

Bernburg
Dessau
Köthen



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

emw

Fachbereich
Elektrotechnik, Maschinenbau
und Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Marcel Weikert
Vorname Nachname

Fernstudium Maschinenbau, 2010, 4053170
Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema

**Erarbeitung einer Prozesskette für das
Sandgießen bei variabler Modellgestaltung**

Professor Dr. Heiko Rudolf

Vorsitzender Prüfungskommission

Professor Dr. Heiko Rudolf

1. Prüfer

M.Eng. Yizhen Yang

2. Prüferin

13.10.2014

Abgabe am

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Ort, Datum

Unterschrift des Studierenden

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit „Erarbeitung einer Prozesskette für das Sandgießen bei variabler Modellgestaltung“ befasst sich mit der Herstellung eines Werkstücks durch das Gießen geschmolzenen Metalls in eine manuell erstellte Sandform. Die Möglichkeiten der Werkstückgestaltung sollen dabei aufgezeigt werden.

Bevor auf den Prozess des Gießens und die damit verbundenen Vor- und Nachbereitungen eingegangen wird, wird das Sandgießen in das Fertigungsverfahren „Urformen“ eingeordnet und anderen Verfahren gegenübergestellt.

Anschließend wird die Durchführung einer praktischen Übung zum Handformverfahren im Rahmen eines Hochschulpraktikums betrachtet und vorbereitet. Benötigte Materialien, Arbeitsvorbereitung, das Gießen selbst und Nachbereitung werden dargestellt. Es wird auf Aspekte der Arbeitssicherheit eingegangen. Abschließend werden neue Verfahren und Möglichkeiten der Fertigungstechnik dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Einleitung – Modelle und Methoden	6
2 Gießen	7
2.1 Begriffsdefinition	7
2.2 Arten des Gießens	8
2.2.1 Formategießen	8
2.2.2 Formgießen	8
2.2.2.1 Verlorene Form & Dauermodell	8
2.2.2.2 Verlorene Form & Verlorenes Modell	9
2.2.3 Gießen in Dauerform	10
2.2.3.1 Kokillenguss	10
2.2.3.2 Druckguss	11
2.2.3.3 Schleuderguss	11
2.3 Handformverfahren	11
2.3.1 Das Modell	11
2.3.2 Der Formsand	13
2.3.3 Die Sandform	13
2.3.4 Der Kern	14
2.3.5 Der Gusswerkstoff	16
2.3.6 Der Gießprozess	16
2.3.7 Auftrieb und Schwindung	18
2.3.8 Gießgerechte Gestaltung	20
3 Praktikum	23
3.1 Materialien und Werkzeuge	24
3.2 Arbeitsschutz	27
3.3 Das Werkstück	27
3.4 Werkstoffauswahl	29
3.5 Durchführung	31
4 Generative Verfahren	35
4.1 Rapid Prototyping	35
4.2 Direct Croning	35
4.3 3D-Printing/CJP – Color Jet Printing	36
4.4 FDM – Fused Deposition Modeling	37
4.5 LOM – Laminated Object Manufacturing	38
4.6 MJM – Multi Jet Modeling	39
4.7 SLA – Stereolithografie	40
4.8 SLS – Selektives Laser Sintern	40

5	Zusammenfassung	41
i.	Quellenverzeichnis	42
ii.	Abbildungsverzeichnis	45
iii.	Verwendete Hilfsmittel & Medien	49
iv.	Lebenslauf	49
v.	Anlagen	50
	Anlage 1 - Materialliste	
	Anlage 2 - Berechnung des Auftriebs	
	Anlage 3 - Handreichung Praktikum	
	Anlage 4 - Präsentation Praktikum	
	Anlage 5 - Zeichnungsableitungen	

1 Einleitung - Modelle und Methoden

Im Rahmen sich immer rascher wandelnder Produktdesigns, sich beschleunigender technischer Entwicklung und damit immer kürzer werdender Produktzyklen nimmt der Stellenwert einer ökonomischen Entwicklung von Produkten in allen Bereichen der Industrie stetig zu. Eine Individualisierung von industriellen Erzeugnissen verringert zusätzlich die zu produzierenden Stückzahlen und verstärkt damit die Notwendigkeit einer schnellen, effizienten und kostenoptimierten Entwicklung und Fertigung.

In der Entwurfsphase der Produktentwicklung können dabei zur Betrachtung der äußeren Erscheinung oder der Funktion von Bauteilen oder von Bauteilgruppen Modelle und Prototypen zum Einsatz gebracht werden. Obwohl ästhetische und funktionale Merkmale wie z.B. Form, Farbe, Belastbarkeit und, im Falle von Bauteilgruppen, selbst Kollisionserkennung mittels CAD-Anwendungen durch entsprechend ausgebildetes Personal schnell beurteilt und ebenso schnell angepasst und geändert werden können, sind Daten 3-dimensionaler Modelle zur Bewertung von subjektivem Eindruck der Form, von Haptik und Materialanmutung für Laien nur schwer oder gar nicht zu deuten oder abzuschätzen.

Auch zur plakativen Darstellung, für Werbung oder im Rahmen der Zusammenarbeit mit Abteilungen mit geringem technischen Bezug eignen sich Prototypen hervorragend. Je nach Zielsetzung können originalgetreue Modelle in verschiedenen Parametern wie Material oder selbst in der Größe vom späteren Produkt abweichen.

Ein Modell sagt damit mehr als tausend Bilder eines künftigen Produktes. Aber auch die Herstellung von funktionalen Einzelteilen oder Kleinserien kann zu verschiedensten Anlässen notwendig werden.

Zu diesen Zwecken bietet die Fertigungstechnik verschiedene klassische, aber auch moderne, generative Verfahren. Zu den klassischen Verfahren kann das Gießen, hier besonders das Handformverfahren, gezählt werden. Dies wird im folgenden Kapitel näher betrachtet. Moderne generative Verfahren, wie das 3D-Drucken werden im vierten Kapitel näher untersucht.

2 Gießen

2.1 Begriffsdefinition

Duden:

„aus einer durch Schmelzen flüssig gemachten Masse dadurch herstellen, dass man diese in eine entsprechende Form fließen und darin zu dem gewünschten Gegenstand erstarren lässt“

Otto von Guericke Universität Magdeburg:

„Gießen ist ein formgebendes Verfahren bei dem ein Werkstoff in flüssigem, breiigen oder plastischen Zustand unter Einfluss der Schwerkraft, der Fliehkraft oder von Druck in eine dem Fertigungserzeugnis entsprechende Form gefüllt wird und darin erstarrt.“

Gießen wird dem Oberbegriff Urformen innerhalb der Fertigungsverfahren zugeordnet. Darunter wird allgemein die Herstellung eines festen Körpers aus einem formlosen Stoff verstanden. Es wird somit eine Geometrie bestimmt und Stoffzusammenhalt geschaffen. Das Urformen wird anhand des Zustandes des Ausgangsmaterials wie folgt unterteilt [FS06]:

- flüssiger Ausgangszustand
 - Gießen
 - Druckgießen
 - Sprühkompaktieren
- breiiger Ausgangszustand
 - Keramikgießen
- gasförmiger Ausgangszustand
 - Metaldampfen
- plastischer Ausgangszustand
 - Spritzgießen
 - Extrusionsblasen
 - Extrudieren
 - Thixoforming
- körniger oder pulverförmiger Ausgangszustand
 - Sintern
- span- oder faserförmiger Ausgangszustand
- ionisierter Ausgangszustand
 - Galvanoformen

2.2 Arten des Gießens

Innerhalb des Fertigungsverfahrens Gießen können wiederum verschiedene Unterteilungen getroffen werden. Dies geschieht anhand der Gussform [GE05].

2.2.1 Formategießen

2.2.1.1 Stranggießen

Stranggießen ist ein kontinuierliches oder nicht-kontinuierliches Verfahren zum Erzeugen von Walzbarren oder Pressbolzen, auch Ronden genannt. Strangguss wird gewöhnlich im großindustriellen Rahmen (vgl. Abb.1) eingesetzt.

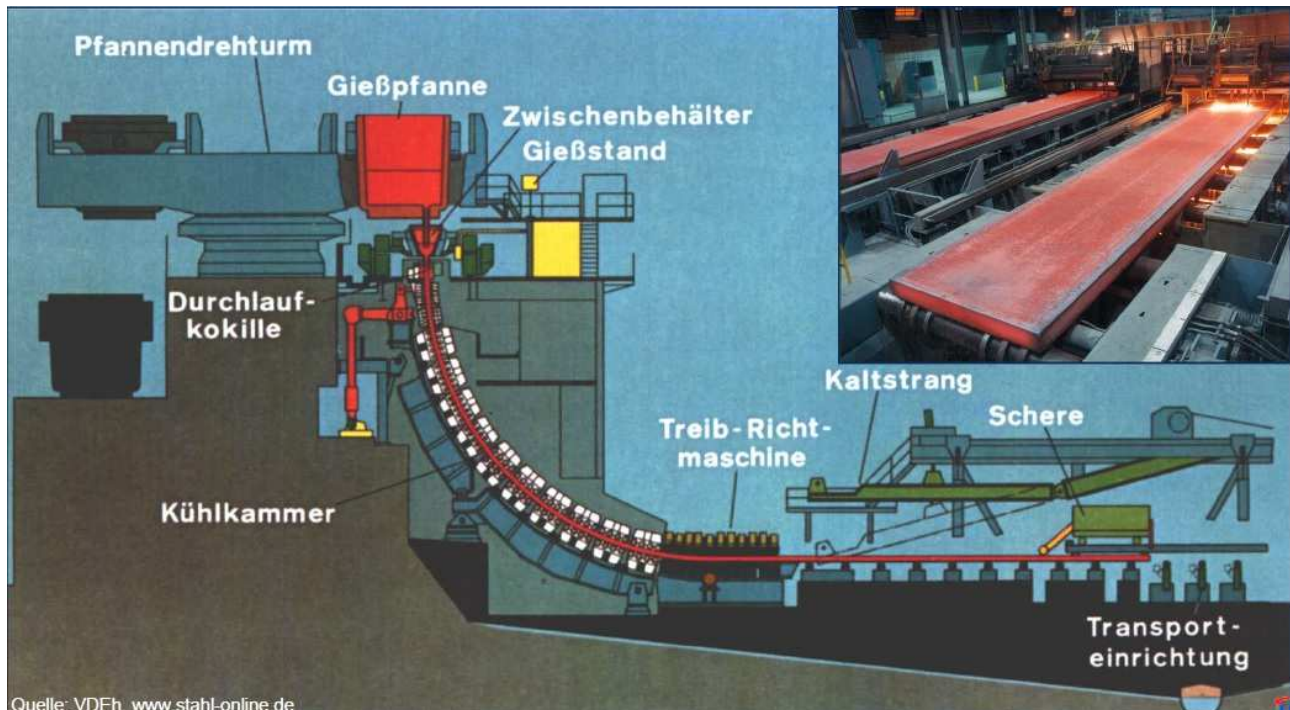


Abb. 1: Grafische Darstellung einer Anlage zum Stranggießen [Br13]

2.2.2 Formgießen

Das Formgießen wird anhand der Eigenschaften von Form und Modell wie folgt untergliedert:

2.2.2.1 Verlorene Form & Dauermodell

Maskenformgießen

Zum Maskenform- oder Croningverfahren wird eine entsprechend geformte Modellplatte auf 200°C bis 300°C erhitzt. Auf diese Platte wird ein mit Phenolharz, Bindemittel und Calciumstearat trocken umhüllter Quarzsand aufgeschüttet. Die Temperatur der Modellplatte erweicht das Phenolharz und bindet damit den Quarzsand. Die Schichtdicke des Sandes ist dabei von der Temperatur der Modellplatte abhängig. Der Formsand auf der Modellplatte wird in einem Ofen bei 300°C bis 350°C abschließend ausgehärtet. Die verlorene Form kann anschließend vom Modell getrennt werden. Mittels Heißkleber werden zwei Formhälften abschließend verbunden und können abgegossen werden.

Handformen

Beim Gießen mittels Handformen erfolgt die Erstellung der Gießform basierend auf einem Modell manuell. Das heißt, dass zum Beispiel der Quarzsand, welcher die Form bildet manuell im Formkasten verdichtet wird oder, dass Anguss, Anschnitte und Speißer per Hand gesetzt werden. Zur Erstellung großer Gussteile kann das Gießen in einer Gießgrube erfolgen, die den Formkasten ersetzt. So können Bauteile mit einer Masse von wenigen Gramm bis hin zu mehreren Tonnen hergestellt werden.

Maschinenformen

Beim Maschinenformen werden alle Aspekte des Handformens maschinell ausgeführt. Unterschiedliche Varianten des Maschinenformens erlauben maßgenaue Gussteile mit guten Oberflächeneigenschaften für kleine bis mittlere Stückzahlen.

2.2.2.2 Verlorene Form & verlorenes Modell

Feinguss

Zum Feinguss wird eine bestimmte Anzahl von Modellen aus Wachs oder einem thermoplastischen Kunststoff an einem gemeinsamen Träger zusammengefügt und bilden somit die sogenannte Traube. Diese wird in einen Schlicker aus feuerfestem Mehl und Bindemittel getaucht um eine Formschale zu generieren. Nun wird Sand auf die mit Schlicker benetzte Traube (Abb.2) gegeben. Die Beschichtung der Traube wird sooft wiederholt bis eine ausreichende Festigkeit erreicht wird. In Ausschmelzöfen wird anschließend das Wachs bzw. der thermoplastische Kunststoff bei circa 150°C ausgeschmolzen und die Formschale bei 750°C bis 1200°C gebrannt. Die ggf. erwärmte Formschale kann nun abgegossen werden. Nach dem Erstarren der Schmelz wird das Gusstück entformt, vom Gießsystem getrennt und ggf. nachbearbeitet.

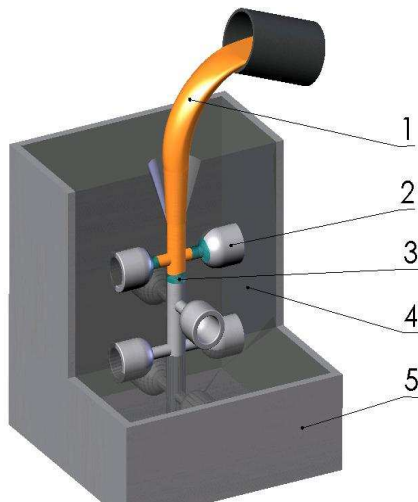
Feingießen zeichnet sich durch sehr gute Oberflächeneigenschaften des Werkstücks aus. Es können Werkstücke von etwa einem Gramm bis zu mehreren hundert Kilogramm mit geringer Toleranz erzeugt werden.



Abb. 2: Foto einer mit Schlicker beschichteten Traube zum Feingießen [MK14]

Vollformguss

Beim Vollformgießen wird ein Modell des zu gießenden Werkstücks aus Polystyrol in die Sandform eingebracht. Die Sandform weißt also keinen Hohlraum auf. Der sich bei Hitze zersetzende Polystyrol vergast beim Kontakt mit der Schmelze. Die Schmelze nimmt damit den Raum des Modells ein (Abb. 3). Die freigesetzten Gase entweichen durch den Formsand. Dieser muss entsprechend gasdurchlässig sein.



- 1 Schmelze
- 2 Modell aus Polystyrol
- 3 Verdampftes Polystyrol
- 4 Formsand
- 5 Formkasten

Abb. 3: Schematische Darstellung des Vollformverfahrens [Bo14]

2.2.3 Dauerformen

2.2.3.1 Kokillenguss

Als Kokille wird eine meist zweiteilige, metallische Gussform (Abb. 4) bezeichnet. Diese kann durch Sturzguss und Niederdruckguss mit Schmelze befüllt werden. Nach dem Erstarren der Schmelze wird die Kokille geöffnet und das Bauteil entnommen. Kokillenguss ermöglicht eine vollautomatisierte Fertigung, geringen Platzbedarf, einen porenarmen, dichten Guss sowie hohe Gießleistung.

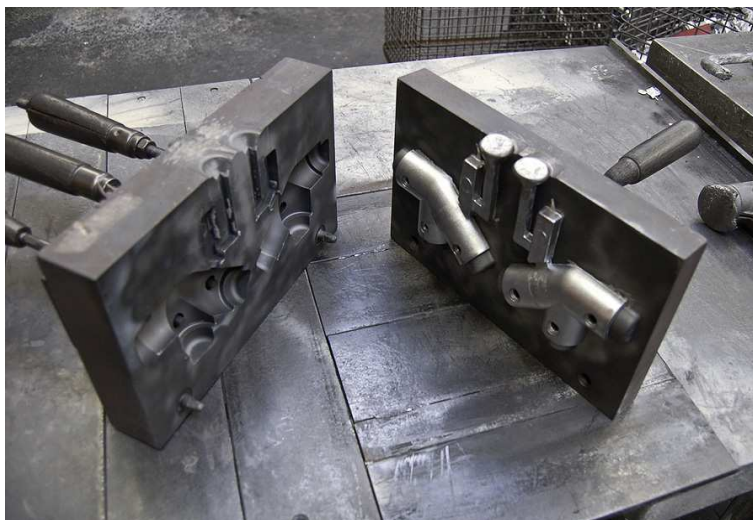


Abb. 4: Foto von Kokillenhälften und gegossenem Werkstück nach dem Kokillenguss [HA14]

2.2.3.2 Druckguss

Beim Druckguss wird Schmelze mit hohem Druck und mit hoher Geschwindigkeit in eine metallische Dauerform gepresst.

2.2.3.3 Schleuderguss

Zum Herstellen von rotationssymmetrischen Bauteilen eignet sich das Verfahren Schleuderguss. Dabei wird die flüssige Schmelze in eine rotierende Kokille gegossen. Durch Reibung wird die Schmelze ebenfalls in Rotation versetzt und durch die entstehenden Zentrifugalkräfte an die Innenwände der Kokille gepresst. Die während der Rotation entstandenen Strukturen aus erstarrter Schmelze weisen hohe Reinheitsgrade und damit hohe Festigkeit auf.

2.3 Handformverfahren

Eine der ältesten Urformtechniken stellt das Sandgießen dar. Es gehört den Gießverfahren mit Dauermodell und verlorener Form an. Hierbei wird ein Modell, das in der äußeren Gestalt dem zu erstellenden Werkstück entspricht, durch manuell verdichteten Sand abgeformt. Nach der Entnahme des Modells aus dem Sand steht ein Hohlraum zur Verfügung, welcher der Negativform des Modells entspricht. Dieser Hohlraum wird mit verflüssigtem Rohmaterial gefüllt, es wird „in die Form gegossen“. Nach dem Abkühlen und Aushärten kann das Werkstück aus der Sandform entnommen werden. Die Sandform wird bei der Entnahme zerstört. Zur Erstellung komplexerer Geometrien und zur Erhöhung der Genauigkeit wird die Sandform mehrteilig ausgelegt. Um den Fluss des Rohmaterials sicher zu stellen müssen zusätzlich verschiedene Kanäle in die Sandform eingebracht werden. Diese müssen ihrerseits verschiedenen Ansprüchen gerecht werden. Sollen Hohlräume im Werkstück vorhanden sein, müssen Kerne genutzt werden. Sandgießen wird zur Herstellung kleinster Werkstücke mit wenigen Gramm Masse (z.B. Zinnfiguren) bis hin zu Maschinenbauteilen bis hin zu 150t Masse (z.B. Schiffsschrauben) genutzt. Es entstehen so Kleinserien oder Einzelstücke.

2.3.1 Das Modell

Das Modell stellt die Vorlage für das zu gießende Objekt dar. Aus prozesstechnischen Gründen müssen an das Modell allerdings besondere Anforderungen gestellt und die Grenzen des Gießprozesses berücksichtigt werden.

