

*Band  
2*

Thomas Russack / Rudolf Jerrentrup (Hrsg.)

*FlexLab<sup>plus</sup> – Mobile Experimentiersets zur  
Anwendung des 3D-Drucks in der Bildung*

~  
Tommy Schafran / Jennifer Stemmann

**iaim** Schriftenreihe

Beiträge aus dem Engineering & Industrial Management



**Institute of Automation &  
Industrial Management**  
FOM University of Applied Sciences

**Tommy Schafran / Jennifer Stemmann**

*FlexLab<sup>plus</sup> – Mobile Experimentiersets zur Anwendung des 3D-Drucks in der Bildung*

iaim Schriftenreihe der FOM, Band 2  
Beiträge aus dem Engineering & Industrial Management

Essen 2020

ISBN (Print) 978-3-89275-131-1    ISSN (Print) 2628-605X  
ISBN (eBook) 978-3-89275-132-8    ISSN (eBook) 2628-8184

Dieses Werk wird herausgegeben vom iaim Institute of Automation & Industrial Management der FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2020 by



**Akademie  
Verlags- und Druck-  
Gesellschaft mbH**

MA Akademie Verlags-  
und Druck-Gesellschaft mbH  
Leimkugelstraße 6, 45141 Essen  
[info@mav-verlag.de](mailto:info@mav-verlag.de)

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung der MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind.

# ***FlexLab<sup>plus</sup> – Mobile Experimentierkits zur Anwendung des 3D-Drucks in der Bildung***

Thomas Russack / Rudolf Jerrentrup (Hrsg.)

Tommy Schafran / Jennifer Stemmann

Tommy Schafran M.Sc. M.Eng.

Wiss. Mitarbeiter am iaim Institute of Automation & Industrial Management  
der FOM Hochschule

E-Mail: [tommy.schafran@fom.de](mailto:tommy.schafran@fom.de)

Dr. Jennifer Stemmann

Wiss. Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Technologie und Didaktik der Technik der  
Universität Duisburg-Essen

E-Mail: [jennifer.stemmann@uni-due.de](mailto:jennifer.stemmann@uni-due.de)

## **Projektverantwortlich:**

Dipl.-Ing. (FH) Christoph Hohoff, wiss. Koordination iaim, Projektleitung

## **Projektbeteiligte:**



## **Gefördert aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE):**



EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,  
Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



## Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

wir freuen uns, Ihnen den zweiten Band der iaim Schriftenreihe *Beiträge aus dem Engineering & Industrial Management* vorlegen zu können. Mit unserer Schriftenreihe möchten wir einen Beitrag zur Verbreitung der am iaim sowie bei unseren Kooperationspartnern erzielten Erkenntnisse in Forschung und Praxis leisten sowie den Transfer in die interdisziplinäre Ingenieurausbildung fördern. Im zweiten Band fokussieren wir uns auf den 3D-Druck im Rahmen von Industrie 4.0 und eine Möglichkeit, mit dem Einsatz dieser Technik frühzeitig das Interesse an der Ingenieurausbildung zu fördern. Der Technikunterricht in der Sekundarstufe II in NRW bietet dazu die geeignete Plattform. Anhand eines beispielhaften Unterrichtsvorhabens werden der Einsatz von 3D-Druckern in der konkreten Anwendung sowie die Umsetzung von 3D-Druck anhand von geeigneten Konstruktions- und Druckbeispielen beschrieben und ein entsprechender Handlungsleitfaden entwickelt.

In dem Zeitraum von Juni 2017 bis Mai 2019 wurde das Projekt: „*FlexLab<sup>plus</sup>-Industrie 4.0*“ vom Europäischen Fond für regionale Entwicklung (kurz: EFRE) im Rahmen der Landesinitiative Zukunft durch Innovation (kurz: zdi) gefördert. In dieser Zeit konnten viele Erfahrungen, Wissen und Expertise von Expertinnen und Experten aus der Forschung und Industrie eingeholt werden. In Zusammenarbeit mit Lehrkräften sowie Schulkindern und Studierenden wurden schließlich die in diesem Beitrag vorgestellten mobilen FlexLab-Sets entwickelt und umgesetzt. Die Sets beinhalten alles, was benötigt wird, um Industrie 4.0 mittels 3D-Druck im Unterricht oder der Vorlesung erlebbar zu machen.

