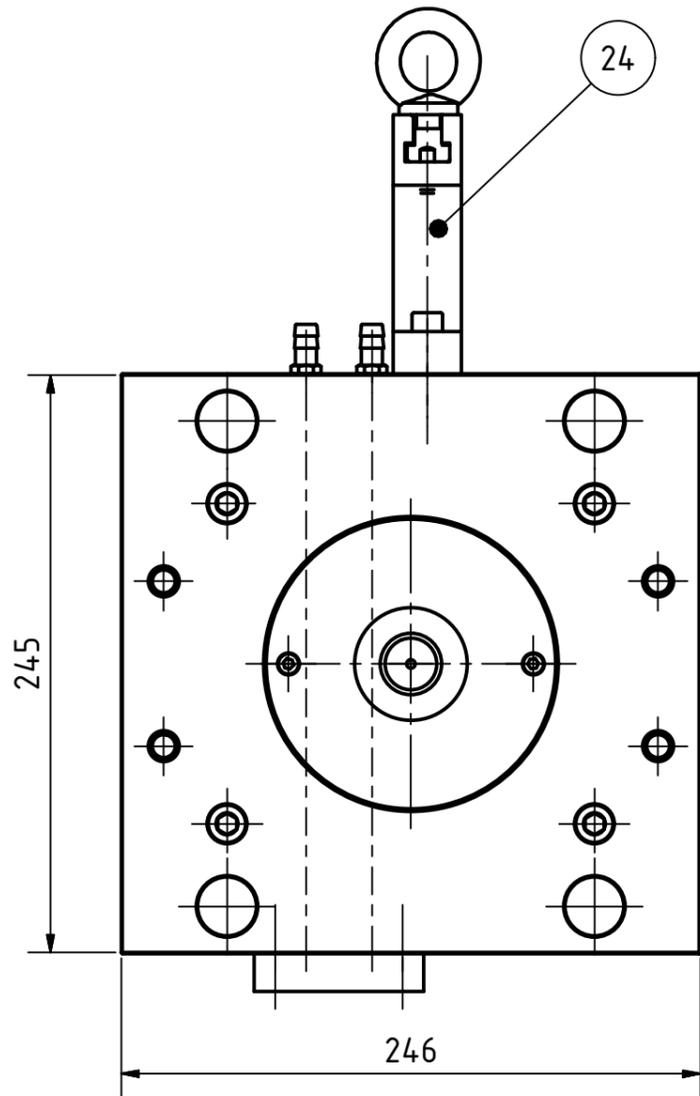


Allgemeintoleranz ISO 2768-m

Werkstoff: 1.2312 (40CrMnNiMo8-6-4) ✓

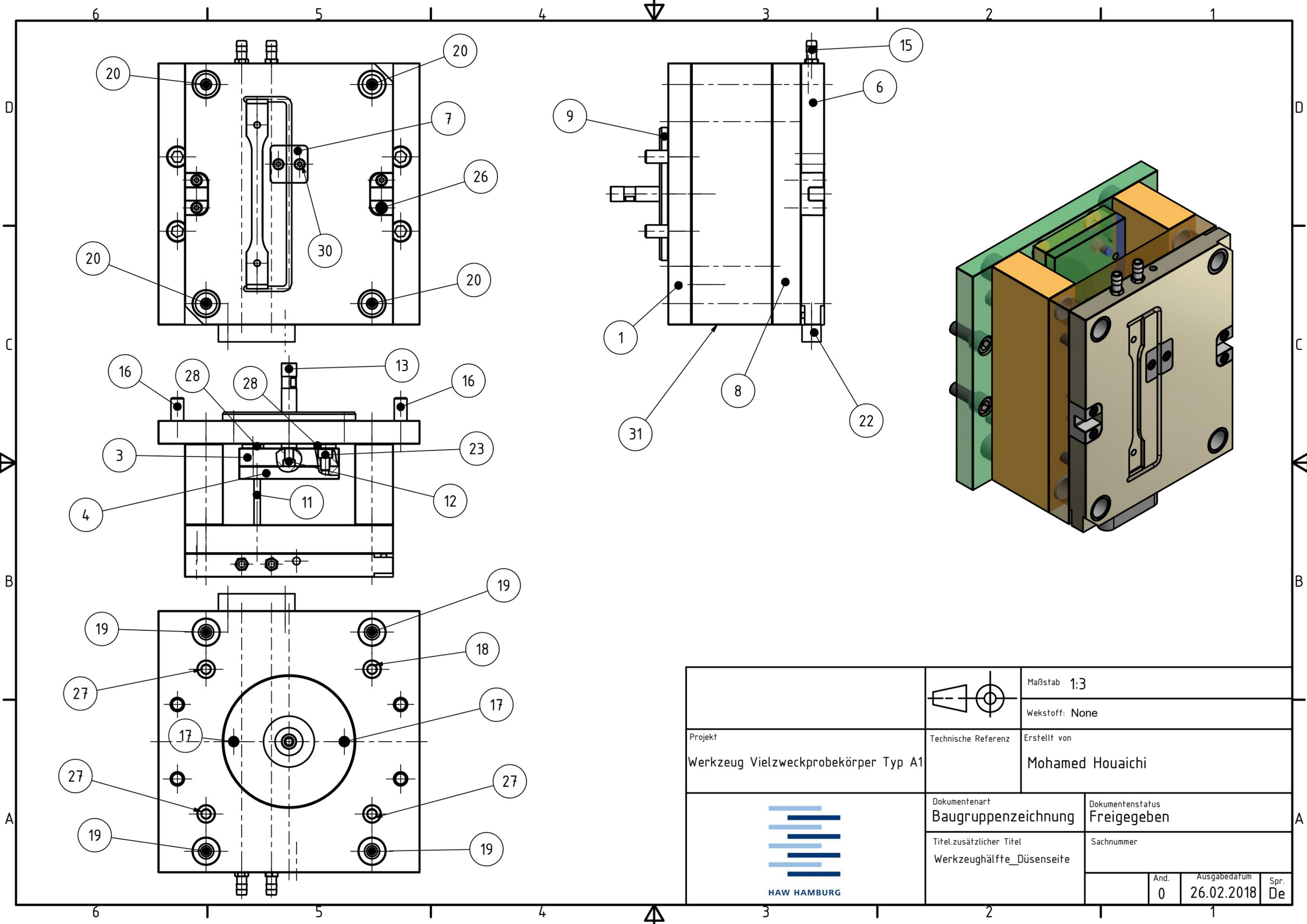
Maßstab 2:1

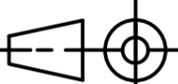
Verantw. Abtlg.	Technische Referenz	Erstellt durch Mohamed Heouaichi	Genehmigt von	
 <b>HAW HAMBURG</b>		Dokumentenart Einzelzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben	
		Titel, zusätzlicher Titel Schmelzstromkontrollelement	Sachnummer 7	
		Änd.	Ausgabedatum 26.02.2018	Spr. de