So kann ein Modell einteilig ausgelegt sein, sofern das die zu gießende Geometrie erlaubt (z.B. wie in Abb. 5 dargestellt). Dies trifft zu, wenn eine Seite des Werkstückes eben ist, also für flache, Relief-artige Objekte, sofern die Dicke des Objektes nicht relevant ist („offener Herdguss“ [Br13]). Sind an allen Seiten des Objektes Konturen abzubilden, muss ein mehrteiliges Modell genutzt werden. Die Anzahl der Teilmodelle bzw. der Teilungsebenen richtet sich nach der Möglichkeit der Entnahme des Modells aus der Sandform.

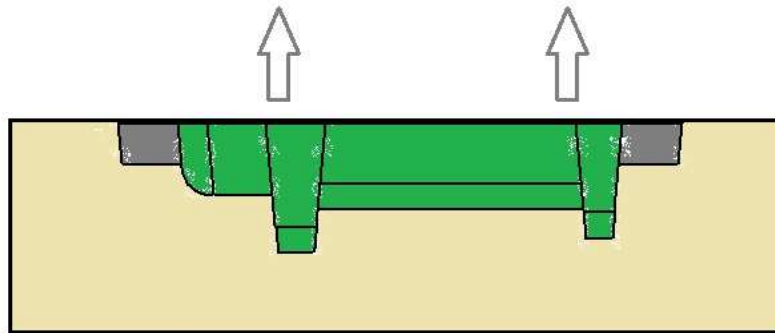


Abb. 5: Skizze einer Formkastenhälfte mit Modellhälfte; aufgrund der Geometrie lässt sich das dargestellte Modell nur in der dargestellten Richtung entnehmen, ohne die Form zu beschädigen

Um die Entnahme aus der Sandform zu ermöglichen dürfen keine Hinterschnidungen vorkommen. Hinterschnidungen sind hier all jene geometrischen Formen des Modells, welche die Entnahme aus der unzerstörten Sandform verhindern (vgl. Abb. 6).

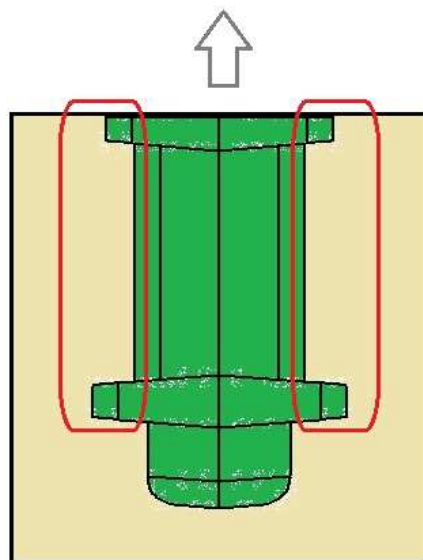


Abb. 6: Skizze eines Formkastens mit Modell; die dargestellten Bereiche der Form verhindern die zerstörungsfreie Entnahme des Modells

Um die Entnahme des Modells zu begünstigen werden weiterhin Formschrägen angebracht. Dies sind Schrägen, welche zur Entnaherichtung parallele Flächen ersetzen. Für Aluminiumwerkstücke sind dies typischerweise Schrägen mit einem Anstellwinkel von 1° bis 3° . Außerdem werden Trennmittel wie Talkum oder Graphitstaub auf das Modell aufgebracht um die Trennung vom Formsand zu erleichtern.

Auch die Schrumpfung des Rohmaterials bei der Erstarrung muss berücksichtigt werden. So sind Modelle je nach verwendetem Gussmaterial mit einem Übermaß von ca. 1%-2% zu versehen.

Werden Hohlräume generiert und kommen damit Kerne (siehe unten) zum Einsatz ist deren Lagerung im Formsand zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck können geometrische Erweiterungen des Modells, die Kernmarken, notwendig werden, welche das Erscheinungsbild des Modells im Vergleich zum späteren Werkstück zwar verändern, die Form des Gussstücks aber nicht beeinflussen.

2.3.2 Der Formsand

Als Formsand werden umgangssprachlich die zur Formherstellung verwendeten Formstoffe bezeichnet. Der Begriff leitet sich von den zur Formherstellung historisch verwendeten tonhaltigen Quarzsanden ab. Formsande müssen hochtemperaturbeständig und gasdurchlässig sein. Gleichzeitig müssen sie verdichtet werden können und so eine gewisse Stabilität gewährleisten. Dazu sind Formsande mit einem Bindemittel versehen. Dies kann Ton, Öl, Wasser oder das ebenfalls zur Kernherstellung genutzte Natriumsilikat (Wasserglas) sein. Der direkt am Werkstück anliegende Formsand kann als Modellsand bezeichnet werden. Der umliegende, weniger hochwertige Füllstoff wird als Füllsand bezeichnet.

2.3.3 Die Sandform

Je nach Art, Geometrie und Werkstückgröße können verschiedenste Sandformen zum Einsatz kommen. Zur Erzeugung kleiner und mittlerer Bauteile wird die Sandform in einem Sandformkasten erstellt und durch diesen begrenzt. Der Sandformkasten verleiht der Sandform Stabilität und ermöglicht das Verdichten des Formsandes.

Für einfache Geometrien sind, entsprechend der Art des genutzten Modells, einteilige Sandformen denkbar. Hier wird zum Beispiel ein Modell senkrecht aus der Form entnommen und das flüssige Rohmaterial in die entstandene Senke gegossen.

Wird ein komplizierteres Werkstück gemäß den obigen Ausführungen gefertigt muss eine mehrteilige Sandform genutzt werden. Der Aufwand richtet sich, wie bereits bei der notwendigen Teilung des Modells dargestellt, nach der Möglichkeit der zerstörungsfreien Entnahme des Modells aus der Sandform. Zum Verständnis sei hier eine zweiteilige Sandform (Abb. 7) genannt. Typischerweise kommen dabei ein Ober- und ein Unterkasten zum Einsatz. Die Trennfläche von Ober- und Unterkasten entspricht dabei der Teilungsebene des Modells.

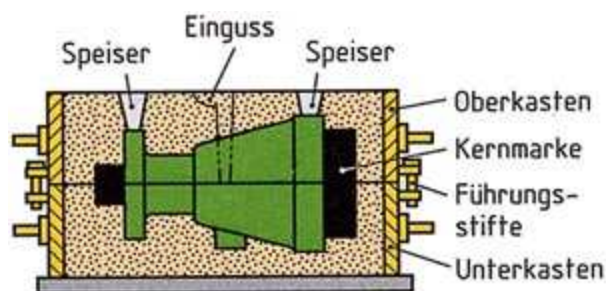


Abb. 7: Darstellung eines Modells im zweiteiligen Formkasten [GE05]

Für große Werkstücke wie zum Beispiel Schiffsschrauben kann die Sandform auch in einer eigens dafür genutzten Grube erstellt werden. Dazu werden extern gefertigte, vorverfestigte, segmentierte Sandformen in die Grube abgesenkt und dort mit weiteren Segmenten zusammengefügt. Verbleibende ungewollte Hohlräume werden mit Sand aufgefüllt und anschließend verdichtet ohne die Formsegmente zu beschädigen.

Um das geschmolzene Rohmaterial zum Ort des Erstarrens zu bringen wird im hier dargestellten Verfahren die Schwerkraft genutzt. Das heißt, die Schmelze fließt von einem Punkt oberhalb der Sandform in diese hinein. Ist die Sandform aber mehrteilig bzw. liegt eine geschlossene obere Formsandschicht vor, muss die Schmelze durch diese hindurch geleitet werden und sich im Inneren der Sandform möglichst unter gleichmäßigem Druck und gleichmäßiger Temperatur verteilen. Die dazu genutzten Kanäle werden Anguss bzw. Einguss, Lauf und Anschnitt (vgl. Abb. 8) genannt. Um der beim Erstarren auftretenden Schwindung entgegen zu wirken wird zusätzlich ein sogenannter Speiser geformt. Dieser dient als Reservoir für Schmelze, welche beim Erstarren des Werkstücks nachfließen kann.

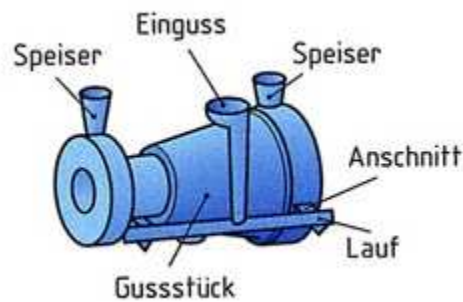


Abb. 8: Darstellung eines Werkstückes nach der Entnahme aus der Sandform [GE05]

2.3.4 Der Kern

Zur Erzeugung von Hohlräumen in Gusswerkstücken werden Kerne genutzt. Kerne füllen den Hohlraum des Modells in der Sandform an definierten Stellen aus. Die Schmelze kann diesen Raum nicht einnehmen und dort erstarren. Der Kern muss innerhalb des Hohlraums der Sandform (Abb. 9) positioniert werden. Dazu kann die Form des Modells erweitert werden. In den zusätzlich entstanden Hohlräumen, den Kernlagern, wird der Kern positioniert. Werden komplizierte Geometrien gegossen, kann das Kernblockverfahren genutzt werden. Dabei besteht die Form des Gussteils überwiegend aus einzeln hergestellten Kernen, welche auch die Außenform des Gussstücks definieren, es wird daher auch von Außenkernen gesprochen. Die Außenseite des Modells bildet dann eine glatte Fläche und stellt die Kernmarke dar.

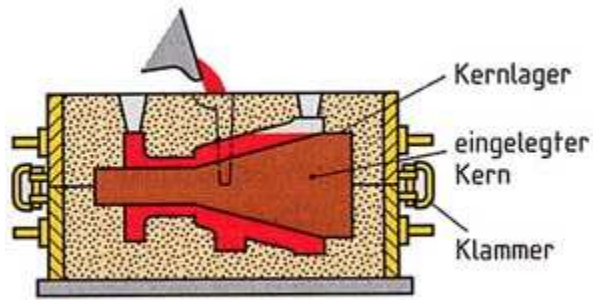


Abb. 9: Darstellung einer Sandform während des Gießprozesses [GE05]

Um den Kern nach dem Erstarren der Schmelze entfernen zu können, muss dieser, sofern Hinterschneidungen vorliegen, zerstört werden. Dazu kann er, ähnlich der Form, aus Sand (z.B. wie Abb. 10) hergestellt werden.

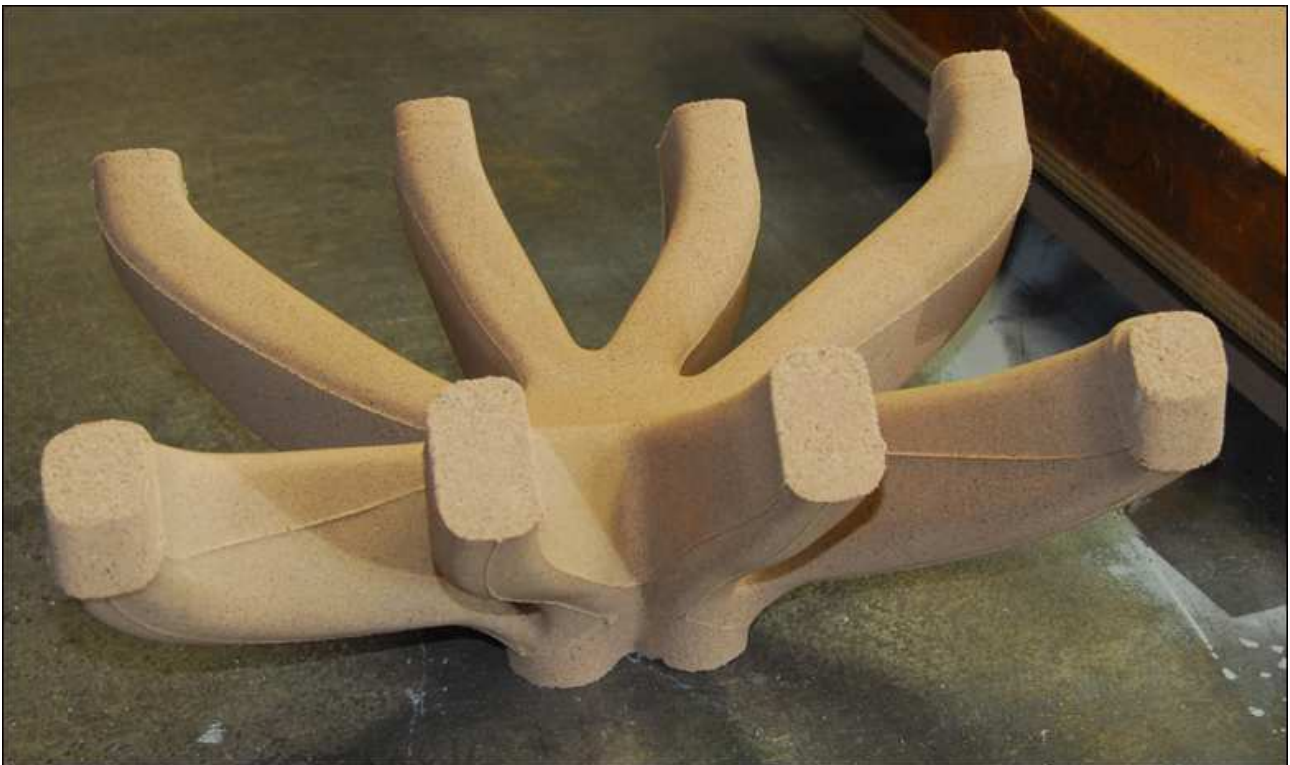


Abb. 10: Foto eines Kerns aus Formsand; aufgrund der Geometrie wäre die Entnahme eines massiven Kerns aus dem Werkstück nicht möglich [JE12]

Auftriebskräfte im Inneren der Hohlräume, das Eigengewicht des Kerns und thermische und mechanische Belastung beanspruchen den Kern. Daher ist der Kern aus Sand durch geeignete Verfahren herzustellen. Zunächst muss der Kern, da die mechanische Verdichtung des Sandes keine ausreichende Festigkeit gewährleistet, zusätzlich verfestigt werden. Hierzu können Bindemittel zum Einsatz kommen. Diese härten zum Beispiel den mit Natriumsilikat (auch Wasserglas genannt) versetzten Kernsand unter Zufuhr von CO_2 und gegebenenfalls Wärme aus.

Natriumsilikat reagiert dabei mit Kohlenstoffdioxid zu Siliziumdioxid und Natriumcarbonat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$).

Nach dem Aushärten kann der Kern mit einer Schlichte überzogen werden. Dies verbessert die Oberflächengüte des Kerns und damit die Oberflächengüte der Werkstückinnenseite. Die Schlichte schützt den Kern zusätzlich vor der thermischen Belastung der Schmelze.

2.3.5 Der Gusswerkstoff

Zum Gießen eignen sich prinzipiell all jene Stoffe, welche aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand übergehen können. Dies können auch Harze, Kunstharze oder andere Kunststoffe sein. Zur besseren Handhabung können entsprechende Rohstoffe schmelzbar sein, so dass der Ausgangsstoff fest ist, im flüssigen Zustand vergossen werden kann und anschließend wieder eine feste Form annimmt. Die Ursache der Änderung des Aggregatzustandes, ob Zufuhr und Abgabe von thermischer Energie, wie das Schmelzen und Erstarren von Metallen, oder chemische Prozesse, wie das Aushärten von Kunststoffen (Duroplaste) ist dabei von prozess-technischer Bedeutung. Je nach spezifischem Verwendungszweck des Gusstückes und den damit verbundenen notwendigen Materialeigenschaften können metallische Werkstoffe gegossen werden. Dazu eignen sich sowohl Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, welche auch als Gusseisen bezeichnet werden, Nicht-Eisen-Metalle und deren Legierungen als auch Leichtmetalle. Die charakteristischen Eigenschaften des Werkstoffes im festen und im flüssigen Zustand, aber auch das Verhalten beim Zustandsübergang müssen beachtet werden. Je nach Wahl des Werkstoffes muss der Gießprozess entsprechend gewählt werden bzw. gestaltet sein.

2.3.6 Der Gießprozess

Der Gießprozess setzt sich aus einer Vielzahl von Teilprozessen zusammen, welche teils parallel durchgeführt werden können. Andere Prozessabschnitte sind zwingend voneinander abhängig. Eine entsprechende Vorbereitung und Ablaufplanung hilft einen sicheren Prozessablauf zu gewährleisten.

Zunächst muss anhand der vorgegebenen Werkstückmaße und unter Berücksichtigung der Schwindung des erstarrenden Rohmaterials ein Modell erstellt werden. Dies geschieht zumeist durch einen spezialisierten Modellbauer. Modelle werden üblicherweise aus Kunststoff, Holz oder Metall hergestellt. Um eine geeignete Oberflächengüte zu erreichen wird es meist lackiert. Spezielle Bereiche des Modells wie z.B. die Kernmarken werden mit standardisierten Farbtönen versehen. Wie bereits dargestellt muss auf die Teilung des Modells besonders Wert gelegt werden. Wird ein zweiteiliges Modell und somit eine zweiteilige Sandform verwendet so wird zunächst eine Modellhälfte im Sandform-Unterkasten mit der Teilungsfläche auf der zuvor gereinigten, ebene Arbeitsfläche positioniert. Dabei ist auf die spätere Position von Einguss und Speißer zu achten. Zunächst wird das Modell nun mit einem Trennmittel bestäubt und anschließend mit Formsand bedeckt. Um homogene Eigenschaften des Sandes zu erzielen empfiehlt sich die Nutzung eines Siebes. Der Sand wird anschließend per Hand oder mittels mechanischer Unterstützung verdichtet. Es ist darauf zu achten, dass alle Bereiche des Sandes im Formkasten verdichtet werden. Die Nutzung von Füllsand kann die Kosten des Vorgangs reduzieren. Nachdem der Unterkasten vollständig mit verdichtetem

Sand gefüllt ist, wird der aus dem Formkasten überstehende Sand mit einem Abstreifeisen entfernt. Der Unterkasten kann nun gewendet werden. Auf ihm wird nun der Oberkasten befestigt. Die starre Arretierung von Ober- und Unterkasten gewährleistet eine exakte Positionierung im weiteren Ablauf der Formherstellung und wirkt dem Auftrieb durch die Schmelze entgegen.

Auf das Modell, dessen untere Hälfte in der Sandform des Unterkastens verbleibt, wird nun die obere Modellhälfte aufgesetzt. Dazu ist bei der Modellherstellung eine geeignete Verbindung der Modellhälften zu berücksichtigen. Bohrungen in den Modellhälften, um diese mit Stiften zu verbinden eignen sich im dargestellten Beispiel besonders. Nachdem nun Formkastenhälften und Modellhälften verbunden sind, wird wiederum Trennmittel auf die Modelloberhälfte und auf die Trennfläche der Sandform aufgetragen. Jetzt wird die obere Formkastenhälfte mit Sand befüllt und entsprechend verdichtet. Ein erneuter Einsatz des Abstreifeisens vereinfacht die weitere Arbeit. Ist nun der Formsand ausreichend verdichtet, werden die Formkastenhälften vorsichtig getrennt. Die Oberhälfte wird gewendet und auf der Außenfläche abgelegt. Es werden anschließend die Modellhälften, welche sich noch in der jeweiligen Formhälfte befinden, sorgfältig entfernt. Hierbei helfen die Bohrungen zur Positionierung der Modellhälften.

Mit einem geeigneten Werkzeug, z.B. Spatel und Schraubendreher, werden nun Anguss, Lauf, Anschnitt und Speißer eingebracht. Ist es unter Anbetracht der Werkstückgeometrie nötig diese teilweise im Unterkasten zu platzieren ist auf dessen Position in Bezug zum Oberkasten zu achten. Position und Dimensionierung von Anguss, Lauf, Anschnitt und Speißer müssen der Werkstückgeometrie, den Eigenschaften der Schmelze und der Möglichkeit des gleichmäßigen Einflusses der Schmelze Rechnung tragen. Anschließend werden Kanten abgerundet die Formhälften von losem Sand gereinigt.