Industrie 4.0 – der Megatrend, der sowohl die Industrie als auch die Aus- und Weiterbildung stetig bewegt. Mit der damit verbundenen vierten industriellen Revolution wird vor allem die industrielle Produktion mit modernen Informations- und Kommunikationstechniken vernetzt, um so u. a. dem Bedarf nach immer individuelleren Produkten gerecht zu werden. Als Reaktion auf eine sich vernetzende Arbeitswelt rückt digitale Bildung auch in Schulen und Hochschulen stärker in den Fokus. Durch die einhergehende Veränderung der Bildungsanforderungen reduziert sich der Anpassungsprozess aber nicht nur auf den Einsatz digitaler Medien, sondern macht digitale Arbeitsprozesse und neue Technologien zum Unterrichtsgegenstand. An dieser Stelle ist in erster Linie der 3D-Druck, vor allem auch bekannt als additive bzw. generative Fertigung, zu erwähnen. Die verbreit-

tete Nutzung dieser Fertigungstechnologie ist einer der Gründe, weshalb Industrie 4.0 ins Leben gerufen worden ist. Darüber hinaus eignet sich der 3D-Druck als Instrument für eine praktische Umsetzung im Bildungskontext und die somit frühzeitige Vorbereitung auf viele Berufsfelder, da hierbei viele Kernkompetenzen zur Anwendung kommen, die für die Zukunft unabdingbar sein werden. Der 3D-Druck bietet in Lehr- und Lernkontexten eine Vielzahl von Möglichkeiten, entsprechende Fach- und Querschnittskompetenzen zu entwickeln sowie ein Verständnis für Prozessketten und den Wissenstransfer zu schaffen. Der Einsatz dieser zukunftssicheren Technologie ermöglicht grundsätzlich den Erwerb und die praktische Anwendung von Schlüsselkompetenzen in der (Hoch-)Schulbildung.

Essen, im Juni 2020

Prof. Dr.-Ing. Thomas Russack  
Direktor des iaim Institute of Automation & Industrial Management  
E-Mail: [thomas.russack@fom.de](mailto:thomas.russack@fom.de)

Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jerrentrup  
Beiratsvorsitzender des iaim Institute of Automation & Industrial Management  
E-Mail: [rudolf.jerrentrup@fom.de](mailto:rudolf.jerrentrup@fom.de)

**Inhalt**

Vorwort .....	III
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
Abbildungsverzeichnis .....	IX
Tabellenverzeichnis .....	XII
1 Einführung .....	1
1.1 Hintergrundinformationen .....	3
1.1.1 Industrie 4.0 .....	3
1.1.2 Kompetenzanforderungen im Kontext von Industrie 4.0 .....	7
1.2 Additive Fertigungsverfahren .....	8
1.2.1 Flüssiges Ausgangsmaterial .....	9
1.2.2 Festes Ausgangsmaterial .....	10
2 3D-Drucker Ultimaker 2 Go .....	13
2.1 3D-Drucker auspacken .....	13
2.2 3D-Drucker und seine Bauelemente .....	14
2.3 Druckerzubehör .....	16
2.4 3D-Drucker vorbereiten .....	17
2.4.1 Konstruktionsplatte präparieren .....	18
2.4.2 Stromversorgung .....	19
2.4.3 Verwendung des Dreh-/Druckschalters .....	19
2.4.4 Konstruktionsplatte ausrichten .....	20
2.4.5 Filament laden .....	23
2.5 Erste Schritte .....	24
2.6 Im Betrieb .....	25
2.6.1 Druck abbrechen .....	25
2.6.2 Filament wechseln .....	26
2.7 Drucker einpacken .....	26

---

3	3D-Software Autodesk® Fusion 360™ .....	28
4	Slicing-Software Cura .....	34
5	Druckobjekte nachbearbeiten .....	37
5.1	Druckobjekt von der Platte lösen .....	37
5.2	Support von dem Druckobjekt entfernen .....	37
5.3	Oberflächen glätten.....	38
5.4	Beschichten .....	39
6	Ein beispielhaftes Unterrichtsvorhaben für den 3D-Druck in der Schule .....	40
6.1	Verortung im Kernlehrplan Technik .....	41
6.2	Umsetzung in Unterrichtsvorhaben .....	42
6.3	Übersicht eines beispielhaften Unterrichtsvorhabens .....	44
6.4	Konkretisierung eines beispielhaften Unterrichtsvorhabens.....	45
7	Beispiel CAD: neigungsverstellbarer Tischständer für Smartphones .....	47
7.1	Modellierung der Bodenplatte .....	49
7.2	Modellierung der Stütze .....	72
7.3	Modellierung der Trägerplatte.....	76
7.4	Beispiel Slicen: neigungsverstellbarer Tischständer für Smartphones .....	83
8	Troubleshooting .....	96
8.1	Software-Internetproblem .....	96
8.2	3D-Drucker.....	97
8.2.1	Materialschrumpfung .....	98
8.2.2	Material haftet nicht an der Konstruktionsplatte .....	99
8.2.3	Materiallücken.....	101
8.2.4	Es kommt wenig oder kein Material aus der Düse .....	102
8.2.5	Stromausfall .....	103
8.2.6	Filament reicht nicht mehr für den Druck .....	103
8.3	Weitere Probleme .....	103