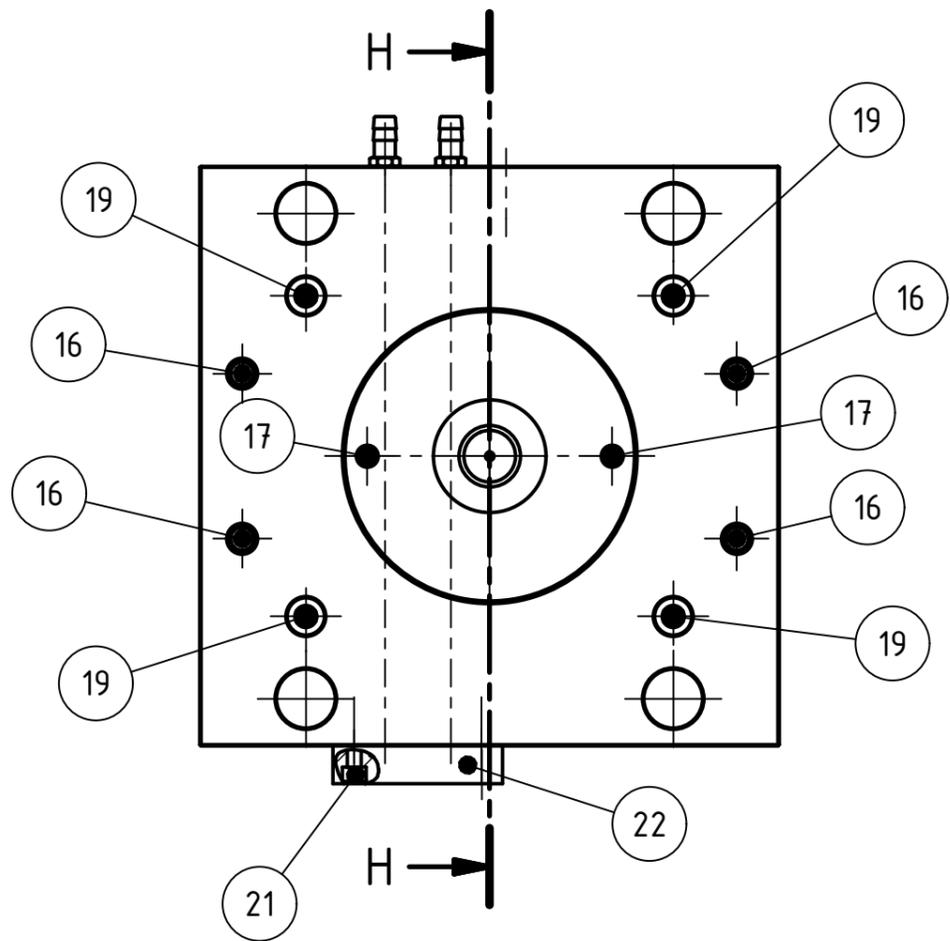


Allgemeinetoleranz ISO 2768-m

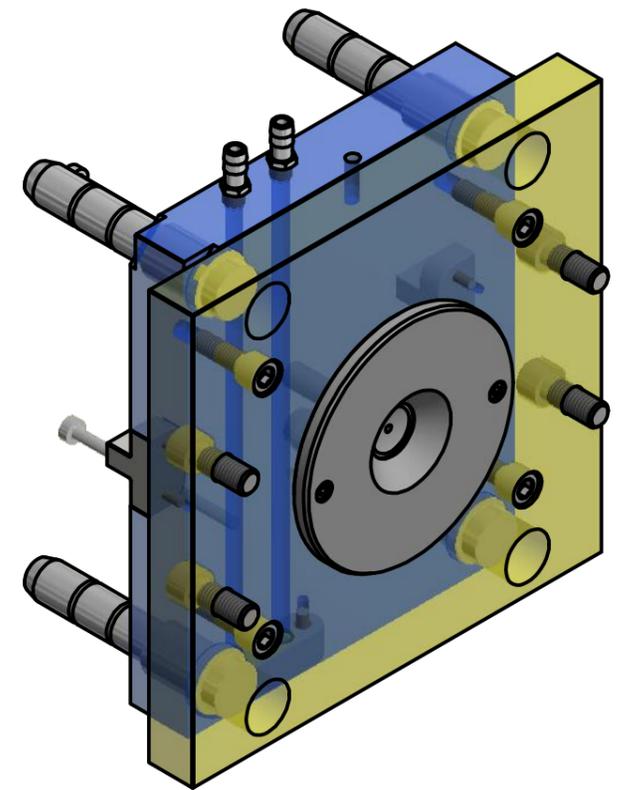
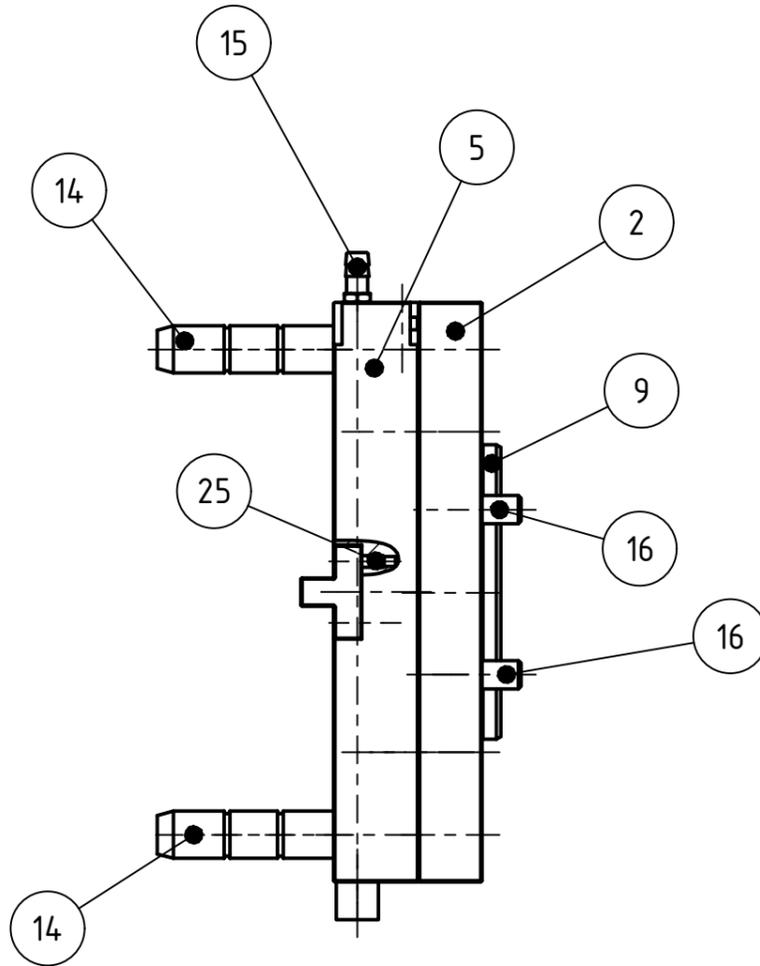
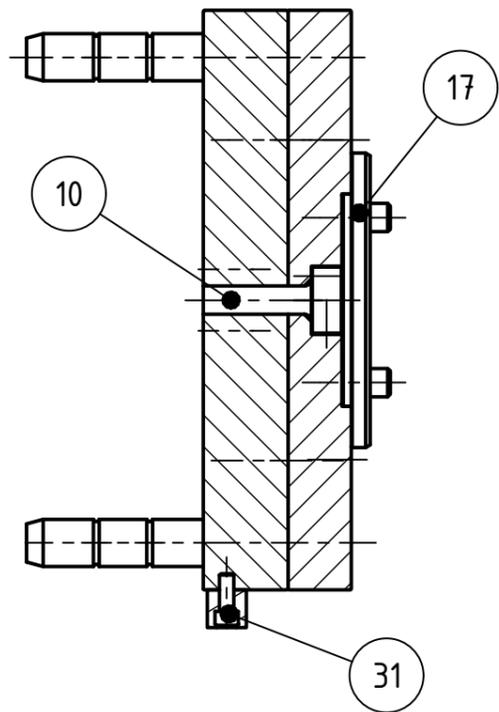
Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1	Technische Referenz	Maßstab 1:3	Erstellt von Mohamed Houaichi		
		Werkstoff: None			
 HAW HAMBURG	Dokumentenart Baugruppenzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben			
	Titel.zusätzlicher Titel Gesamtwerkzeug	Sachnummer			
		And. 0	Ausgabedatum 24.02.2018	Spr. De	