Nun kann ein Kern in die Form eingebracht werden. Kerne werden häufig ebenfalls durch Gießerei-externe Dienstleister gefertigt. Auch sie können aus Formsand, ggf. mit Kerneisen bei Großgussformen versehen, bestehen, sofern Hinterschneidungen eine Zerstörung des Kerns nach dem Gießen erfordern. Kann der Kern aufgrund günstiger Geometrie nach dem Erstarren der Schmelze entnommen werden, können auch Dauerkerne aus Metall verwendet werden. Ein Kern aus Formsand kann erstellt werden, indem mit Bindemittel versetzter Formsand in eine Negativform gefüllt und verdichtet wird. Zum Aushärten können die bereits beschriebenen Methoden genutzt werden. Der ggf. mit Schlichte überzogene Kern wird mit Trennmittel versehen und mittels seiner Kernmarken in die Kernlager des Formunterkastens eingesetzt. Ein auftretendes Spiel ist durch Auffüllen mit Formsand zu kompensieren. Danach kann der Formoberkasten aufgesetzt werden. Kernentlüftungen sind zu berücksichtigen, sofern die beim Gießen im Kern entstehenden Gase nicht ausreichend durch den Formsand der Kernmarken abgeführt werden können.

Parallel zur Formerstellung kann das Rohmaterial durch einen Ofen geschmolzen werden. Dazu kann auf verschiedenste Weise Energie eingebracht werden. Neben der Möglichkeit der Wärmeeinwirkung durch eine Flamme, kann Energie in Form elektromagnetischer Felder induziert werden. Aber auch der Einsatz von Lichtbögen ist gebräuchlich. Das Rohmaterial ist ungeachtet der Energieeinbringung deutlich über den entsprechenden Schmelzpunkt zu erhitzen um eine ausreichende Verflüssigung und damit einen ungestörten Schmelzefluss zu gewährleisten. Die Materialausdehnung beim Erhitzen ist zu berücksichtigen. Gegebenenfalls kann beim Schmelzen entstehende Schlacke vom Schmelzebad abgeschöpft werden. Der

Arbeitsschutz ist im Umfeld des Ofens besonders von Bedeutung. Mit einem Tiegel, einer Gießkelle oder einem anderen geeigneten Werkzeug wird nun die flüssige Schmelze vom Ofen zur Gussform verbracht und in den Anguss gegossen. Dazu können an Speißer und Anguss rohrförmige Verlängerungen aufgesetzt werden, um den Durchfluss des Angusses zu verbessern und um dem Speißer zusätzliches Volumen bereitzustellen. Ein geeignetes Sieb am Anguss kann die Schmelze vor Verunreinigungen schützen.

Der Einfluss der Schmelze, der Fluss durch Anguss, Anschnitt und Lauf sowie die das Befüllen der Sandform und die damit verbunden Strömung und Wirbelbildung können die Qualität des Gefüges maßhaltig beeinflussen. Hier kann trotz umfassender praktischer Erfahrung noch immer Potential für die Forschung identifiziert werden.

Auch das Temperaturregime der Sandform spielt eine erhebliche Rolle für das Gefüge. Dies gilt sowohl für die Temperatur des Formsandes vor dem Eingießen der Schmelze als auch für das langsame ggf. verzögerte Abkühlen von Schmelze und Sandform.

Ist die Schmelze in Gänze erstarrt, kann das Werkstück aus der Sandform entnommen und der Kern entfernt werden. Diese werden dabei im Allgemeinen zerstört. Anschließend muss das Werkstück mit einer Bürste von Sandresten befreit werden. Anschnitte, Speißer und Gushäute werden abgetrennt. Die Oberfläche des Werkstückes kann anschließend durch Schleifen oder Polieren nachbearbeitet werden. Saubere Metallreste können erneut eingeschmolzen werden. Ist der Formsand nicht verschmutzt kann dieser ebenfalls erneut genutzt werden.

2.3.7 Auftrieb und Schwindung

Wird die Schmelze in die Sandform gegossen, so bewirkt diese in Abhängigkeit ihrer Dichte und der Werkstückgeometrie einen Auftrieb (Abb. 11). Dieser übt Kraft auf den Kern und den Sandform-Oberkasten aus. Dem Auftrieb wirkt die Gewichtskraft des sandgefüllten Oberkastens und des Kerns entgegen. Daher kann es notwendig werden den Oberkasten fest mit dem Unterkasten zu verbinden oder den Oberkasten durch ein Gewicht zu beschweren. Der Auftrieb errechnet sich dabei wie folgt [Br13] [Has14]:

$$\begin{aligned} \Sigma F_{\text{Auftrieb}} &= F_A + F_K - F_{gK} \\ &= V_S * \rho_{\text{Schmelze}} * g + V_K * \rho_{\text{Schmelze}} * g - V_{K \text{ mK}} * \rho_{\text{Quarzsand}} * g \end{aligned}$$

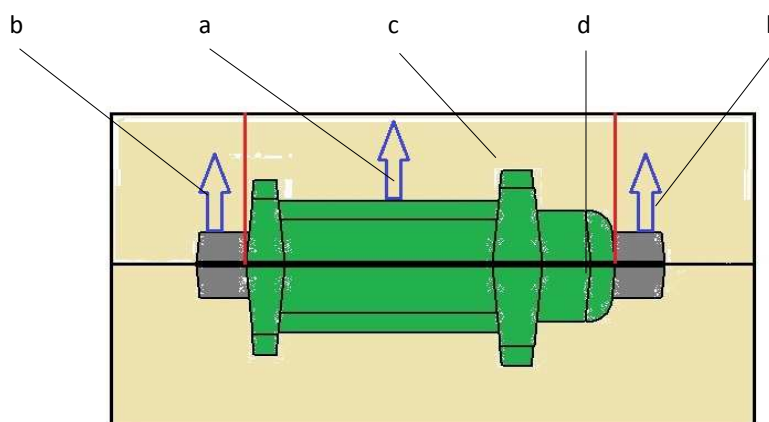


Abb. 11: Darstellung der Auftriebskräfte auf den Formoberkasten

F_A :	Auftrieb des Formoberkastens	a
F_K :	Auftrieb des Kerns, welcher auf die Kernlager wirkt	b
F_{gK} :	Gewichtskraft des Kerns	
V_S :	Volumen des Formsandes über dem Modell	c
$V_{K(mK)}$:	Volumen des Kerns ohne (mit) Kernmarken	d
$\rho_{\text{Schmelze/Quarzsand}}$:	Dichte der Schmelze/des Quarzsandes	
g :	Fallbeschleunigung	

Beim Erstarren der Schmelze nimmt deren Volumen in drei Phasen (vgl. Abb. 12) ab. Zunächst verringert sich das Volumen der flüssigen Schmelze bis zum Erreichen der Liquidustemperatur. Es wird von flüssiger Schrumpfung gesprochen. Diese wird durch Nachfließen von Schmelze aus dem Speißer bzw. Angussystem ausgeglichen. Darauf folgt die Erstarrungsschrumpfung - eine sprunghafte Volumenverringerung im Bereich des Erstarrungsintervalls. Abschließend kommt es bei der weiteren Abkühlung bis zur Raumtemperatur zu einer weiteren Volumenkontraktion – der festen Schwindung.

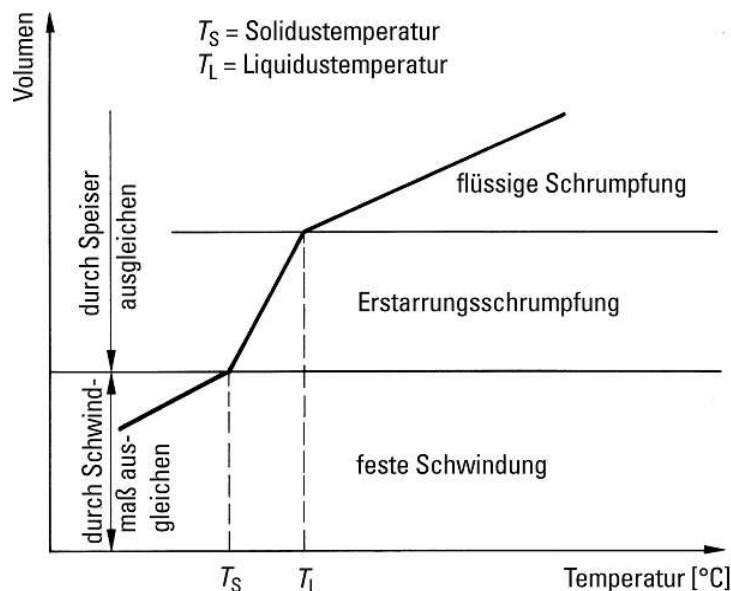


Abb. 12: V-T-Diagramm der erstarrenden Schmelze [Has14]

Die Schwindung kann errechnet werden durch:

$$\text{Volumenschwindung} = (V_{\text{Schmelze}} - V_{\text{Werkstück}}) / V_{\text{Werkstück}} * 100\%$$

Die Schwindung von Volumen und von Längenmaßen muss unterschieden werden. So wird beispielsweise in Gießereien mit materialspezifischen Übermaßen gearbeitet. Ein 102 cm langer Maßstab wird dabei für ein später 100 cm langes Werkstück aus Stahl genutzt. Die Bemaßung erfolgt entsprechend der Länge des abgekühlten Werkstückes.

2.3.8 Gießgerechte Gestaltung

Um ein qualitativ hochwertiges Gussstück herzustellen gilt es eine Vielzahl von Faktoren zu beachten. Neben dem Reinheitsgrad der Schmelze und der Güte des verwendeten Formsandes ist eine gießgerechte Gestaltung von Modell, Form und Angussystem wesentlich. Damit wird den Eigenschaften der flüssigen und erstarrenden Schmelze Rechnung getragen. So können durch die im Folgenden dargestellten Maßnahmen Gießfehler vermieden und der Gießprozess unterstützt werden.

Materialanhäufungen (wie in Abb. 13 und 14) führen lokal zu einer verlangsamten Erstarrung und zu einer stärkeren absoluten Schrumpfung. Sie entstehen auch durch nachteilig gestaltete Wanddickenübergänge, ungünstige Kantenverrundungen sowie Knotenpunkte. Als Folge können sich Hohlstellen und Lunker bilden.

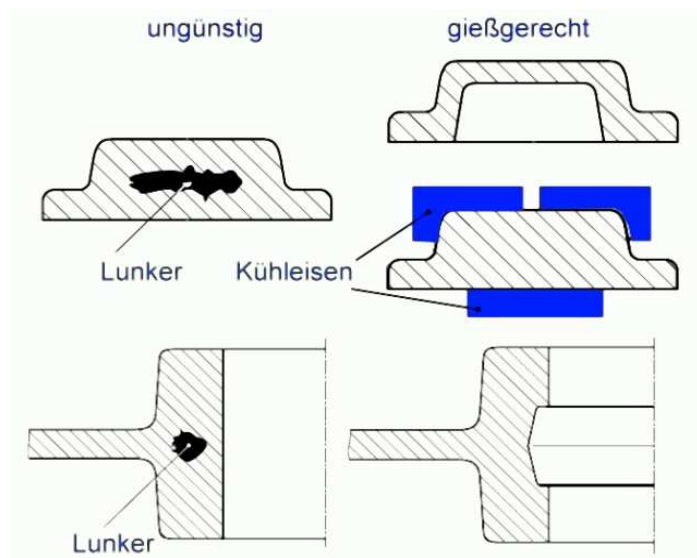


Abb. 13: Darstellung der gießgerechten Gestaltung eines Werkstückes; Materialanhäufungen sind zu vermeiden [FS06]

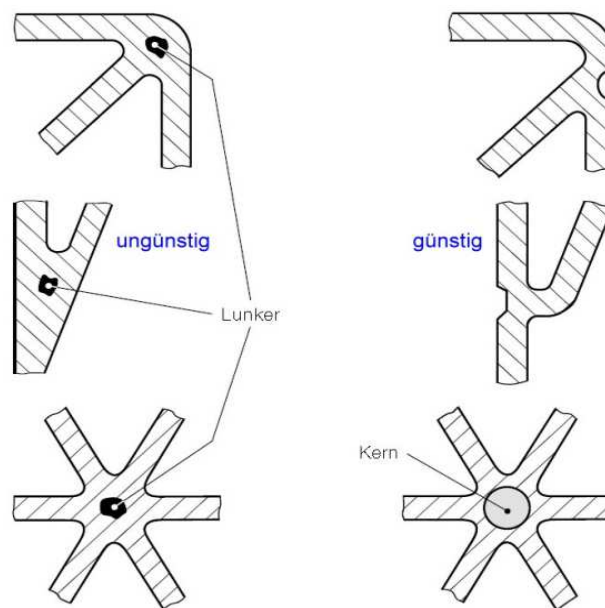


Abb. 14: Darstellung der Erzeugung von Knoten unter Gesichtspunkten der gießgerechten Gestaltung; Materialanhäufungen sind zu vermeiden [FS06]

Unnachgiebige Geometrien wie Sternverrippung (Abb. 15) erhöhen die Gefahr von Rissen und Verzug durch Schwindungsspannungen.

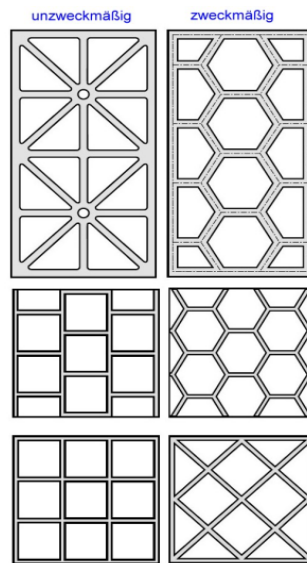


Abb. 15: Darstellung der Erzeugung starrer Strukturen unter Gesichtspunkten der gießgerechten Gestaltung [FS06]

Eine ungünstige Teilung von Modell und Sandform birgt die Gefahr des Versatzes (Abb. 16). Dadurch wird die Maßhaltigkeit gestört und es kann zu Gratbildung kommen, welche zumindest der Nachbearbeitung bedarf.

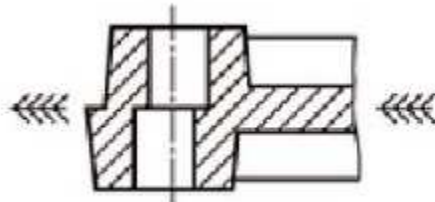


Abb. 16: Darstellung von Versatz als mögliche Folge von Positionierungsfehlern der Modellhälften [FS06]

Die gießgerechte Gestaltung betrifft aber nicht nur den Gießvorgang und das erstarrte Werkstück. Auch eine möglichst einfache und zerstörungsfreie Entnahme des Modells aus der Sandform gewährleistet ein entsprechendes Gussstück. Dazu wird das Modell mit Formschrägen (Abb. 17) versehen. Hinterschneidungen am Werkstück sind, wann immer möglich, zu vermeiden, da sie einen hohen Aufwand bei der Formherstellung erfordern und durch die Anzahl der nötigen Teile der Sandform die Gefahr von Gießfehlern erhöhen. Auch Kerne erhöhen das Risiko von Gießfehlern und verteuern die Formherstellung.

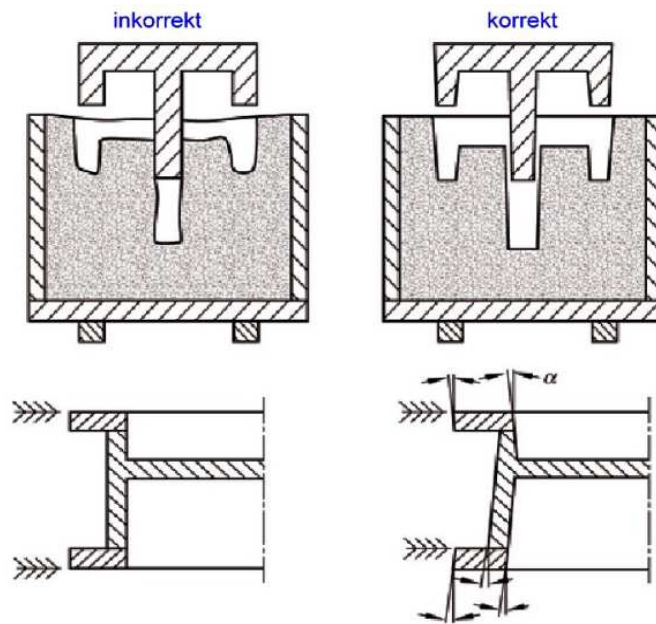


Abb. 17: Darstellung der Nutzung von Formschrägen zur besseren Entnahme des Modells aus dem Formsand [FS06]

Ebenfalls sind scharfkantige Übergänge zu vermeiden, diese erschweren den Schmelzfluss und führen aufgrund von Spannungen zu Rissbildung.

3 Praktikum

Um Studierenden mit theoretischen Kenntnissen zur Thematik Gießen aus Vorlesungen der Studienrichtungen Maschinenbau oder Verfahrenstechnik tiefer gehendes Wissen zu vermitteln und einen praktischen Einblick zu ermöglichen empfiehlt es sich, das Gießen praktisch durchzuführen. Dies kann im Rahmen eines Hochschulpraktikums erfolgen. Dazu gilt es, verschiedene, voneinander abhängige Faktoren zu berücksichtigen. Dies sind u.a.:

- Personal
 - Anzahl der Studierenden
 - Anzahl der Betreuer
- Werkstück
 - Wahl des Gussmaterials
 - Geometrie und Größe des Werkstückes
- Ausstattung der Werkstatt
 - Volumen und Schmelzleistung des Ofens
 - vorhanden Werkzeuge
- Zeitliche Abläufe
 - Herstellung des Modells
 - Herstellen der Sandform
 - Herstellen des Kerns
 - Schmelzen des Rohmetalls
 - Erstarren der Schmelze
 - Nachbearbeitung des Werkstücks
 - Vor- und Nachbereitung der Werkstatt
- Didaktik
 - Kenntnisstand der Studierenden
 - Schwerpunkt der zu vermittelnden Kenntnisse
 - Inhalt und Umfang theoretischer Anteile

Zunächst müssen zur Durchführung eines Praktikums infrastrukturelle Voraussetzungen gegeben sein. Das heißt, es wird eine Werkstatt mit ausreichend Platz und geeigneter materieller Ausstattung benötigt. Neben haushaltsüblichen Werkzeugen wie Hammer, Pfeile, Schraubendreher usw. werden folgende Materialien und Werkzeuge (siehe auch Anlage 1) benötigt:

3.1 Materialien und Werkzeuge

Gusssand/Formsand

Als Gusssand wird häufig ein ölhaltiger Quarzsand verwendet. Je nach Bedarf können unterschiedliche Grade von Körnung Anwendung finden. Gusssand muss hitzebeständig und gasdurchlässig sein. Wird Sand mit verschiedenen Eigenschaften in einem Formkasten verwendet, so wird der Sand am Modell als Modellsand, der übrige Sand als Füllsand bezeichnet.

Graphitstaub

Graphitstaub dient als Trennmittel zwischen Modell und Sand bzw. zwischen dem Sand der Formkastenhälften.

Gusshammer/Stopfer/Hammer

Zum Verdichten des Formsandes kann ein Gusshammer/Stopfer genutzt werden. Ein handelsüblicher Hammer kann zum Lösen des Formsandes aus dem Formkasten zum Einsatz kommen.

Ofen/Induktionsofen

Um den metallischen Werkstoff zu schmelzen wird ein Ofen benötigt. Neben der zu schmelzenden Materialmenge muss bei der Wahl eines geeigneten Ofens auch das Schmelzverfahren berücksichtigt werden. Neben der Wärmeeinbringung durch eine Flamme kann das Ausgangsmaterial u.a. durch elektromagnetische Induktion erwärmt und anschließend verflüssigt werden. Induktionsöfen weisen einen höheren Wirkungsgrad auf, sind aber entsprechend kostenintensiv. Aspekte des Arbeitsschutzes spielen aufgrund auftretender Temperaturen von Flamme und Werkstoff als auch der Stärke der elektromagnetischen Felder eine bedeutende Rolle.