9 Weiterführende Informationen .....	104
9.1 Weitere 3D-Software .....	104
9.2 Slicing-Software .....	106
9.3 Internetlinks .....	107
Literaturverzeichnis .....	108
Internetquellen .....	111



**Abkürzungsverzeichnis**

3D	Dreidimensional
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
CPS	Cyber-Physische Systeme
FDM	Fused Deposition Modeling
FLM	Fused Layer Modeling
IoT	Internet der Dinge (eng. Internet of Things)
LS	Selektives Lasersintern
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik
PC	Polycarbonat
PLA	Polyactid
PVA	Polyvinylacetat
SL	Stereolithografie
STL	Standard Triangulation Language

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Auf dem Weg zur vierten industriellen Revolution .....	3
Abbildung 2: Internet der Dinge .....	5
Abbildung 3: Cloud Computing .....	6
Abbildung 4: Additive Fertigungsverfahren .....	9
Abbildung 5: Stereolithografie .....	10
Abbildung 6: Selektives Lasersintern .....	11
Abbildung 7: Fused Layer Modeling .....	12
Abbildung 8: Drucker aus der Transportbox nehmen .....	14
Abbildung 9: 3D-Drucker Ultimaker 2 Go (Vorderseite) .....	15
Abbildung 10: 3D-Drucker Ultimaker 2 Go (Rückseite) .....	16
Abbildung 11: Zubehör FlexLab-Koffer .....	17
Abbildung 12: Vorbereitung Konstruktionsplatte; links: falsch, rechts: richtig ...	18
Abbildung 13: Ultimaker 2 Go Bedienfront .....	20
Abbildung 14: Auswahlmenü Buildplate .....	21
Abbildung 15: Position Druckkopf .....	22
Abbildung 16: Konstruktionsplatte manuell kalibrieren .....	23
Abbildung 17: Einpackposition des Ultimakers 2 Go .....	27
Abbildung 18: Benutzeroberfläche Fusion 360™ .....	31
Abbildung 19: Facettenetze unterschiedlicher Auflösung .....	33
Abbildung 20: G-Code .....	35
Abbildung 21: Benutzeroberfläche Cura .....	36
Abbildung 22: Stützstrukturen entfernen .....	38
Abbildung 23: Unterrichtsvorhaben Smartphone-Halterung .....	41
Abbildung 24: Gesamtansicht: Smartphone Tischständer .....	48
Abbildung 25: CAD-Modell: Bodenplatte .....	49
Abbildung 26: Technische Zeichnung: Bodenplatte .....	50

---

Abbildung 27: Ursprungsebenen .....	51
Abbildung 28: Skizzenauswahl .....	52
Abbildung 29: Mittelpunkt Rechteck (Skizze) .....	53
Abbildung 30: Rechtecke zeichnen .....	54
Abbildung 31: 3D-Körpererstellung .....	55
Abbildung 32: 3D-Körper .....	56
Abbildung 33: Neue Skizze auf Körper.....	57
Abbildung 34: Neue Rechteckskizze .....	58
Abbildung 35: Extrusionsbefehl (positiv) .....	58
Abbildung 36: Weitere Skizze.....	59
Abbildung 37: Extrusionsbefehl (negativ).....	60
Abbildung 38: Rundungsbefehl .....	61
Abbildung 39: Eingabe Abrundung .....	62
Abbildung 40: Skizze rundliche Aussparung .....	63
Abbildung 41: Skizzenmaße rundliche Aussparung .....	63
Abbildung 42: Konstruktionslinie .....	64
Abbildung 43: Versatzbefehl.....	65
Abbildung 44: Versatzbefehl (Eingabe).....	65
Abbildung 45: Versatzbefehl (Maße).....	66
Abbildung 46: Mittelpunktauswahl .....	67
Abbildung 47: Skizze Rechteck .....	68
Abbildung 48: Skizzenauswahl.....	69
Abbildung 49: Skizze verschieben, kopieren, spiegeln .....	70
Abbildung 50: Extrusionsbefehl .....	70
Abbildung 51: Abrundung der Aussparungen .....	71
Abbildung 52: CAD-Modell: Stütze .....	72
Abbildung 53: Technische Zeichnung Stütze .....	73