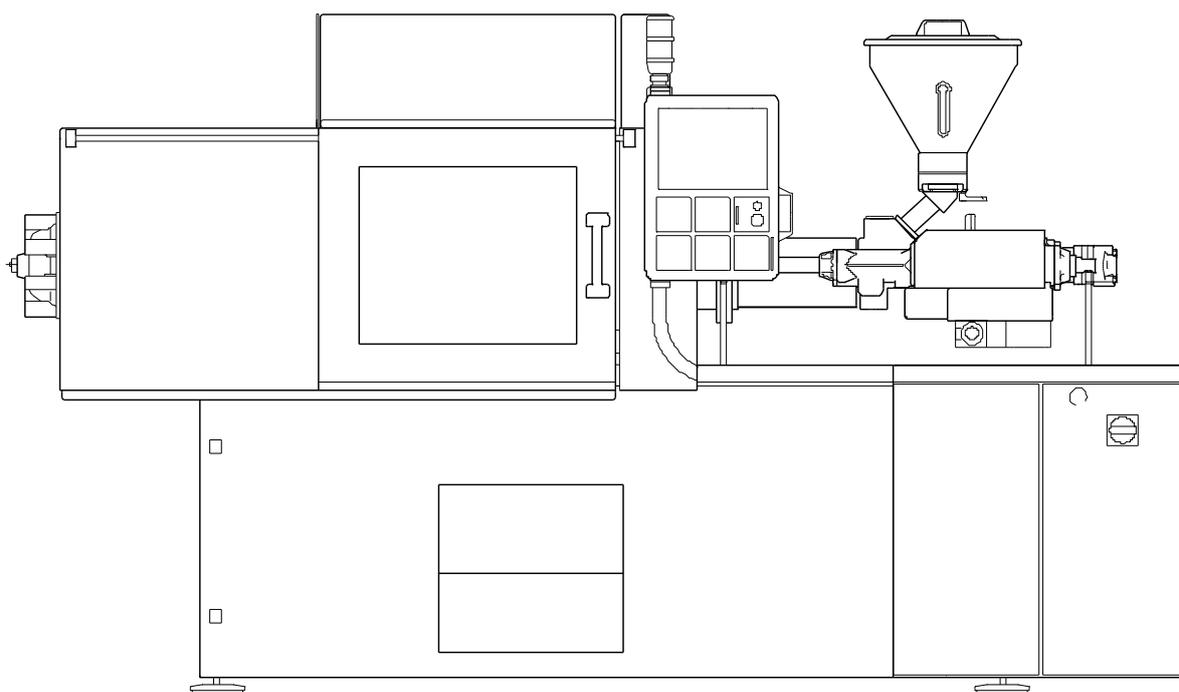
				Maßstab 1:3
				Werkstoff: None
Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1		Technische Referenz	Erstellt von Mohamed Houaichi	
		Dokumentenart Baugruppenzeichnung		Dokumentenstatus Freigegeben
		Titel.zusätzlicher Titel Werkzeughälfte_Düsenseite		Sachnummer
		And.	Ausgabedatum	Spr.
		0	26.02.2018	De



H-H ( 1 : 3 )



		Maßstab 1:3
		Werkstoff: None
Projekt Werkzeug Vielzweckprobekörper Typ A1	Technische Referenz	Erstellt von Mohamed Houaichi
	Dokumentenart Baugruppenzeichnung	Dokumentenstatus Freigegeben
	Titel.zusätzlicher Titel Werkzeughälfte_Düsenseite	Sachnummer
	And. 0	Ausgabedatum 26.02.2018
		Spr. De



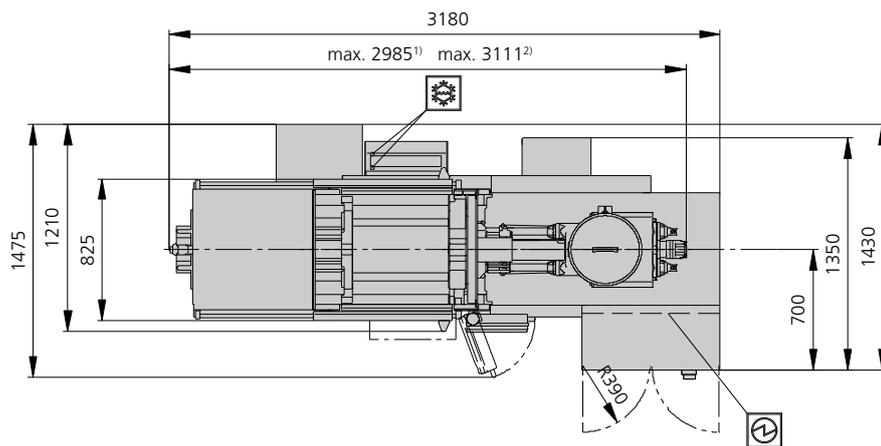
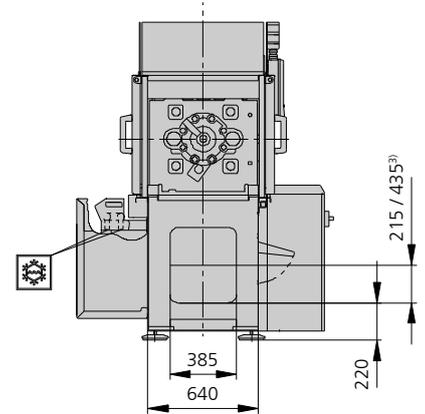
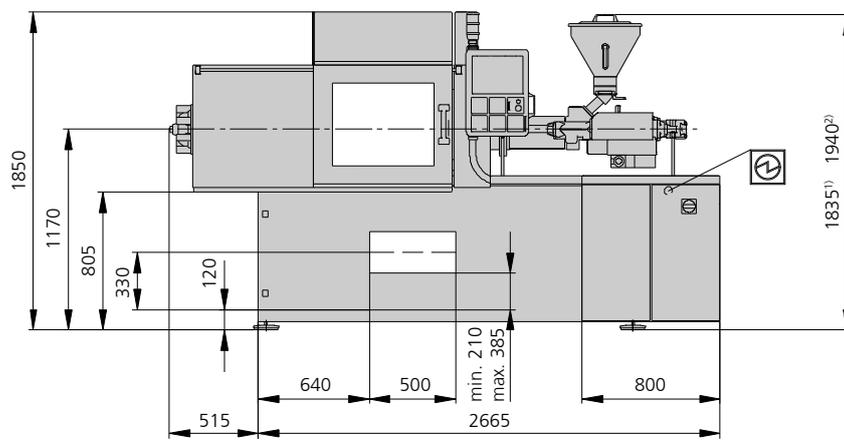
# ALLROUNDER 270 C GOLDEN EDITION