Lanzette

Lanzetten sind in verschiedensten Größen erhältlich und dienen der Vorbereitung des verdichtenden Formsandes. Mit ihr können u.a. Lauf und Anschnitte geformt werden.

Gießkelle/Tiegel

Eine Gießkelle (Abb. 18 rechts) dient zum Transport der Schmelze bzw. zum Gießen der Schmelze in den Anguss. In Verbindung mit einer Gießzange kann dazu auch ein Tiegel (Abb. 18 links) genutzt werden, in welchem das Rohmaterial ebenfalls geschmolzen werden kann.



Abb. 18: Tiegel und Gießkelle zum Schmelzen des Rohmaterials bzw. zum Transport der Schmelze [AS14]

Sieb

Ein Sieb (Abb. 19) dient zum gleichmäßigen, feinen Auftragen des Formsandes auf das Modell bzw. zum Befüllen des Formkastens mit einer homogenen Sandfüllung.



Abb. 19 : Sieb zum Erzeugen homogenen Formsandes [AS14]

Abstreifeisen

Das Abstreifeisen dient dem Glätten des verdichteten Sandes an den Außenseiten der Formkastenhälften.

Formkasten

Zwei Formkastenhälften (Abb. 20) begrenzen den Formsand und ermöglichen diesen zu verdichten und damit zu verfestigen. Die Formkastenhälften müssen positionierbar zueinander und arretierbar ausgelegt sein.



Abb. 20: Zweiteiliger Formkasten mit Verbindungselementen [AS14]

Schutzbekleidung

Schutzbekleidung trägt der Verletzungsgefahr beim Gießen Rechnung. Sowohl vor hoher thermischer Belastung als auch vor mechanischer Beanspruchung muss Schutz geboten werden. Zur Schutzbekleidung sind dem Gießer mindestens Handschuhe, Schürze (Abb. 21 rechts) und Gesichtsschutz (Abb. 21 links) bereitzustellen.



Abb. 21: Beispiele für Schutzbekleidung: Gesichtsschutz und Schürze [AS14]

3.2 Arbeitsschutz

Dem Aspekt der Arbeitssicherheit kann nicht genug Bedeutung zugemessen werden. Nicht nur das Bereitstellen entsprechender Schutzbekleidung sondern auch die Schaffung eines umfänglichen Sicherheitsbewusstseins von Praktikumssteilnehmern aber auch der Durchführenden muss gewährleistet sein. Neben einer theoretischen Belehrung muss auch während der Durchführung strikt auf die Beachtung der Sicherheit geachtet werden. Nachlässigkeiten können, gerade in der Handhabung der flüssigen Schmelze mit über 700°C, nicht hingenommen werden, da die Gefahr und das Ausmaß möglicher Verletzungen enorm sind. Das Bereithalten von Verbandsmaterial und Feuerlöscher wird dringend empfohlen.

3.3 Das Werkstück

Je nach erwünschtem Schwerpunkt des Praktikums eignen sich verschiedenste Werkstückformen um das Gießen praktisch zu vermitteln. Sollen lediglich grundlegende Kenntnisse im Umgang mit Rohstoff und Werkzeugen vermittelt werden eignet sich das Gießen eines Reliefs, bei dem gegebenenfalls auf eine mehrteilige Sandform und das Angusssystem verzichtet werden kann. Damit lassen sich allerdings wesentliche Fähigkeiten des Gießverfahrens, wie das Erstellen von Hinterschneidungen am Werkstück, die Nutzung von Kernen und die Auswirkungen der gießgerechten Gestaltung nicht aufzeigen. Es soll daher ein komplexeres, aber noch immer geometrisch relativ einfaches Werkstück entstehen. Je nach verfügbarer Ausstattung der Werkstatt kann dessen Größe bzw. Volumen natürlich variiert werden. Es muss ein geeignetes Verhältnis der Größe des Werkstückes zur Größe des Formkastens gefunden werden, welches es erlaubt eine handliche Bauteilgröße zu erlangen und an jeder Stelle der Form genügend Formsand anzusammeln und zu verdichten um ausreichend Halt der Sandform zu gewährleisten.

Das herzustellende Werkstück soll damit folgende Eigenschaften aufweisen:

- **Hinterschneidungen:**
Eine der wesentlichen Möglichkeiten des Sandgussverfahrens soll gezeigt werden.
- **Nutzung eines Kerns:**
Die Möglichkeit Hohlräume und Hinterschneidungen innerhalb von Gusswerkstücken durch den Gießvorgang selbst zu erzeugen soll dargestellt werden.
- **Formteilung:**
Durch die Nutzung von Formteilung soll deutlich werden, wie Hinterschneidungen erzeugt werden und Kerne zum Einsatz kommen.
- **Verschiedene Wanddicken:**
Die Auswirkungen verschiedener Wanddicken auf das fertige Werkstück soll den Stellenwert gießgerechter Gestaltung deutlich machen.
- **Kanten und Kantenverrundungen:**
Die möglichen Auswirkungen scharfer Kanten des Modells bzw. der Sandform auf das fertige Werkstück sollen verdeutlicht werden. Damit wird die Notwendigkeit von Kantenverrundung gezeigt.

- **Entformungsschrägen**

Die Rolle von Entformungsschrägen zur Verringerung des Risikos der Beschädigung der Sandform bei der Entnahme des Modells soll hervorgehoben werden.

- **Verwendung von waagerechten Flächen**

Die Gefahr von Schlacke- bzw. Lufteinschlüssen bei der Verwendung zu großer waagerechter Flächen in Verbindung mit einem ungünstigen Angussystem soll erkannt werden.

Die dargestellten Kriterien lassen sich mit folgendem Werkstück (Abb. 22; Anlage 5a) abbilden:

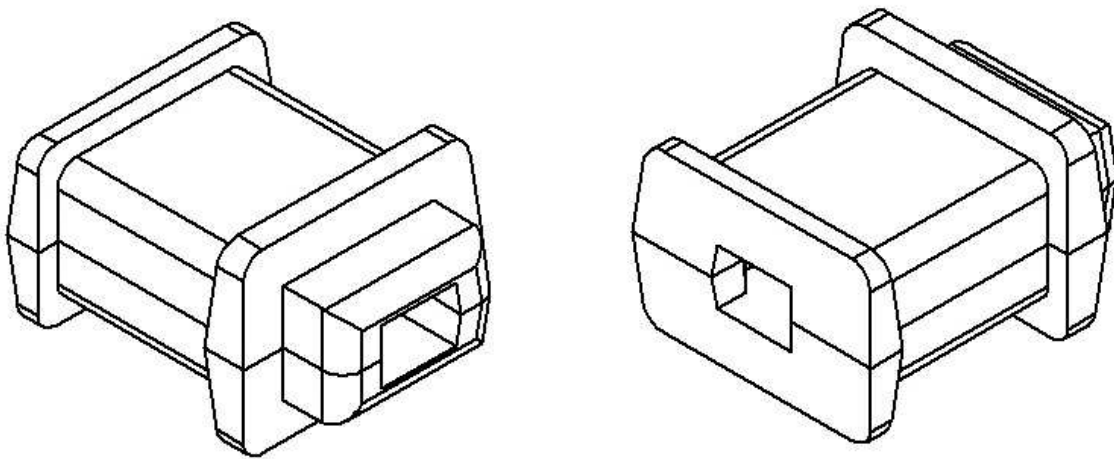


Abb. 22 : Abbildung eines möglichen Werkstückes in isometrischer Ansicht

Dazu werden folgendes Modell (Abb. 23 links; Anlage 5b) und folgende Kernform (Abb. 23 rechts; Anlage 5c) benötigt:

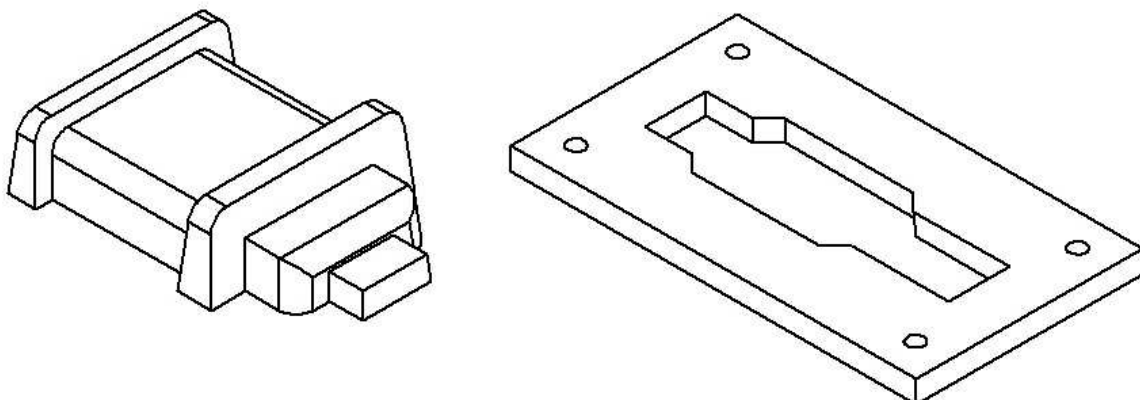


Abb. 23: Abbildung von Modell und Kernform zur Erzeugung des Werkstücks und des Kerns

3.4 Werkstoffauswahl

Da im Fokus des hier dargestellten Gießpraktikums nicht die Verwendung des entstehenden Werkstücks, sondern der Gießprozess an sich im Mittelpunkt der Betrachtung steht, soll ein typischer, gut gießbarer Rohstoff verwendet werden. Es ist eine hohe Fluidität der Schmelze anzustreben. Diese Fließfähigkeit ist eine wesentliche Einflussgröße für die Gestaltung des Angussystems. Metalle, welche durch entsprechende Erwärmung über die Schmelztemperatur hinaus verflüssigt werden können eignen sich dazu sehr gut und sind Thermoplasten vorzuziehen, welche sich bei zu starker Erwärmung zersetzen. Alternativ könnten duroplastische Kunstharze zum Einsatz kommen, welche ebenfalls eine hohe Fluidität aufweisen. Diese werden mit geringen Mengen eines chemischen Binders versetzt und härten innerhalb einiger Stunden aus. Kunstharze weisen ähnlich den Metallen Schwindung auf. Damit wäre es möglich, viele Aspekte der gießgerechten Gestaltung zu untersuchen und den hohen Aufwand, die hohen Kosten und das Gefahrenpotential bei der Erzeugung metallischer Schmelze zu vermeiden.

Da im Rahmen des hier dargestellten Praktikums jedoch Wert auf den gesamten Prozess des Metall-Gießens gelegt wird empfiehlt es sich einen metallischen Werkstoff zu nutzen und diesen auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu wählen. Ein wesentlicher Kostenfaktor für den Gießprozess in diesem Rahmen stellt die Anschaffung eines geeigneten Schmelzofens dar. Die Preise solcher Öfen steigen mit dem notwendigen Gussvolumen und der maximalen erreichbaren Schmelztemperatur. Die Verwendung eines Gusswerkstoffs mit niedriger Schmelztemperatur berücksichtigt daher zumindest einen dieser Faktoren. Betrachtet man das nutzbare Volumen des Schmelzofens kann dies zu Beschränkungen im Volumen des zu erstellenden Gusswerkstückes führen. Genügt die Schmelzleistung des Ofens können auch mehrere Schmelzvorgänge schnell nacheinander durchgeführt werden. Dazu werden zusätzliche Aufbewahrungsmöglichkeiten wie Tiegel benötigt. Das Abgießen der Sandform sollte aber in einem Gussvorgang erfolgen. Soll auf die Anschaffung eines teuren Schmelzofens verzichtet werden, kann gegebenenfalls auf die Verwendung eines Schweißbrenners zurückgegriffen werden. Es muss beachtet werden, dass die hohe Temperatur der Flamme den Gusswerkstoff räumlich nur sehr begrenzt erwärmt und unter Beachtung des Schmelzvolumens möglicherweise nicht zielführend ist.

Als Werkstoff soll damit Aluminium genutzt werden. Aluminium besitzt eine niedrige Schmelztemperatur und geringe Dichte. Es ist ungiftig, einfach und günstig zu beschaffen und leicht mechanisch zu bearbeiten. Aluminium ist als Granulat erhältlich und kann damit sehr gut dosiert und dem Schmelzofen zugeführt werden.

Dichte ρ (Raumtemperatur):	ca. 2,7 g/cm ³
Dichte ρ (760°C):	ca. 2,3 g/cm ³
Schmelztemperatur T_S :	660°C
Gießtemperatur T_C :	> $T_S + 100^\circ\text{C}$
Schwindung:	linear ca. 1,2%

Damit ergeben sich folgende Eigenschaften:

Modell:

Länge:	95 mm	
Breite:	60 mm	
Höhe:	22,50 mm	x 2
Volumen (mit Kernmarken):	58.688 mm ³	x 2

Kern:

Volumen (ohne Kernmarken):	26.457 mm ³
Volumen (mit Kernmarken):	31.885 mm ³

Entstehendes Werkstück (theoretisch)

Schrumpfung (linear)	ca. 1,2%	
Länge:	95 mm x 0,988	= 93,9 mm
Breite:	60 mm x 0,988	= 59,3 mm
Höhe:	22,5 mm x 0,988	= 22,2 mm
Volumen:	85.491 mm ³ x 0,988 ³	= 82.450 mm ³
Masse:	82.450 mm ³ x 2,7 mg/mm ³	= 220 g

Formschrägen: 1°- 3° (zur Verdeutlichung sollen im Praktikum 5° genutzt werden)

Bei Nutzung eines Formsandkastens der Maße 200 mm x 100 mm x 100 mm ergibt sich somit eine Auftriebskraft auf die obere Formkastenhälfte von:

$$\begin{aligned}
 \Sigma F_{\text{Auftrieb}} &= F_A && + F_K && - F_{g \text{ Kern}} \\
 &= V_S \cdot \rho_{\text{Schmelze}} \cdot g && + V_K \cdot \rho_{\text{Schmelze}} \cdot g && - V_{K \text{ mK}} \cdot \rho_{\text{Quarzsand}} \cdot g \\
 &= g \cdot \rho_{\text{Schmelze}} \cdot (V_S + V_K) && && - V_{K \text{ mK}} \cdot \rho_{\text{Quarzsand}} \cdot g \\
 &= 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,3 \text{ g/cm}^3 \cdot 158.953,3 \text{ mm}^3 && && - 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,65 \text{ g/cm}^3 \cdot 31.885,5 \text{ mm}^3 \\
 &= 3,59 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 && && - 0,83 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \\
 &= 2,76 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \\
 &= \underline{\underline{2,76 \text{ N}}}
 \end{aligned}$$

(Ausführliche Rechnung in Anlage 2)

Es muss beachtet werden, dass hier der Auftrieb, welcher durch das Angussystem erzeugt wird, nicht berücksichtigt ist.

3.5 Durchführung

Aufgrund des erheblichen zeitlichen und handwerklichen Aufwands müssen vor Beginn des Praktikums Modelle (je 2 Modellhälften je Praktikumsgruppe) und Kernformen (je 2 Hälften je Praktikumsgruppe) hergestellt werden. Um den zeitlichen Aufwand weiter zu reduzieren kann die Kernherstellung, welche später dargestellt wird, ebenfalls vor dem Praktikum erfolgen.

Das Praktikum selbst sollte mit einer theoretischen Einweisung und Wissensvermittlung (z.B. Anlage 3 & 4) beginnen. Hier kann das Gießen im Kontext der Fertigungsverfahren kurz dargestellt werden. Ablauf und Durchführung des Gießens müssen erörtert werden. Als Abschluss der Einweisung sollte der Aspekt der Arbeitssicherheit betont werden.

Sofern der theoretische Anteil nicht schon in der Werkstatt durchgeführt wurde, sollte die Sicherheitsbelehrung dort noch einmal erfolgen. Hier kann auf die örtlichen Gegebenheiten eingegangen werden.

Anschließend können die zur Anwendung kommenden Werkzeuge genannt und vorgeführt werden. Nach dem Anlegen der Schutzkleidung kann nun die Formherstellung beginnen. Dies erfolgt gemäß dem Abschnitt „2.3.3. Die Sandform“ und wird mit den Abbildungen 24 bis 26 noch einmal kurz dargestellt:

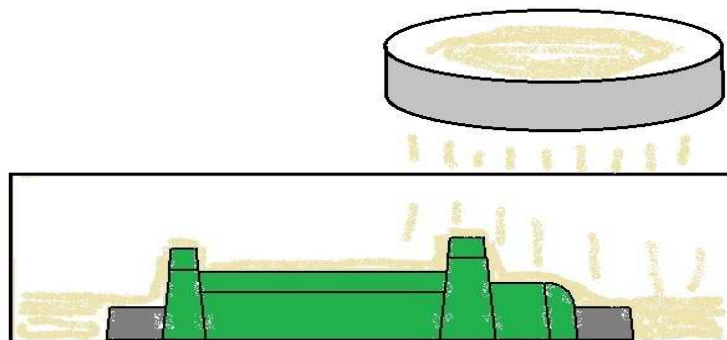


Abb. 24: Darstellung der Formherstellung; die im Formunterkasten positionierte Modellhälften wird mit Formsand bestreut

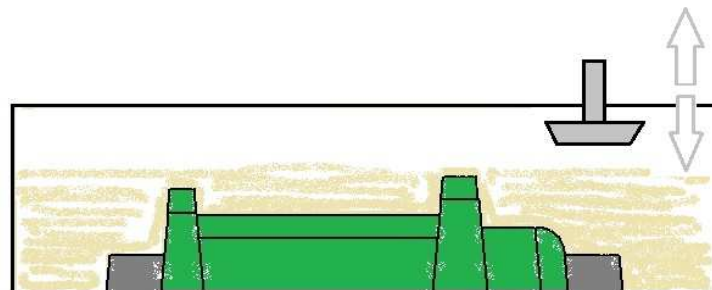


Abb. 25: Darstellung der Formherstellung. Der Formsand wird manuell verdichtet

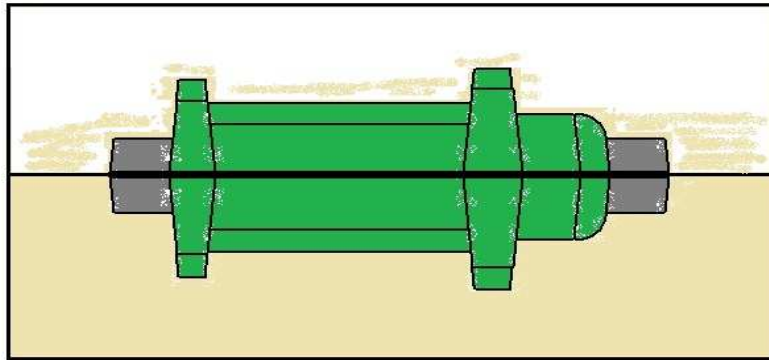


Abb. 26: Darstellung der Formherstellung; die zweite Modellhälfte wird im Formoberkasten auf dem Unterkasten positioniert und mit Sand bedeckt

Die Herstellung der Form wird durch das Einbringen des Angussystems (Abb. 27) abgeschlossen.

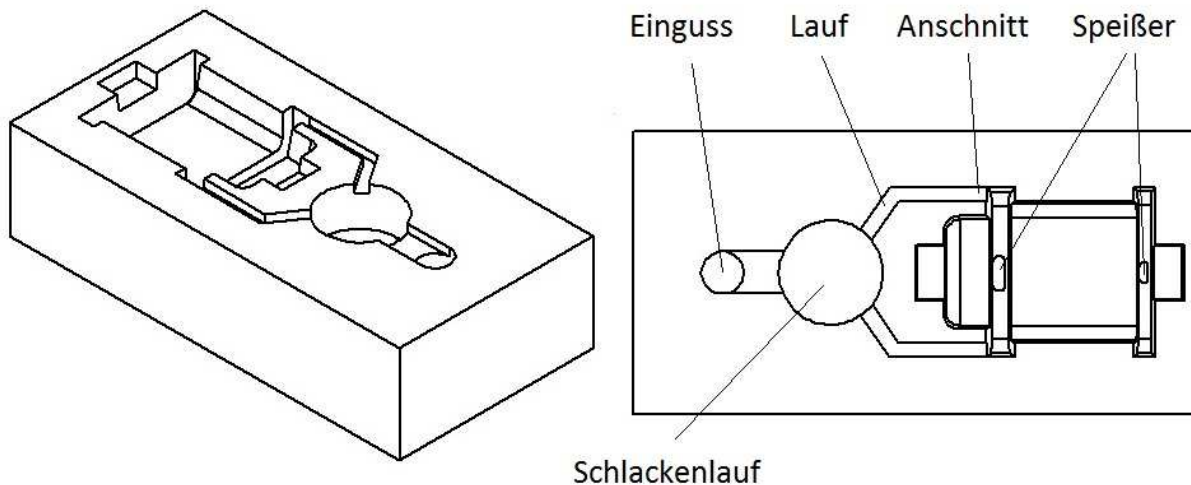


Abb. 27: Darstellung eines möglichen Angussystems im Formoberkasten

Die Erstellung des Angussystems kann durch manuelles Entfernen von Formsand aus der Sandform erfolgen. Alternativ können für diese Strukturen auch eigene Modelle gefertigt werden. Dies ermöglicht die mehrmalige Erzeugung einer komplexen und präzisen Struktur. In diesem Fall können auch Schlackenlauf und Eingusstümpel [MPK09] berücksichtigt werden. Der Eingusstümpel dient der Verringerung der Einflussgeschwindigkeit und damit einer gleichmäßigen Strömung der Schmelze beim Eingießen in die Sandform. Der Schlackenlauf dient dem Trennen von leichter Schlacke und schwererer Schmelze bei geringer Fließgeschwindigkeit.

Sofern der Kern nicht bereits vorbereitend erstellt wurde ist dieser anschließend durch die Praktikanten herzustellen. Dazu wird zunächst die Gestalt des Kerns durch Verdichtung von Formsand in der Kernform (Abb. 28) geschaffen.

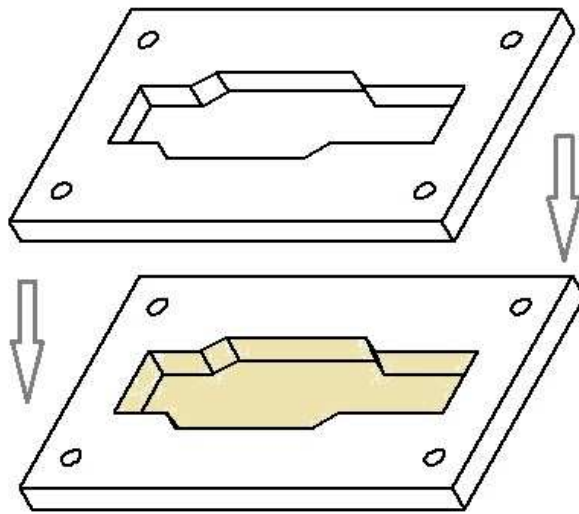


Abb. 28: Darstellung einer mögliche zweiteilige Form zur Erstellung des Kerns

Da der Halt des verdichteten Formsandes seinem Eigengewicht und dem Auftrieb nicht stand zu halten vermag muss dieser noch gehärtet werden. Dazu eignet sich die CO_2 -Begasung des mit Bindemittel versetzten Formsandes. Dies kann mit weitestgehend haushaltsüblichen Mitteln erfolgen. Als Bindemittel wird Natriumsilikatlösung benötigt. Dazu wird die Kernform mit dem verdichtetem Formsand und ein Gefäß mit etwas Essig(-säure) in einem verschließbaren, luftdichten Behälter platziert. Unter Zugabe von Soda wird CO_2 frei. Das Bindemittel härtet den Formsand. Diesem Prozess sollten mehrere Stunden eingeräumt werden. Der gehärtete Kern kann anschließend aus der Kernform entnommen und in die Sandform eingesetzt und eingepasst werde.

Die Formkastenhälften werden dann aufeinander gesetzt und verbunden. Es können zusätzliche Steigrohre und ein Schmelzesieb auf den Oberkasten aufgesetzt werden.

Nun kann das im Ofen aufgeschmolzene Rohmaterial vergossen werden. Bei der Bestückung des Ofens ist zuvor auf die Volumenausdehnung des Rohmaterials zu achten. Je nach Ausführung des Ofens kann eventuell entstandene Schlacke abgeschöpft und die Schmelze mittels einer Schöpfkelle oder mittels Tiegel und Tiegelzange zur Gießform verbracht werden. Die Befüllung der Gießform sollte langsam, gleichmäßig und unter größter Sorgfalt erfolgen. Eventuell auftretender Schmelzespritzer begegnet man mit Schutzbekleidung und Gesichtsschutz.

Es empfiehlt sich, die Schmelze am Ort der Lagerung für die Erstarrungszeit einzufüllen, da so unnötige Bewegungen der Form vermieden werden können und somit die Gefahr die Form zu schädigen reduziert wird.

Nach dem Verfestigen der Schmelze kann das Werkstück aus der Sandform entnommen und zunächst von grober Verschmutzung gereinigt werden. Der freiwerdende Formsand sollte für eine nochmalige Verwendung grob gesiebt und gesammelt werden.

Das Werkstück kann nun erstmalig begutachtet werden. Auffälligkeiten an Werkstück und Anguss können unmittelbar notiert werden. Anschließend sollte das Angusssystem mittels Trennschleifer, Säge oder Meißel entfernt werden. Die in der Fertigung folgenden Nacharbeiten wie Entgraten, Schleifen oder Polieren sollten im Rahmen des Praktikums ausbleiben.

Das Gießerergebnis kann nun ausgewertet werden. Dazu ist das Werkstück zu vermessen und Gießfehler und deren vermutete Ursache sind zu dokumentieren. Auch das Angusssystem kann bewertet werden. Zur Analyse kann es ebenfalls nötig sein, das Werkstück an der Teilungsebene zu zertrennen. Damit kann der, durch den Kern entstandene Hohlraum, betrachtet werden und eventuelle Gießfehler im inneren des Werkstücks werden sichtbar.

Im Weiteren wäre eine Untersuchung des Gefüges des Werkstoffs möglich. Dies übersteigt aber die Zielsetzung dieses Praktikums.

4 Generative Verfahren

Eine noch junge Ausprägung der Urformverfahren stellen generative Verfahren dar. Diese Verfahren erlauben eine ähnlich gute Materialausnutzung wie das Gießen, benötigen aber weniger Arbeitsschritte. Ihr Energiebedarf kann geringer ausfallen. Der zeitliche Aufwand für generative Verfahren, unter Berücksichtigung aller zum Gießen notwendigen Arbeitsschritte zur Erstellung eines Einzelstücks, ist aufgrund der Reduzierung der Arbeitsschritte deutlich geringer. Die Möglichkeit der schnellen Erzeugung eines Produktes aus der Idee heraus verleiht diesen Verfahren den Namen „Rapid Prototyping“

4.1 Rapid Prototyping

Zur schnellen Erstellung von Prototypen, Modellen und Kleinstserien kann heute die Methode des „Rapid Prototyping“ genutzt werden. Dazu wird zunächst ein digitales Modell des zu erstellenden Objektes mittels eines CAD-Programms am PC entworfen. Ein spezielles Programm teilt das CAD-Modell in Schichten, sogenannte Slices, auf. Mittels eines 3D-Druckers kann das digitale Objekt anschließend schichtweise aus verschiedensten Materialien realisiert werden.

Als 3D-Drucker werden umgangssprachlich all jene Maschinen bezeichneten, bei denen ein 3-dimensionales Objekt durch additive/generative Verfahren erzeugt wird. Die Art um den Zusammenhalt des Ausgangsmaterials zu erzeugen wird allerdings nicht berücksichtigt. Diese Unterscheidung soll hier erfolgen. Je nach Methode unterscheiden sich Material, Fertigungsgeschwindigkeit, Fertigungsgenauigkeit, Stabilität und die Freiheit der Gestaltungsmöglichkeiten der zu erstellenden Objekte.

4.2 Direct Croning

Eine Weiterentwicklung des Maskenform- oder Croningverfahrens stellt das sogenannte Direct-Croning-Verfahren dar [ABDM09]. Hier wird der beim Croningverfahren genutzte Quarzsand mit Hilfe eines Lasers lokal mit Energie beaufschlagt und damit gebunden. Entsprechend modernen Rapid-Prototyping-Verfahren (speziell dem Laser-Sintern, s.u.) wird Schicht für Schicht Quarzsand gebunden (vgl. Abb. 29). Es entstehen beliebige 3-dimensionale Strukturen. Dies eignet sich sowohl zur Herstellung von Gussformen als auch zur Herstellungen von Innen- und Außen-Kernen (Abb. 30). Gussformen können je nach Gestaltung also bereits gießbereit produziert werden. Die kostenintensive Herstellung von Modellen entfällt. Notwendige Änderungen und Anpassungen können schnell und mit geringem Aufwand am PC erfolgen und direkt umgesetzt werden.

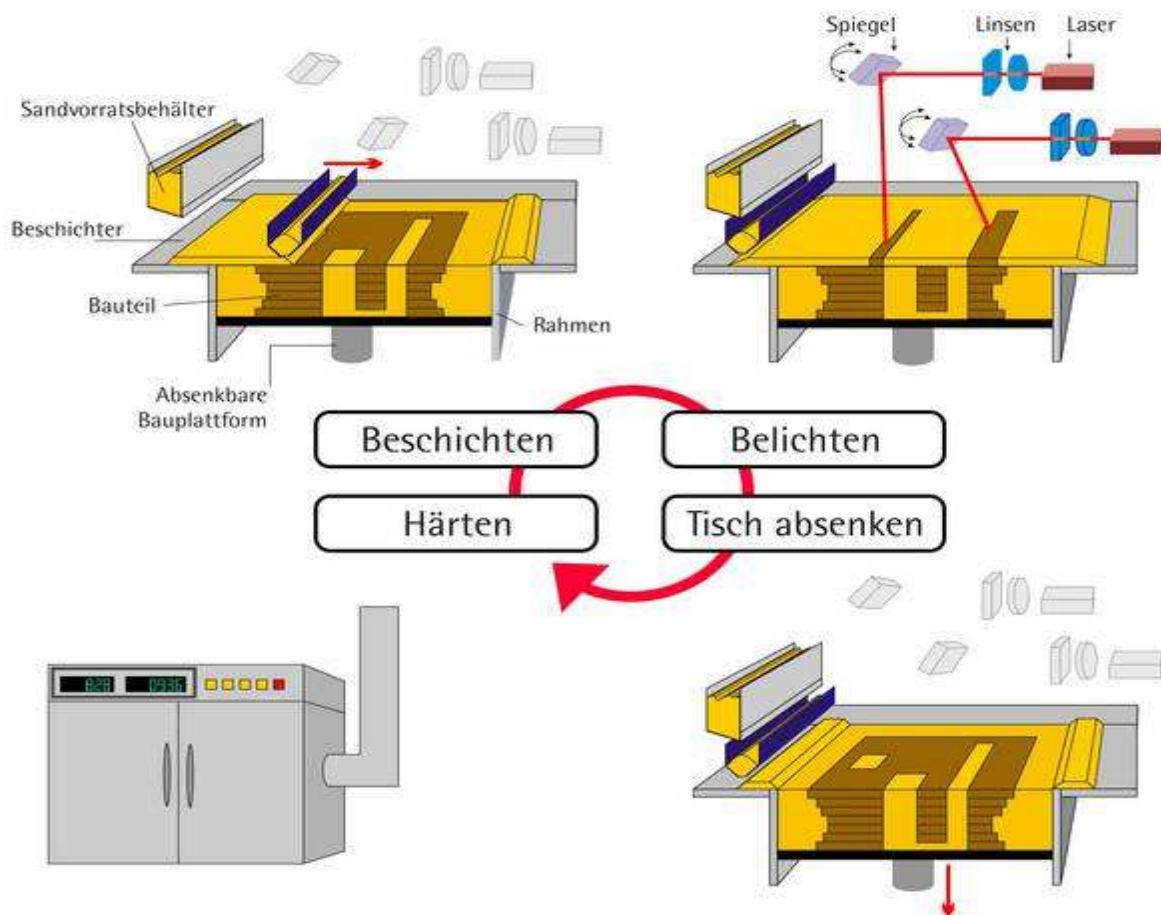


Abb. 29: Prozessdarstellung des Direct-Curing-Verfahrens [AC14]



Abb. 30: Foto eines Sandkerns, wie er mittels Direct Curing erzeugt werden kann; dieser wird hier mit Schichten überzogen [VO14]

4.3 3D-Printing/CJP - Colorjet Printing

Beim ursprünglich als 3D-Drucken bezeichneten Verfahren wird ein Kunststoffpulver mit einem Bindemittel versetzt und damit Zusammenhalt hergestellt. Durch gefärbtes Bindemittel können mehrfarbige Objekte (z.B. Abb.31) erzeugt werden. Zunächst wird eine dünne Schicht des Kunststoffpulvers auf einer Arbeitsfläche eben verteilt. Daraufhin werden vom Druckkopf die zu verfestigenden Anteile bestrichen. Durch Absenken der Arbeitsfläche und erneutes Bestreichen mit einer unbehandelten Schicht

Kunststoffpulver wird das Benetzen der zweiten Schicht vorbereitet. Dies wird wiederholt bis das Objekt, eingebettet in unverfestigtem Kunststoff, seine Form angenommen hat. Abschließend muss das Objekt nur noch aus dem Drucker entnommen und von nicht verfestigtem Kunststoff befreit werden.

Diese Methode ermöglicht die Erstellung beliebiger Formen ohne Zuhilfenahme von Stützstrukturen, die dem Datensatz zugefügt werden müssten.

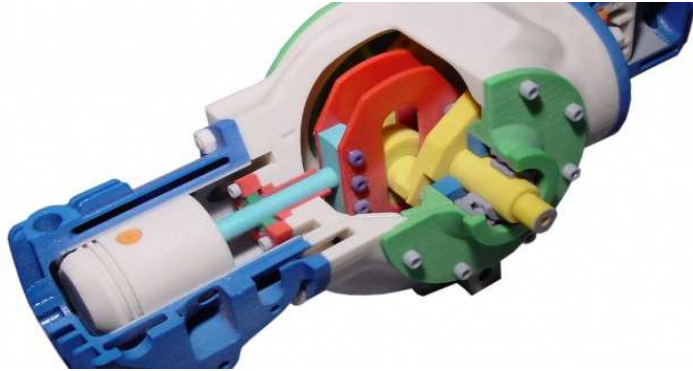


Abb. 31: Foto eines mittels CJP-Verfahrens hergestellten Modells eines Verbrennungsmotors; das Modell wurde in einem Druckvorgang erstellt [3D14]

4.4 FDM – Fused Deposition Modeling

Durch das FDM-Verfahren rückte das 3-D-Drucken in den Fokus der Öffentlichkeit. Dank einer enthusiastischen Internetgemeinde, Crowd-Funding-Initiativen, Open-Source-Software und einfacher technischer Realisierung mit wenigen spezialisierten Bauteilen können mit geringem Kostenaufwand Drucker (Abb. 32) selbst konstruiert, aufgebaut und selbstständig verbessert werden. Vom Start-Up-Unternehmen bis zur Elektronik-Handels-Kette werden nunmehr FDM-Drucker in verschiedensten Größen von ca. 250€ bis hin zu wenigen tausend Euro angeboten. Je nach Preisklasse unterscheiden sich Druckgenauigkeit (ab ca. 0.1 mm horizontal), Geschwindigkeit, die maximale Bauteilgröße (ab 0,5 l bis zu wenigen Litern) erheblich.

Beim FDM-Verfahren wird ein Kunststoffdraht der Dicke 1,75 mm oder 3 mm, in seltenen Fällen auch Kunststoffgranulat, aufgeschmolzen und durch die Düse des Druckkopfes an die entsprechenden Stellen der Arbeitsfläche schichtweise aufgetragen. Je nach Material (z.B.: PLA oder ABS) werden Schmelztemperaturen von 180°C bis 250°C genutzt. Die Arbeitsfläche kann um einen stabilen Halt mit der ersten Kunststoffschicht zu erzeugen mit Klebstoff benetzt sein, oder als sogenanntes Heizbett ausgeführt sein. Das heißt, die Arbeitsfläche wird elektrisch beheizt und hält auf diese Weise die erste Kunststoffschicht. Durch hohe Temperaturunterschiede zwischen Heizbett, Druckkopf und Druckmaterial entstehen schnell Verspannungen im Kunststoff und damit Verzug. Ein Verzug, welche die erste Kunststoffschicht beim Druckvorgang vom Heizbett löst macht den Abbruch den Druckvorgangs notwendig.

Bei 3D-Druckern des FDM-Verfahrens ist das Einrichten der Position des Druckkopfes zur Arbeitsfläche eine erste Maßnahme, welche die Qualität des Druckes erheblich beeinflusst. Der Abstand des Druckkopfes zur Arbeitsfläche muss in jeder Position identisch sein. Das heißt, die Arbeitsfläche muss exakt eben sein.

Dieses Kriterium ist bei beheizten Arbeitsflächen der unteren Preisklasse nur schwer umsetzbar.

Das FDM-Verfahren kann keine „frei-schwebenden“ Strukturen erzeugen. Um diese zu realisieren muss auf Hilfsmittel zurückgegriffen werden. Es müssen also Stützstrukturen verwendet werden. Diese können aus dem eigentlich Druckmaterial oder aus wasserlöslichem Zusatzmaterial bestehen. Für zusätzliches Material wird ein weiterer Druckkopf benötigt. Dies erhöht die Kosten des Gerätes.

Auch die Implementierung der Stützstruktur im 3D-Modell muss beachtet werden. Dies kann als integrierter Bestandteil der Drucker-Software realisiert sein oder muss manuell ergänzt werden.

Neben den teilweise hohen Anschaffungskosten führt dies dazu, dass dieses Verfahren derzeit noch erheblichen Aufwand bedarf und technische und handwerkliche Fähigkeiten voraussetzt, die den erwarteten Durchbruch dieser Technologie für den Haushaltsgebrauch bremsen.

Neueste Versuche mit einer metallischen Paste, welche als Metal Clay bezeichnet wird und in der Schmuckherstellung verwendet wird, ermöglicht das Drucken von metallischen Strukturen. Nach dem schichtweise Auftragen, der breiigen Metallpaste muss diese noch aushärten. Dazu wird die Struktur gebacken.