Distance between tie bars: 270 x 270 mm

Clamping force: 400 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 70, 100

**ARBURG**



Electrical connection



Cooling water connection

- 1) Injection unit 70
- 2) Injection unit 100
- 3) Conveyor belt

Clamping unit		270 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	400	
Opening force   stroke	max. kN   mm	130   350	
Mould height, fixed   variable	min. mm	200   ---	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	550   ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	270 x 270	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	446 x 446	
Weight of movable mould half	max. kg	180	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	30   125	
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	min. s - mm	1,2 - 189	

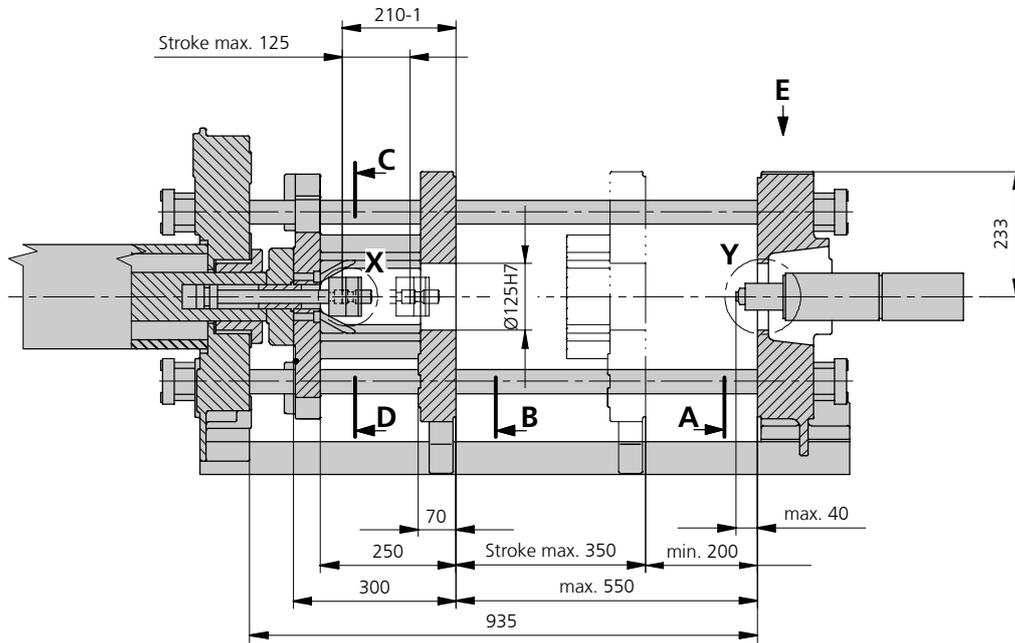
Injection unit		70			100		
with screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30
Effective screw length	L/D	24,5	20	17,5	25	20	16,7
Screw stroke	max. mm	90			100		
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	23	34	44	31	49	71
Shot weight	max. g PS	21	31	40	29	45	65
Material throughput	max. kg/h PS	4,1	5,5	6,5	5,5	8	9,5
	max. kg/h PA6.6	2,1	2,8	3,3	2,8	4	4,9
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390
Injection flow <sup>2</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	68	100	130	64	100	146
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	max. m/min	39	48	55	28	35	42
Screw torque	max. Nm	90	110	120	120	150	180
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	50   150			50   180		
Heating capacity   zones	kW	4,1   4			4,9   5		
Feed hopper	l	25			50		

Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		70	100
Net weight of machine	kg	2150	2180
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	68   3	
Oil filling	l	165	
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	7,5	11
Electrical connection <sup>3</sup>	kW	14	19
	Total	A	50
	Machine	A	63
Cooling water connection	Heating	A	---
	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5   DN 25	

**Machine type**  
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>  
270 C GOLDEN EDITION 400-70 | 100

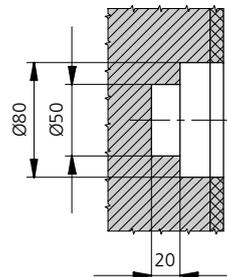
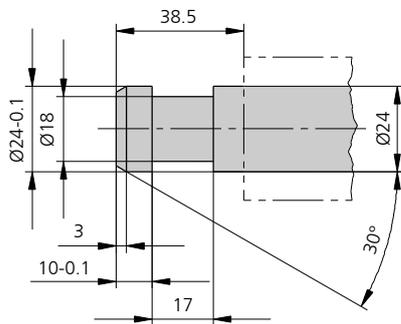
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.



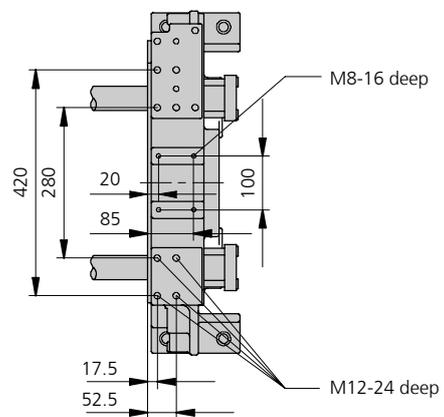
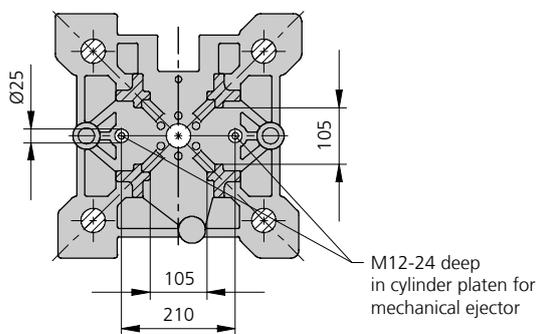
Ejector bolt | X

Bore in mould (if required) | Y



C-D view

Robotic system mounting | E





## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		70			100		
Screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30
Polystyrene	max. g PS	21	31	40	29	45	65
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	20	31	39	28	44	63
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	20	30	39	27	43	62
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	24	35	45	32	50	73
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	22	33	42	30	47	68
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	22	32	42	30	46	67
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	19	29	37	27	42	60
Polycarbonate	max. g PC	22	33	42	30	47	68
Polysulphone	max. g PSU	23	34	44	31	49	70
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	21	31	40	28	44	64
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	19	29	37	26	41	60
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	26	39	50	35	55	80
Polyethylene terephthalate	max. g PET	25	37	48	34	53	77
Polyethylene	max. g PE-LD	16	24	30	22	34	49
	max. g PE-HD	16	24	31	22	35	50
Polypropylene	max. g PP	17	25	32	23	36	51
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	33	50	65	46	72	103
	max. g ETFE	29	44	57	40	63	91
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	25	38	49	35	54	78
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	23	35	45	32	50	72

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**

Arthur-Hehl-Strasse · 72290 Lossburg · Tel.: +49 7446 33-0 · www.arburg.com · E-Mail: contact@arburg.com

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Taiwan, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2017 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.

**ARBURG GmbH + Co KG**

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

**BLUECOMPETENCE**  
 Alliance Member

 Partner of the Engineering Industry  
 Sustainability Initiative



## 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.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

dass ich die vorliegende \_\_\_\_\_ – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

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.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der \_\_\_\_\_ ist erfolgt durch:

\_\_\_\_\_  
Ort

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift im Original