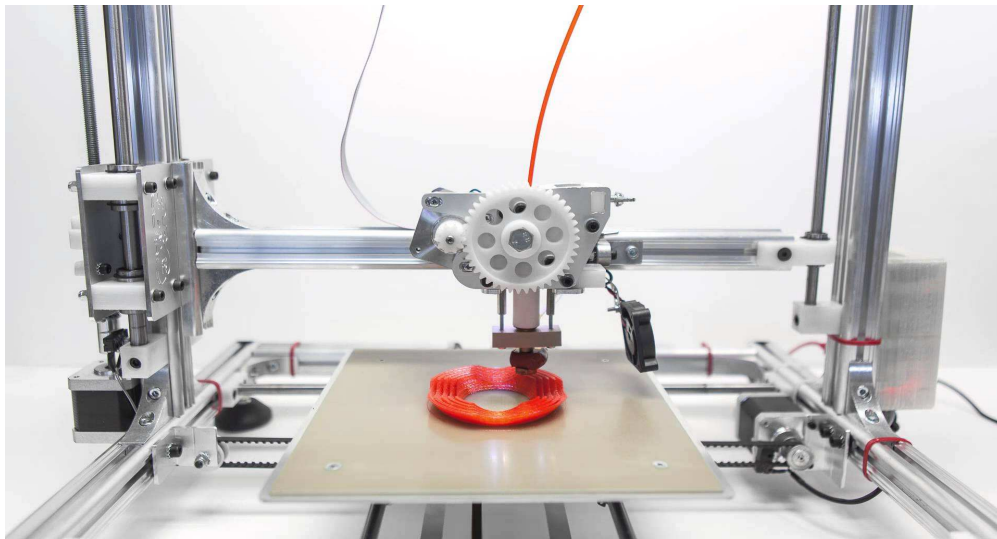


Abb. 32: Foto eines FDM-Druckers Velleman K8200 während des Druckvorgangs mit PLA-Kunststoff [VE14]

4.5 LOM - Laminated Object Manufacturing

Das LOM-Verfahren verarbeitet einen aufgewickelten Folienfilm als Rohmaterial. Dieser wird über eine Arbeitsfläche gezogen, dort entsprechend zurechtgeschnitten und erhitzt. Anschließend senkt sich die Arbeitsfläche eine Schichtdicke nach unten ab. Es wird anschließend neue Folie über die Arbeitsfläche gezogen, zurecht geschnitten und auf die darunter liegende Folienschicht laminiert. Der Vorgang wird wiederholt bis die gewünschte Struktur entstanden ist (vgl. Abb. 33). Ähnlich dem FDM-Verfahren sind Geometrien nicht ohne Einschränkungen erstellbar. Ein weiterer Nachteil besteht im nicht wiederverwendbaren Rohmaterial welches nach dem Zuschnitt einer Schicht übrig bleibt.

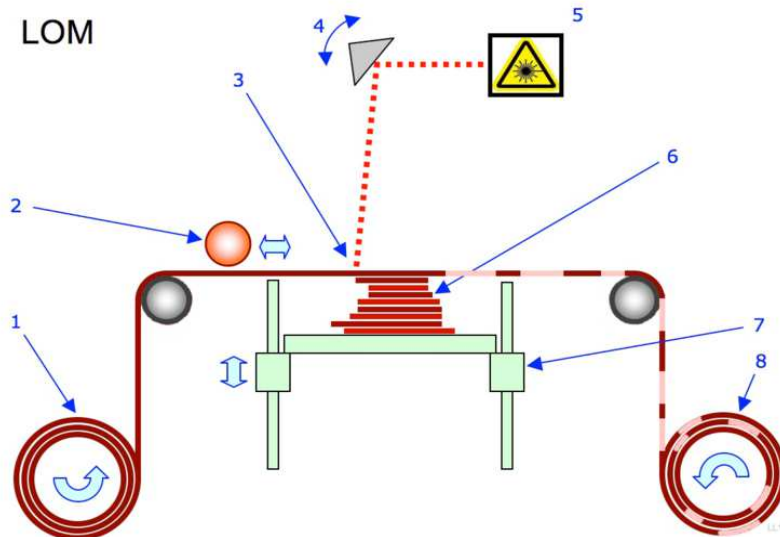


Abb. 33: Prozessdarstellung des LOM-Verfahrens [LVL14]

4.6 MJM - Multi Jet Modeling

Das MJM-Verfahren, auch Polyjet-Verfahren genannt, nutzt UV-empfindliche Photopolymere, welche mit einem Druckkopf ähnlich einem Tintenstrahldrucker in flüssiger Form aufgetragen werden. Nach dem Auftragen wird die jeweilige Schicht mit einer UV-Lampe ausgehärtet. Nun wird entweder der Druckkopf um eine Schichtdicke erhöht oder die Arbeitsfläche entsprechend abgesenkt. Die nächste Polymer-Schicht wird aufgetragen. Ähnlich dem FDM-Verfahren werden gegebenenfalls Stützstrukturen benötigt.

Mit Hilfe dieses Verfahrens wurde bereits erfolgreich Spritzgussformen (Abb. 34) hergestellt. Diese eignen sich bisher nur zur Herstellung einiger weniger Kunststoffteile, ermöglichen aber im Vergleich zur Herstellung einer klassischen Spritzgussform enorme Kosteneinsparungen und schnelle Formanpassungen.

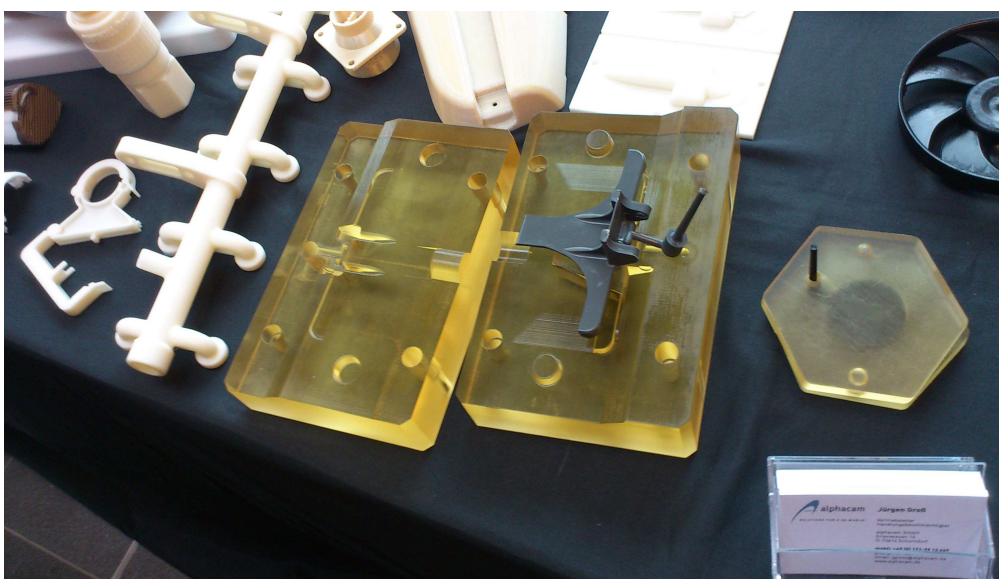


Abb. 34: Foto einer durch MJM-Verfahren erstellten Kunststoff-Spritzgussform [We13]

4.7 SLA - Stereolithografie

Ähnlich dem MJM-Verfahren kommt auch bei der Stereolithografie ein UV-empfindliches Photopolymer zum Einsatz. Dieses wird aber flächig auf eine Arbeitsfläche aufgetragen und dann mittels Lasereinsatz lokal ausgehärtet. Ist die erste Schicht vollständig belichtet, wird die Arbeitsfläche abgesenkt und anschließend frisches Polymer flächig zugefügt. Es wird erneut an definierten Positionen belichtet. Der Vorgang wird wiederholt bis das gewünschte Objekt fertiggestellt ist (vgl. Abb. 35). Auch das SLA-Verfahren nutzt gegebenenfalls Stützstrukturen. Es erzielt eine ausgezeichnete Genauigkeit und Oberflächengüte.

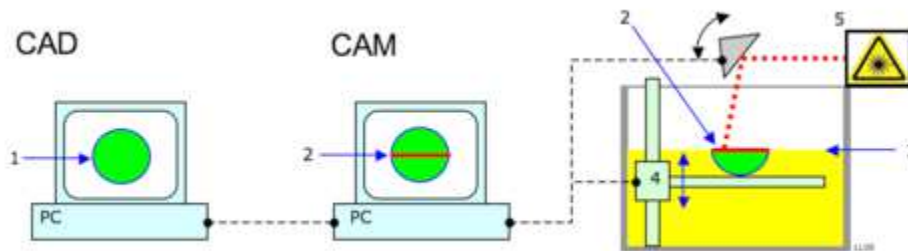


Abb. 35: Prozessdarstellung des Rapid Prototyping mittels Stereolithografie [LVL14]

4.8 SLS - Selektives Laser Sintern

Beim Lasersintern wird ein körniges Metallpulver lokal mittels Laser erhitzt. Die Energiezufuhr schmilzt die äußeren Bereiche der Metallkugeln, welche sich mit den anliegenden Kugeln verbinden und wieder aushärten. Analog zum 3-D-Druck mit Kunststoff wird schichtweise gearbeitet. Nach dem Auftragen und Bestrahlen der ersten Materialschicht auf der Arbeitsfläche wird diese abgesenkt und mit einer neuen Schicht unbehandelten Metallpulvers überzogen. Es wird erneut bestrahlt (vgl. Abb. 36). Je nach Leistung des Lasers kann eine sehr hohe Auflösung und damit eine glatte Oberflächenstruktur erzielt werden.

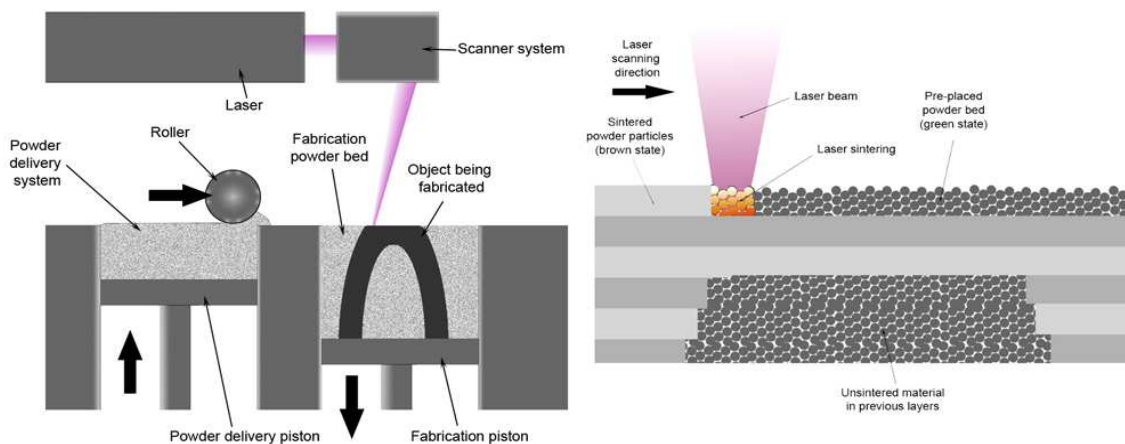


Abb. 36: Prozessdarstellung des Laser-Sinter-Verfahrens [MG14]

5 Zusammenfassung

Als eine der ältesten Varianten des Urformens stellt das Gießen auch heute eine geeignete Methode zur Herstellung von metallischen Werkstücken dar. Für besondere Anwendungen, z.B. die Erstellung übergroßer Maschinenteile, aber auch für die Serienfertigung, ist das Gießen aufgrund bestehender Kenntnisse und Erfahrung und schlussendlich aufgrund des Mangels an ausgereiften Alternative derzeit nicht ersetzbar. Trotz umfassenden Know-How ist im Umfeld des Gießprozesses allerdings nach wie vor Potential für Verbesserung und Optimierung vorhanden.

Eine zunehmende Konkurrenz stellen moderne generative Verfahren dar. Diese ermöglichen, je nach Verfahren, die Fertigung von Kunststoffteilen oder metallischen Werkstücken. Selbst die Nutzung generativer Methoden im Bauingenieurwesen, also zum Bau von Gebäuden mit Baustoffen wie Beton, wird derzeit erprobt.

Somit kann das Gießen durch generative Verfahren derzeit nicht ersetzt, sondern lediglich ergänzt oder mit ihnen kombiniert werden. Es müssen klare Vorstellungen von der gestellten Fertigungsaufgabe und fundierte Kenntnisse der Möglichkeiten der verfügbaren Fertigungsverfahren bestehen um die geeignete Fertigungsmethode unter wirtschaftlichen und prozesstechnischen Gesichtspunkten auszuwählen.

i Quellenverzeichnis

- [3D14] 3D Systems, Inc.
ColorJet Printing (CJP)
Abbildung, <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/colorjet-printing-cjp> - 01.08.2014
- [ABDM09] Awiszus, Bast, Dürr, Matthes
Grundlagen der Fertigungstechnik
4. aktualisierte Auflage, Hanser Verlag – 2009
- [AC14] ACTech GmbH
Direct Croning
Abbildung, www.actech.de - 01.08.2014
- [AS14] Angele Schmiedetechnik
Online Versand für Schmiede- und Giessereizubehör
Abbildung, www.angele-shop.com – 01.08.2014
- [Bo14] Borowski
Vollformgießen
Abbildung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Vollformgießen> – 01.08.2014
- [Br13] Prof. Dr. Brosius
Fertigungstechnik I – Urformtechnik
Vorlesungsskript, Technische Universität Dresden - 2013
- [FS06] Fritz, Schulze
Fertigungstechnik
7. neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag - 2006
- [GE05] Prof. Dr. Gerd Eberhardt
Fertigungstechnik 1.1 – Urformen
Vorlesungsskript, Hochschule Pforzheim - 2005
- [Gru14] Prof. Dr. Gruss
BA Template
Formatvorlage für akademische Arbeiten, Hochschule Anhalt Köthen - 2014

- [HA14] Hugo Arens GmbH
Kokillenguss
Abbildung, <http://www.hugo-arens.de/aluguss/kokillenguss.php> – 01.08.2014
- [Has14] Dr. Hasse, Foundry Technologies & Engineering GmbH
Giessereilexikon
www.giessereilexikon.com - 01.08.2014
- [JE12] Julian Edgar
Metal Casting, Part 2
Abbildung, <http://www.autospeed.com/cms/article.html?&A=112615> – 17.04.2012
- [LVL14] Laurens van Lieshout
Laminated Object Manufacturing
Abbildung, http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing – 01.08.2014
- [LVL14] Laurens van Lieshout
Stereolithografie
Abbildung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Stereolithografie> - 01.08.2014
- [MG14] Materialgeezza
Selective laser sintering
Abbildung, http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering – 01.08.2014
- [MK14] MK Technology GmbH
Metall Feinguss
Abbildung, <http://www.mk-technology.com/feinguss.html?&L=0> – 01.08.2014
- [MPK09] Prof. Dr. Maier, Prof. Dr. Prößler, Dipl. Ing. (FH) Kröger
Herstellen eines Gussteils im Sandgussverfahren
Versuchsvorbereitung, Fachhochschule Stralsund - 2009
- [VE14] Velleman nv
Youtube-Grafik aus dem Promotion-Video für 3D-Drucker Velleman K8200
<http://i.ytimg.com/vi/MNEZLUXctf8/maxresdefault.jpg> – 01.08.2014

- [VO14] Voxeljet AG
Case Study Turbinenrad
Abbildung, <http://www.voxeljet.de/case-studies/case-studies/turbinenrad/> - 01.08.2014
- [We13] Weikert, Marcel
Kunststoff-Spritzgussform der Firma Alphacam
Foto, 7. Merseburger Rapid Prototyping Forum – 10.10.2013

ii Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Grafische Darstellung einer Anlage zum Stranggießen [Br13]	8
Abb. 2:	Foto einer mit Schlicker beschichteten Traube zum Feingießen [MK14] http://www.mk-technology.com/uploads/pics/Keramiktraube.jpg	9
Abb. 3:	Schematische Darstellung des Vollformverfahrens [Bo14] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1a/Vollformgiessenschema.jpg/300px-Vollformgiessenschema.jpg	10
Abb. 4:	Foto von Kokillenhälften und gegossenem Werkstück nach dem Kokillenguss [HA14] http://www.hugo-arens.de/aluguss/images/kokillenguss_kokillen.jpg	10
Abb. 5:	Skizze einer Formkastenhälfte mit Modellhälfte; aufgrund der Geometrie lässt sich das dargestellte Modell nur in der dargestellten Richtung entnehmen, ohne die Form zu beschädigen Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	12
Abb. 6:	Skizze eines Formkastens mit Modell; die dargestellten Bereiche der Form verhindern die zerstörungsfreie Entnahme des Modells Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	12
Abb. 7:	Darstellung eines Modells im zweiteiligen Formkasten [GE05]	13
Abb. 8:	Darstellung eines Werkstückes nach der Entnahme aus der Sandform [GE05]	14
Abb. 9:	Darstellung einer Sandform während des Gießprozesses [GE05]	15
Abb. 10:	Foto eines Kerns aus Formsand; aufgrund der Geometrie wäre die Entnahme eines massiven Kerns aus dem Werkstück nicht möglich [JE12] http://www.autospeed.com/cms/article.html?&A=112615	15
Abb. 11:	Darstellung der Auftriebskräfte auf den Formoberkasten Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	18

Abb. 12:	V-T-Diagramm der erstarrender Schmelze [Has14] http://www.giessereilexikon.com/fileadmin/images/stories/S/Schwindung/01/01.png	19
Abb. 13:	Darstellung der gießgerechten Gestaltung eines Werkstückes. Materialanhäufungen sind zu vermeiden [FS06]	20
Abb. 14:	Darstellung der Erzeugung von Knoten unter Gesichtspunkten der gießgerechten Gestaltung; Materialanhäufungen sind zu vermeiden [FS06]	20
Abb. 15:	Darstellung der Erzeugung starrer Strukturen unter Gesichtspunkten der gießgerechten Gestaltung [FS06]	21
Abb. 16:	Darstellung von Versatz als mögliche Folge von Positionierungsfehlern der Modellhälften [FS06]	21
Abb. 17:	Darstellung der Nutzung von Formschrägen zur besseren Entnahme des Modells aus dem Formsand [FS06]	22
Abb. 18:	Tiegel und Gießkelle zum Schmelzen des Rohmaterials bzw. zum Transport der Schmelze [AS14]	25
Abb. 19:	Sieb zum Erzeugen homogenen Formsandes [AS14]	25
Abb. 20:	Zweiteiliger Formkasten mit Verbindungselementen [AS14]	26
Abb. 21:	Beispiele für Schutzbekleidung: Gesichtsschutz und Schürze [AS14]	26
Abb. 22:	Abbildung eines möglichen Werkstückes in isometrischer Ansicht Solidworks-Zeichnungsableitung	28
Abb. 23:	Abbildung von Modell und Kernform zur Erzeugung des Werkstücks und des Kerns Solidworks-Zeichnungsableitung	28
Abb. 24:	Darstellung der Formherstellung; die im Formunterkasten positionierte Modellhälften wird mit Formsand bestreut Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	31

Abb. 25:	Darstellung der Formherstellung; der Formsand wird manuell verdichtet Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	31
Abb. 26:	Darstellung der Formherstellung; die zweite Modellhälfte wird im Formoberkasten auf dem Unterkasten positioniert und mit Sand bedeckt Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	32
Abb. 27:	Darstellung eines möglichen Angussystems im Formoberkasten Solidworks-Zeichnungsableitung	32
Abb. 28:	Darstellung einer mögliche zweiteilige Form zur Erstellung des Kerns Modifizierte Solidworks-Zeichnungsableitung	33
Abb. 29:	Prozessdarstellung des Direct-Croning-Verfahrens [AC14] <a href="http://www.actech.de/fileadmin/watermark.php?id=WkVoc2QySjZUakJhVn
pGM1REtKnjRmt6VFhaTIZFRXIUWHBHHTAxVVNYbE9ReIz4WTBkalBRPT0%3D">http://www.actech.de/fileadmin/watermark.php?id=WkVoc2QySjZUakJhVn pGM1REtKnjRmt6VFhaTIZFRXIUWHBHHTAxVVNYbE9ReIz4WTBkalBRPT0%3D	36
Abb. 30:	Foto eines Sandkerns, wie er mittels Direct Croning erzeugt werden kann; dieser wird hier mit Schlichte überzogen [VO14] http://www.voxeljet.de/typo3temp/pics/648732170a.jpg	36
Abb. 31:	Foto eines mittels CJP-Verfahrens hergestellten Modells eines Verbrennungsmotors; das Modell wurde in einem Druckvorgang erstellt [3D14] <a href="http://cdn1.3dsystems.v252n.o8.io/cdn/farfuture/IR2VUgPQezdrKxFPVkc7dEjHQ32fW
wcvktP8GK81RXQ/mtime:1385417346/sites/www.3dsystems.com/files/styles/ddd_printer
-gallery_xxl/public/gp_engine.jpg">http://cdn1.3dsystems.v252n.o8.io/cdn/farfuture/IR2VUgPQezdrKxFPVkc7dEjHQ32fW wcvktP8GK81RXQ/mtime:1385417346/sites/www.3dsystems.com/files/styles/ddd_printer -gallery_xxl/public/gp_engine.jpg	37
Abb. 32:	Foto eines FDM-Druckers Velleman K8200 während des Druckvorgangs mit PLA-Kunststoff [VE14] http://ict-agenda.ch/upload/52e669af03a0f.jpeg?v=1392910666	38
Abb. 33:	Prozessdarstellung des LOM-Verfahrens [LVL14] <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/
Laminated_object_manufacturing.png/350px-Laminated_object_manufacturing.png">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/ Laminated_object_manufacturing.png/350px-Laminated_object_manufacturing.png	39
Abb. 34:	Foto einer durch MJM-Verfahren erstellten Kunststoff-Spritzgussform [We13] 7. Merseburger Rapid-Prototyping-Forum 2013, Firma alphacam – 10.10.2013	39
		47

Abb. 35: Prozessdarstellung des Rapid Prototyping mittels Stereolithografie [LVL14]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/CAD_CAM.png/500px-CAD_CAM.png

40

Abb. 36: Prozessdarstellung des Laser-Sinter-Verfahrens [MG14]
http://de.wikipedia.org/wiki/Selektives_Lasersintern#mediaviewer/Datei:Selective_laser_melting_system_schematic.jpg

40

iii Verwendete Hilfsmittel & Medien

Open Office

Solidworks 2013 Student Version

iv Lebenslauf

Angaben zur Person

Name	Marcel Weikert
Anschrift	Stauffenbergstraße 18, 08209 Auerbach
Geburtsdatum	30.01.1984
Geburtsort	Rodewisch
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	ledig

Ausbildung und berufliche Tätigkeit

1990 – 1994	Besuch Grundschule in Auerbach/V.
1994 – 2002	Besuch Gymnasium in Auerbach/V.
2002 – 2005	Ausbildung zum Offizier der Feldjägertruppe der Bundeswehr
2005 – 2009	Studium der Elektro- und Informationstechnik an der Universität der Bundeswehr in München, Studiengang Mathematical Engineering, Vertiefungsrichtung Hoch- und Höchstfrequenztechnik, Abschluss mit akademischen Grad Diplom-Ingenieur
2009 – 2011	IT-Offizier im Bereich Concept Development & Experimentation des Heeresamtes
2010 – 2015	Berufsbegleitendes Fernstudium zum Bachelor of Engineering Maschinenbau an der HS Anhalt in Köthen
2011 – 2014	IT-Offizier im Amt für Informationsmanagement und Informationstechnik der Bundeswehr (IT-AmtBw) bzw. Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw) in Dresden

v Anlagen

Anlage 1 - Materialliste

Anlage 2 - Berechnung des Auftriebs

Anlage 3 - Handreichung Praktikum

Anlage 4 - Präsentation Praktikum

Anlage 5 - Zeichnungsableitungen

Anlage 1 - Materialliste

Zur Durchführung eines Praktikums zum Urformverfahren „Sandgießen“ werden folgende Materialien, Geräte bzw. Werkzeuge benötigt. Diese können u.a. über den Online-Versand www.angele-shop.com bezogen werden. Das angebotene Komplettset stellt eine sinnvolle Ausstattungsbasis dar. Je nach bereits vorhandenen Materialien oder Ausbildungsschwerpunkten sollte der tatsächliche Bedarf im Rahmen der Praktikumsvorbereitung überprüft werden.

Gussand/Formsand 3 mal (im Komplettset enthalten) 29,75€/25kg

(1l entspricht etwa 2,6kg; Formkasten = 2l; 25kg entsprechen etwa 5 Füllungen)

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=formsand-%F6lgebunden&cName=giessen-sande

im 25-kg-Sack; Gebrauchsfertiger Spezialsand, sehr feinkörnig, für die Herstellung konturenscharfer und glatter Oberflächen in fast allen Metallen. Sofortiges Abgießen nach dem Einfüllen ohne Trocknen und ohne Schichten. Es kann mehrmals abgegossen werden.

Graphitstaub/Talkum 1 mal (im Komplettset enthalten) 5,95€/500g

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=talkum-500-g&cName=giessen-sande

Feines Talkum, um Trennschicht der Giessform zwischen Unter- und Oberkasten zu bilden

Gewicht inkl. Verpackung [kg] : 0.50

Lanzette L13 3 mal (im Komplettset enthalten) 15,47€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=schaufellanzette-l13

aus Stahl geschmiedet;

Lanzettenteil 30 x 13 mm,

Schaufelteil 27 x 13 mm,

Gesamtlänge 150 mm.

Gewicht inkl. Verpackung [kg] : 0.15

Gießkelle 3 mal (im Komplettset enthalten) 16,66€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=giessl%F6ffel-100-mm-mit-holzgriff&cName=giessen-loeffel

mit geschmiedetem Ausgussschnabel; Halbkugelform, Durchmesser 100 mm, Höhe 50 mm, Wandstärke 3 mm, mit angeschweisstem Stiel 350 mm, mit Holzgriff; Gewicht inkl. Verpackung [kg] : 1.00

Tiegel (bei Öfen enthalten) ggf. zusätzlich 44,90€

<http://www.expondo.de/products/en/Melting-furnaces/Graphite-Crucible-3000-3-kg.html?XTCsid=306eafd6c9bc28b1ecaf52d8bf1bb48e>

Sieb 380mm 3 mal (im Komplettsset enthalten) 53,55€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=formersieb-%F8-380-mm&cName=giessen-sande

zum sieben von Formsand; stabiles Sieb aus verzinktem, extra stark gewebtem Eisendraht, Maschenweite 2 mm, mit Drahtverspannung

Formkasten 3 mal (im Komplettsset enthalten) 92,82€

(sehr geringe Größe, ggf. ist die Herstellung größerer Formkästen für flexiblerer Werkstückgestaltung sinnvoll)

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=formkasten-100-x-200-x-100-mm&cName=giessen-formen

Ober- und Unterkasten jeweils 50 mm hoch; stabile Schweisskonstruktion aus 5 mm Stahlblech, mit 2 unterschiedlich starken Passstiften, um Ober- und Unterkasten deckungsgleich zusammen zu montieren. Innenseite profiliert um ein Ausrutschen des Formsands zu verhindern.

Schutzbekleidung

Handschuhe 7 mal (3 wenn Komplettsset) 22,61€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=hitzeschutzfingerhandschuhe&cName=bekleidung-arbeitsschutz-handschuhe

Schürze 7 mal 53,55€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=schmiedesch%FCrze-standard&cName=bekleidung-arbeitsschutz-schuerzen

Gesichtsschutz 2 mal Visier, 30,94€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=visier-als-augenschutz&cName=bekleidung-arbeitsschutz-schutzbrillen

5 mal Schutzbrille (2 wenn Komplettsset)

17,85€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=schutzbrille&cName=bekleidung-arbeitsschutz-schutzbrillen

Diverses (im Komplettsset enthalten)

Stopfer (zum Verdichten des Sandes)	3 mal
Schraubenzieher (zum Stechen der Steiger usw.)	3 mal
Feile zum Entgraten	3 mal
Abstreifeisen (4-Kant, z.B. 20x5x300)	3 mal
Tiegelzange (bei Öfen enthalten)	1 mal
Gusshammer/Hammer	3 mal
Sandschaufeln, Handfeger, ggf. Arbeitsunterlagen	3 mal

Sofern kein Komplettsset in Frage kommt kann diverses Zubehör ggf. im Baumarkt beschafft werden.

Komplettset:

3 mal

511,70€

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=giesserei-erstausr%FCstung-a1&cName=giessen-loeffel

Set bestehend aus:

- Formkasten aus Stahl, zweiteilig, je 200x100x50 mm
- Modellsortimente-Lettern, 36 Stück, A-Z und 0-9, 25 mm hoch
- Blechunterlage, 200x300x2,5 mm
- Formersieb Masche 2, \varnothing 400 mm
- Formsand ölgebunden, 25 kg
- Sandschaufel *
- Handfeger *
- Stampfer aus Rundholz, 140 x \varnothing 25 mm
- Abzieheisen aus Vk-Stahl, 10x10x350 mm
- Pinsel, \varnothing 30 mm
- Talkumpuder in Dose, 500 g
- Laufmodell aus Stahl, 10x8x40
- Modellschraube
- Lanzette aus Stahl mit Spitz- und Löffelteil
- Schraubzwinde 160 mm (2 Stück)
- Schonhammer \varnothing 30
- Brenneraufsatz für Gaskartusche
- Gießlöffel mit Holzgriff \varnothing 60x400 mm
- Seitenschneider 160 mm
- Kombizange 160 mm
- Pucksäge
- Satz Schlüsselfeilen
- Schleifbögen Körnung 40-240 sortiert
- Drahtbürste aus Messing
- Arbeitshandschuhe
- Schutzbrille
- Zinn 1 kg
- Handbuch zum Metallgießen
- Werkzeugkiste aus Stahlblech, 3-tlg.

Material zur Kernherstellung

Naturformsand 1 mal 22,61€/25kg

http://www.angele-shop.com/catalog/product_info.php?pName=naturformsand&cName=giessen-sande

Natriumsilikat(-lösung) 1 mal 4,61€/1l

(Bindemittel, aus dem Baumarkt, Baustoffhandel oder ebay)

http://www.ebay.de/itm/Natronwasserglas-1-L-/330862712831?pt=LH_DefaultDomain_77&hash=item4d08f457ff

Natriumcarbonat

(Na₂CO₃, Reines Soda aus dem Supermarkt)

Essig

(C₂H₄O₂, aus dem Supermarkt)

Tupperbox, Becher

(Luftdichter Abschluss zur Begasung der Kerne, Reaktionsgefäße)

Als Alternative/Ergänzung

exemplarischer Vollformguss

Styropor

(Zylinder, Quader u.s.w. aus dem Bastelbedarf)

ggf. auch zur Gestaltung des Angusses

Öfen

Alle Öfen in erschwinglicher Preisklasse verfügen über ein relativ kleines Volumen. Die Arbeitstemperatur weit oberhalb der Schmelztemperatur von Aluminium ermöglicht sowohl die Verwendung verschiedener anderer Materialien als auch ein zügiges Schmelzen von Aluminium.

a) 489,00€

http://www.dreiling-tools.at/product_info.php/info/p191_Schmelzofen-3kg--MF3000.html

chinesisches Produkt, CE scheint vorhanden

- Schmelzofen Mf3000 (3kg) max. 1120 °C mit elektronischer Temperatur Steuerung
- der Schmelzpunkt kann in 1°C Schritten genau eingestellt werden
diese Temperatur wird dann vollautomatisch eingehalten
es können mehrere Haltepunkte eingestellt werden
- Tmax 1120°C
- Stromversorgung 220V, 50Hz, 1600W
- 270ccm

b) 459,00€

<http://www.expondo.de/products/en/Melting-furnaces/Goldbrunn-3000-Professional-melting-furnace-3-kg.html?XTCsid=306eafd6c9bc28b1ecaf52d8bf1bb48e>

- Stromversorgung 230V, 50Hz, 1700W
- 1100°C
- 290ccm
- mit Tiegel und Tiegelzange

c) 449,99€ (nur möglich mit mehreren Schmelzvorgängen, Schmelze muss warm gehalten werden, mehrere Tiegel nötig)

<http://www.ebay.de/itm/Elektrischer-Schmelzofen-1Kg-Digital-Altgold-Zahngold-1150-C-/321306132373?pt=Goldschmiedewerkzeug&hash=item4acf567f95>

Ebay, Made in Italy, geringes Volumen

- elektrischer digitaler Schmelzofen 1kg
- 1150°C
- Stromversorgung 230V, 50Hz, 750Watt
- mit Tiegelzange, Schmelztiegel 90ccm

Werkstoff

Aluminiumgranulat

geringe Schmelztemperatur, ungiftig, geringe Dichte, gut dosierbar & bearbeitbar

<http://www.schrottmax.com/dresden-p189h46s58-003-Aluminiumgranula.html>

Aluminium mit hohem Reinheitsgrad

4 kg

7.13€/kg

EAN-Nr.: 4250812900920

Menge: 1 kg (Dichte 2,7g/cm³) = 370cm³

Größe: Granulat ca. ø 2 - 4 mm

Anlage 2 - Berechnung des Auftriebs

Volumen des Formkastens V_{FK} :

$$\begin{aligned} & \text{Länge} * \text{Breite} * \text{Höhe} \\ & l_{FK} * b_{FK} * h_{FK} \\ & = 2 * 200 \text{ mm} * 100 \text{ mm} * 50 \text{ mm} \\ & = 2.000.000 \text{ mm}^3 \\ & = 2.000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Fläche des Modells an der Teilungsebene (ohne Kernmarken) A_M^1

$$\begin{aligned} & = 3.769,4 \text{ mm}^2 \\ & = 37,7 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Volumen des halben Modells (ohne Kernmarken) V_{hMo}^1

$$\begin{aligned} & = 55.973,5 \text{ mm}^3 \\ & = 55,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volumen des Formsandes über dem Modell V_S

$$\begin{aligned} & \text{Fläche des Modells an der Teilungsebene (ohne Kernmarken)} * \text{Höhe Oberkasten} - \text{Volumen des halben} \\ & \text{Modells (ohne Kernmarken)} \\ & = A_M * h_{FK} - V_{hMo} \\ & = 3.769,4 \text{ mm}^2 * 50 \text{ mm} - 55.973,5 \text{ mm}^3 \\ & = 132.496,5 \text{ mm}^3 \\ & = 132,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volumen des Kerns ohne Kernmarken¹

$$\begin{aligned} & V_K \\ & = 26.457 \text{ mm}^3 \\ & = 26,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volumen des Kerns mit Kernmarken¹

$$\begin{aligned} & V_{K mK} \\ & = 31.885,49 \text{ mm}^3 \\ & = 31,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dichte von Aluminium bei ca. 750°C $\rho_{Schmelze}$

$$= 2,3 \text{ g/cm}^3$$

Dichte von Quarzsand bei 20°C $\rho_{Quarzsand}$ (Annahme für die Dichte des gebundenen Kernsand)

$$= 2,65 \text{ g/cm}^3$$

Auftrieb:

Auftriebskraft des Formoberkastens + Auftriebskraft des Kerns – Gewichtskraft des Kerns

$\Sigma F_{\text{Auftrieb}}$

$$= F_A$$

$$= V_S * \rho_{Schmelze} * g$$

$$= g * \rho_{Schmelze} * (V_S + V_K)$$

$$+ F_K$$

$$+ V_K * \rho_{Schmelze} * g$$

$$- F_{gK}$$

$$- V_{K mK} * \rho_{Quarzsand} * g$$

$$- V_{K mK} * \rho_{Quarzsand} * g$$

$$= 9,81 \text{ m/s}^2 * 2,3 \text{ g/cm}^3 * (132.496,5 \text{ mm}^3 + 26.457 \text{ mm}^3)$$

$$= 9,81 \text{ m/s}^2 * 2,3 \text{ g/cm}^3 * (158.953,3 \text{ mm}^3)$$

$$= 9,81 \text{ m/s}^2 * 2300 \text{ kg/m}^3 * 158.953,3 * 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$= 3,59 \text{ kg*m/s}^2$$

$$= 2,76 \text{ kg*m/s}^2$$

$$- 9,81 \text{ m/s}^2 * 2,65 \text{ g/cm}^3 * 31.885,5 \text{ mm}^3$$

$$- 9,81 \text{ m/s}^2 * 2,65 \text{ g/cm}^3 * 31.885,5 \text{ mm}^3$$

$$- 9,81 \text{ m/s}^2 * 2650 \text{ kg/m}^3 * 31.885,5 * 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$- 0,83 \text{ kg*m/s}^2$$

$$\underline{\underline{= 2,76 \text{ N}}}$$

1) Zahlenwert gemäß Solidworks-Modell

Anlage 3 - Handreichung Praktikum Sandgießen

(Hinweise/Notizen)

Arbeitsschutz

Achtung. Im Praktikum wird mit flüssigem Aluminium mit einer Temperatur von circa 750°C gearbeitet. Schutzbekleidung (Gesichtsschutz, Schürze, Handschuhe, keine freien Arme) ist zwingend zu tragen. Den Anweisungen der Betreuer ist zu folgen.

Modellherstellung & Kernherstellung

(Gießgerechte Gestaltung, Materialien)



Formerstellung

(benötigte Werkzeuge, verwendetes Material, Gießgerechte Gestaltung, Gestaltung des Angussystems)



Gießen

(Schwindung, Auftrieb)



Werkstückentnahme

(Auffälligkeiten am Gussstück, Recycling des Gussands)



Nachbearbeitung

(Entfernen Angussystem, Entgraten, ggf. Oberflächenbearbeitung)



Auswertung

Maße des Werkstücks (Länge, Breite, Höhe, usw.)

Gestalt des Werkstückes (Gießfehler, Angussystem, Oberflächen)

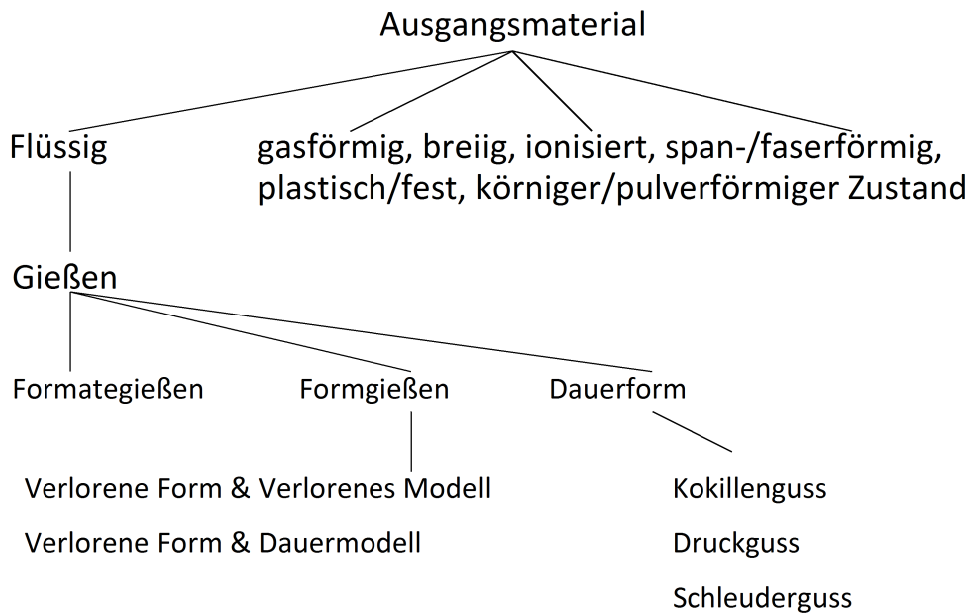
Sandgießen

Anlage 4



Abb. www.aluguss-aue.de

Urformen



08.10.14

Fertigungstechnik

2

Gasförmiger Zustand

Metалldampfen

Breiiger Zustand

Keramikgießen

Ionisierter Zustand

Galvanoformen

Span-Faserförmiger Zustand

Plastischer Zustand

Spritzgießen, Extrusionsblasen, Extrusion (Fertigungstechnik)

Thixoforming

körnig oder pulverförmig

Sintern

Formategießen

Stranggießen, Blockgießen

V&V

Feinguss, Vollformguss

V&D

Handformverfahren, Maskenformverfahren,
Maschinenformv.

Verlorene Form & Dauermodell

Handformverfahren:

Manuelle Herstellung der Sandform und manuelles Abgießen

- Modell & Kern
- Sandform
- Gießprozess

Modell & Kern

- Material
- Herstellung
- Gießgerechte Gestaltung

08.10.14

Fertigungstechnik

4

Material

Modell: Holz, Metall, Kunststoff

Kern: je nach Erforderlichkeit der Zerstörung Sand oder Holz/Metall

Herstellung

Professioneller Modellbau

Kernmacherei (Material, Verfestigung, Direct Croning)

Gießgerechte Gestaltung

Hinterschneidungen

Teilungsebene

Entformungsschrägen

Sandform

- Varianten
- Formsand
- Formkasten
- Angusssystem & gießgerechte Gestaltung

08.10.14

Fertigungstechnik

5

Varianten	Formkasten, Gießgrube
Formsand	gasdurchlässiger Quarzsand Mit Bindemittel Modellsand vs. Füllsand
Formkasten	Begrenzung der Sandform Teilung Arretierung
Angusssystem	Einguss, Lauf, Anschnitt, Speiser

Gießprozess

- Rohmaterial
- Schmelze & Ofen
- Auftrieb & Schwindung
- Gießfehler

08.10.14

Fertigungstechnik

6

Rohmaterial:	Aluminium	Metall, ungiftig
	Dichte (20°C):	2,7 g/cm ³
	Dichte (750°C):	2,3 g/cm ³
	Schmelztemperatur	660,2°C

Ofen : Schmelztemperatur + 100°C

Auftrieb:

$$\Sigma F_A = F_A + F_K - F_{gK}$$

$$V_S \cdot \rho_{\text{Schmelze}} \cdot g + V_K \cdot \rho_{\text{Schmelze}} \cdot g - V_{K mK} \cdot \rho_{\text{Quarzsand}} \cdot g$$

Schwindung: flüssige Schrumpfung, Erstarrungsschrumpfung, feste Schwindung
 Volumenschwindung = $(V_{\text{Schmelze}} - V_{\text{Werkstück}}) / V_{\text{Werkstück}} \cdot 100\%$

Ursache Gießfehler: Materialanhäufungen, starre Strukturen, Versatz, waagerechte Flächen

Arbeitssicherheit

- Schutzbekleidung
- Formerstellung
- Schmelze und Ofen

Schutzbekleidung ist zu tragen!

Schmelze-Spritzer, Hitze, Umgang mit Werkzeug

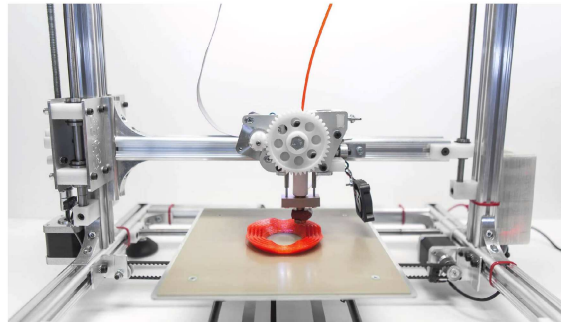
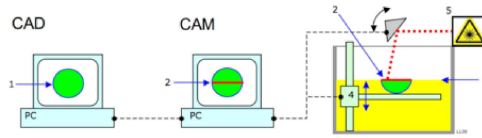
Schutz vor Verunreinigung

Belehrung ggf. schriftlich festhalten

Rapid Prototyping

Umgangssprachlich 3D-Drucken

- Direct Croning
- CJP
- FDM
- LOM
- MJM
- SLA
- SLS



08.10.14

Fertigungstechnik

8

Rapid Prototyping:

CAD → CAM (Slicing) → Schichtweises Auftragen

Direct Croning

Quarzsand & Laser

CJP

Color Jet Printing

Kunststoffgranulat & Eingefärbtes Bindemittel

FDM

Fused Deposition Modeling Kunststoffdraht wird aufgeschmolzen

LOM

Laminated Object Manufacturing

MJM

Multijet Modeling

UV empfindliches Photopolymer & Druckkopf

SLA

Stereolithographie

UV empfindliches Photopolymer-Bad & Laser

SLS

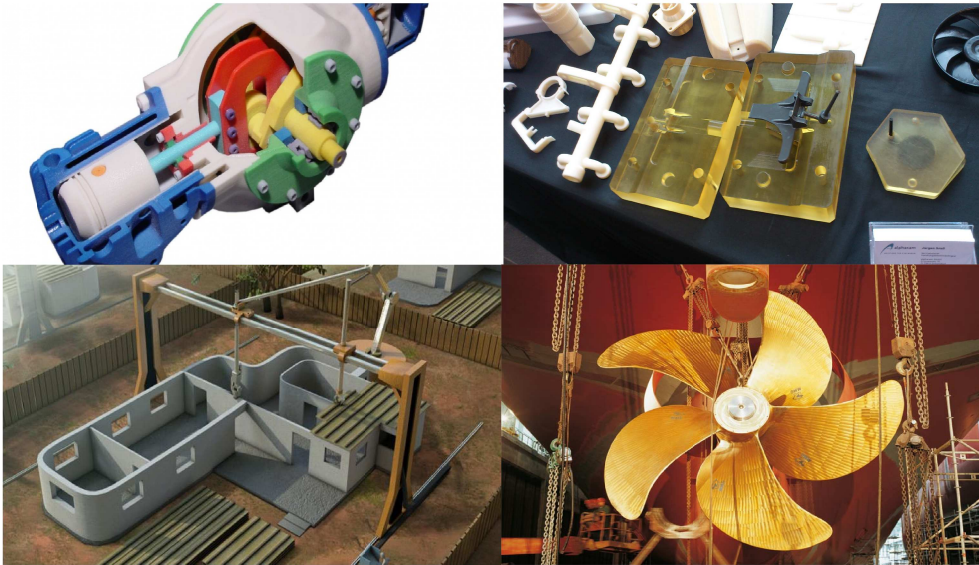
Selektives Laser Sintern

Metallpulver & Laser

Abb.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/CAD_CAM.png/500px-CAD_CAM.png
<http://ict-agenda.ch/upload/52e669af03a0f.jpeg?v=1392910666>

Fazit



08.10.14

Fertigungstechnik

9

Was geht schon:

- Mehrteilige Bauteile verschiedener Farbe am Stück produzieren
- Spritzgussformen via MJM
- Begrenzt Drucken von Metal Clay (via FDM)

Über was denkt man nach:

- Drucken von Baumaterial → Gebäude drucken
- Drucken elektrischer Schaltungen

Was geht noch nicht:

- Massenproduktion via 3D Drucker
- Übergroße metallische Werkstücke

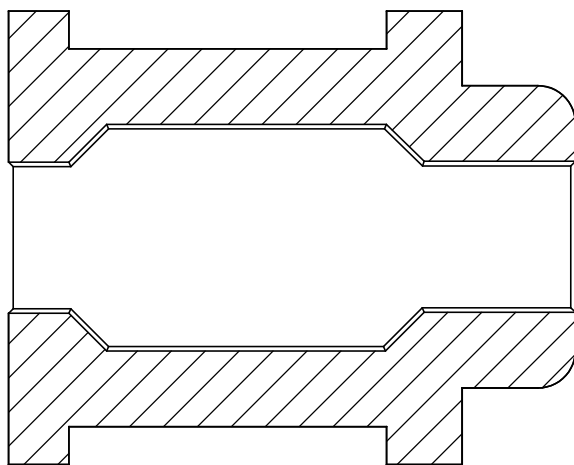
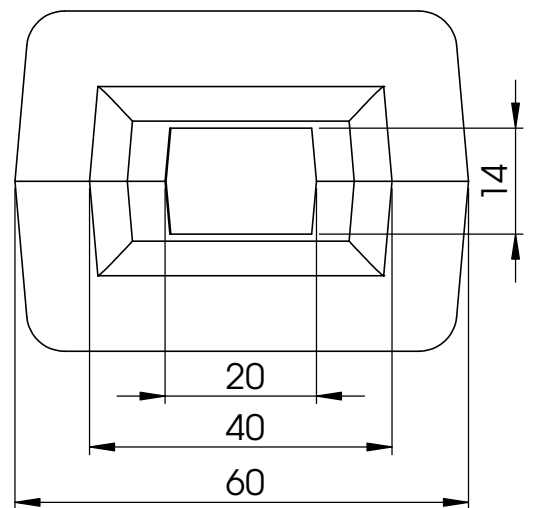
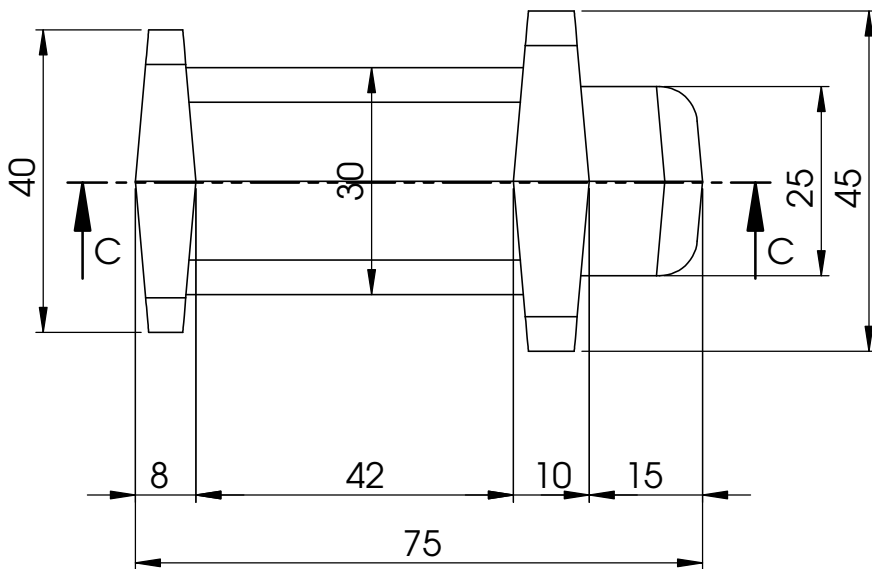
Abbildungen:

<http://cdn1.3dsystems.v252n.o8.io/cdn/farfuture/IR2VUgPQezdrKxFPVkc7dEjHQ32fWwcvktP8GK81RXQ/mti>

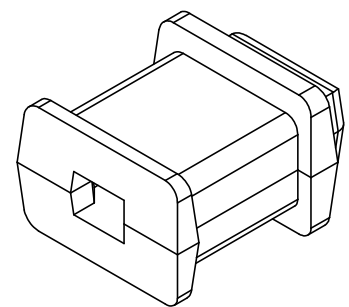
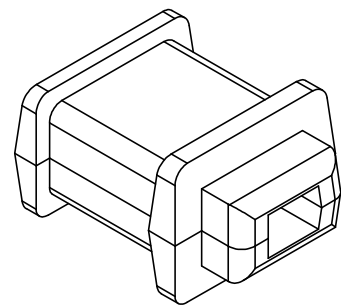
Spritzgussform der Firma alphacam, 7. Merseburger Rapid Prototyping Forum, Foto M.Weikert

<http://www.contourcrafting.org/wp-content/uploads/2013/03/slide-type-23.jpg>

<http://www.mmg-propeller.de/uploads/pics/04827AD2-177.jpg>



SCHNITT C-C
MAßSTAB 1 : 1



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:

OBERFLÄCHENGÜTE:

ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET					
GEPRÜFT					
GENEHMIGT					
PRODUKTION					
QUALITÄT				WERKSTOFF:	

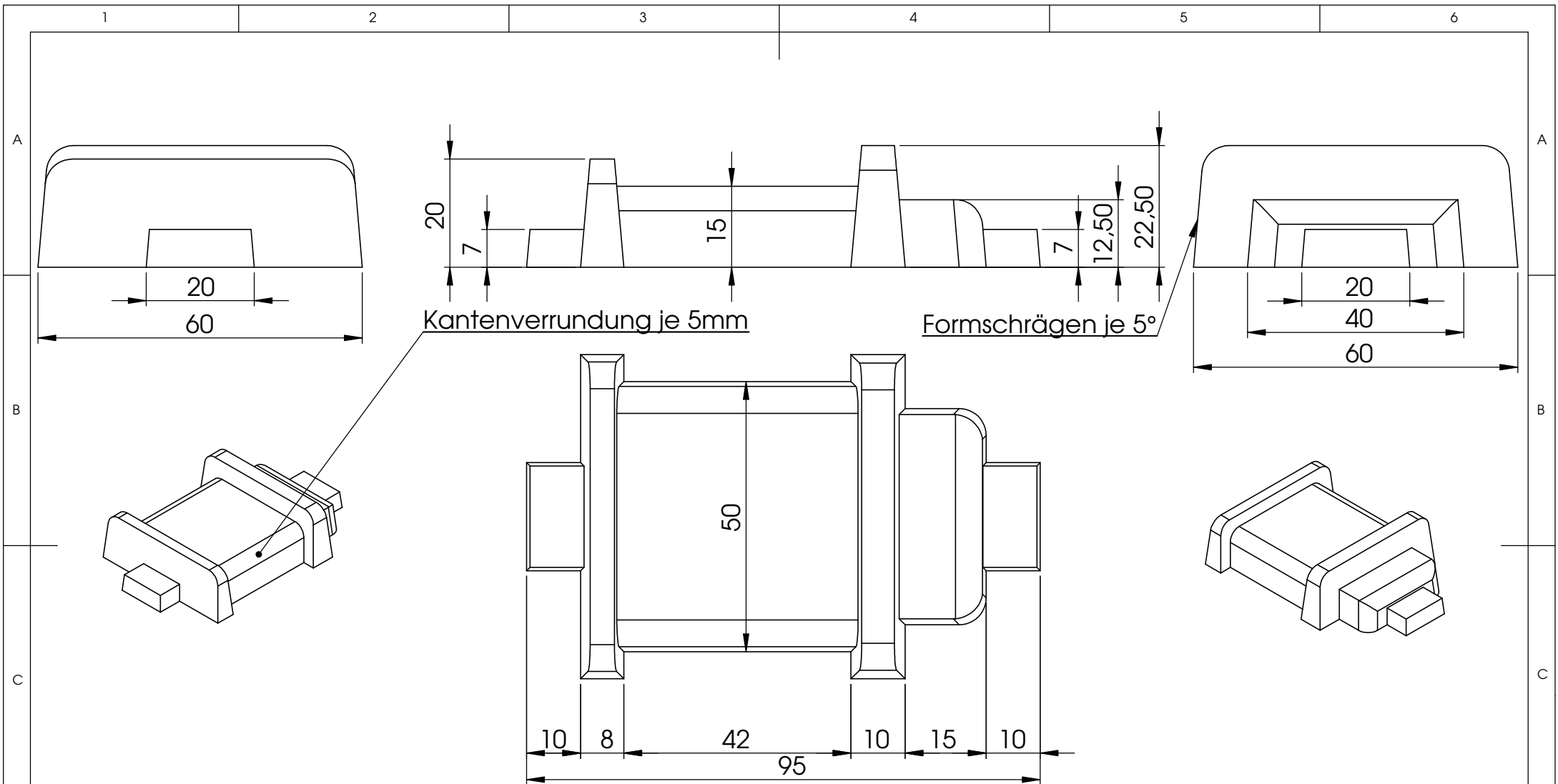
BENENNUNG:

Anlage 5a

ZEICHNUNGSNR.

werkstück

A4



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
 BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
 OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
 TOLERANZEN:
 LINEAR:
 WINKEL:

OBERFLÄCHENGÜTE:

ENTGRATEN
 UND SCHARFE
 KANTEN
 BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

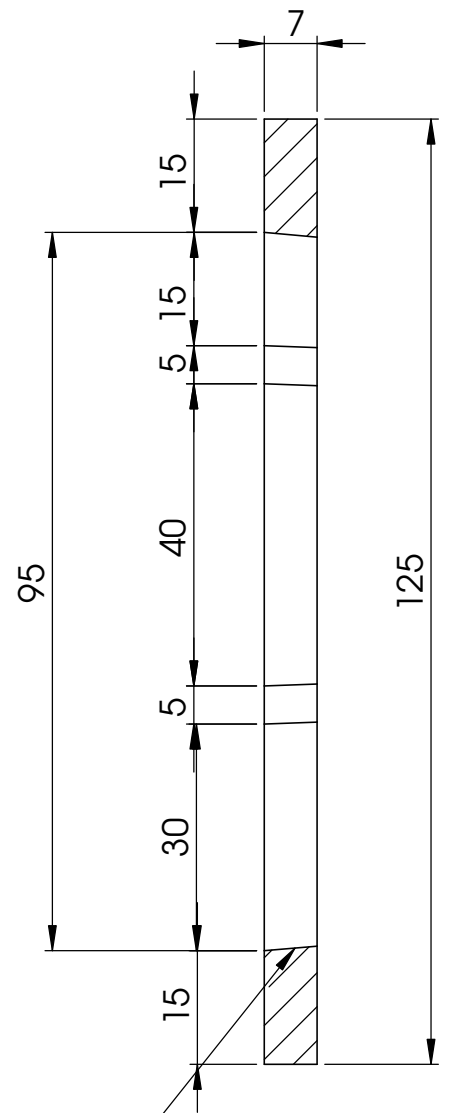
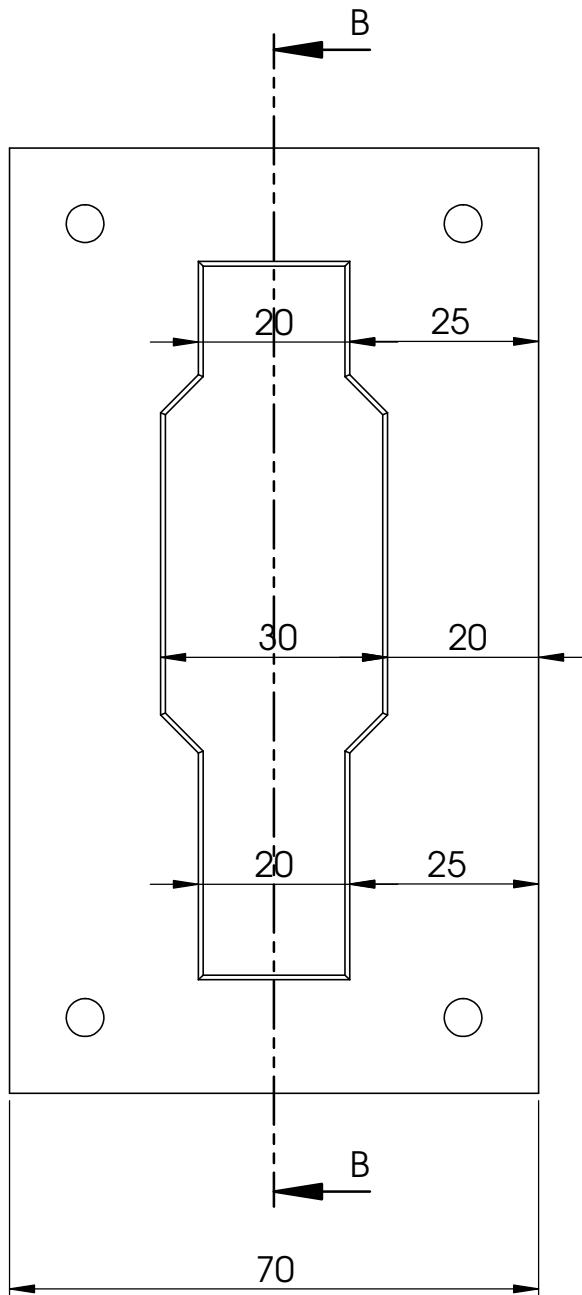
	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET					
GEPRÜFT					
GENEHMIGT					
PRODUKTION					
QUALITÄT				WERKSTOFF:	

BENENNUNG:

Anlage 5b

ZEICHNUNGSNR. **modell**

A4



Formschrägen je 5°

SCHNITT B-B
MAßSTAB 1 : 1

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:

OBERFLÄCHENGÜTE:

ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET					
GEPRÜFT					
GENEHMIGT					
PRODUKTION					
QUALITÄT				WERKSTOFF:	

BENENNUNG:

Anlage 5c

ZEICHNUNGSNR.

kernform negativ

A4

SolidWorks Studenten-Edition

Nur für Verwendung im akademischen Bereich

BLATT 1 VON 1