---

Abbildung 54: Konstruktionsablauf der Stütze .....	75
Abbildung 55: CAD-Modell: Trägerplatte.....	76
Abbildung 56: Technische Zeichnung: Trägerplatte.....	77
Abbildung 57: Konstruktionsablauf der Trägerplatte .....	81
Abbildung 58: Benutzeroberfläche von Cura.....	83
Abbildung 59: Auswahlwerkzeug 3D-Drucken in Fusion 360 .....	84
Abbildung 60: Auswahlwerkzeug 3D-Drucken für Cura .....	84
Abbildung 61: Auswahl der Software Cura.....	85
Abbildung 62: Cura Startbildschirm.....	86
Abbildung 63: Modellplatzierung in Cura.....	87
Abbildung 64: Modellplatzierung in Cura.....	88
Abbildung 65: Definierte Ansichten in Cura.....	88
Abbildung 66: Druckeinrichtung in Cura .....	89
Abbildung 67: Darstellung von Stützstruktur .....	90
Abbildung 68: Benutzerdefinierte Druckeinrichtung .....	92
Abbildung 69: Auswahl der Schichtenansicht .....	93
Abbildung 70: Auswahlmöglichkeiten in der Schichtenansicht .....	94
Abbildung 71: Speichern der G-Code-Datei.....	95
Abbildung 72: Offline arbeiten mit Fusion 360 .....	97
Abbildung 73: Warping verursachende Zugkräfte beim 3D-Drucken.....	99
Abbildung 74: Warping .....	100
Abbildung 75: Skipped Layer .....	102

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Unterrichtsvorhaben .....	46
Tabelle 2: Computervoraussetzungen.....	96
Tabelle 3: 3D-Softwareauswahl.....	104
Tabelle 4: Slicing-Softwareauswahl.....	106
Tabelle 5: Internetlinks.....	107

## 1 Einführung

Ziel des Vorhabens FlexLab<sup>plus</sup> war die Entwicklung von dezentralen, zielgruppenübergreifenden MINT-Angeboten zum Themenfeld NEUE PRODUKTIONSMETHODEN. In diesem Zusammenhang ist das Interesse auf den umgangssprachlich genannten 3D-Druck gefallen. Die Bezeichnung 3D-Druck beinhaltet in diesem Zusammenhang alle additiven bzw. generativen Fertigungsverfahren. Der 3D-Druck gilt als eine Schlüsseltechnologie der sogenannten Industrie 4.0 und verfügt über eine große Anzahl thematischer Schnittstellen mit starkem MINT-Bezug<sup>1</sup>.

Im Rahmen des Projektes wurden mobile Experimentiersets entwickelt, die den 3D-Druck in den Fokus rücken. Die Sets enthalten neben technischen Komponenten auch didaktische Materialien, die es den Anwendenden ermöglichen, die Experimente ohne größere Vorbereitungszeiten zu verwenden. Bei der Konzeption der Sets wurden daher die Anforderungen der Lehrenden an die technische und didaktische Ausgestaltung der Sets früh im Prozess berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Fortbildungsseminare konzipiert, die interessiertes Lehrpersonal in die Nutzung der Sets einführen.

Die didaktischen Materialien sind exemplarisch für den Einsatz im allgemeinbildenden Fach „Technik“ der Sekundarstufe II konzipiert. Wenn die mobilen Experimentiersets in einem anderen als den vorgesehenen Kontext verwendet werden, müssen, abhängig von der Zielgruppe und dem Unterrichtsziel, eventuell Anpassungen vorgenommen werden. Diese betreffen das hier beispielhaft ausgearbeitete Unterrichtsvorhaben aus Kapitel 6 und die dazugehörigen didaktischen Materialien.

Der vorliegende Beitrag ist so aufgebaut, dass sich die Leserschaft im Kapitel Hintergrundinformationen über die Thematiken Industrie 4.0 und 3D-Druck informieren kann und auch schon konkrete Informationen über das hier verwendete Fertigungsverfahren Fused Layer Modeling sowie die verwendeten Softwarelösungen erhält. Dieses Kapitel ist sehr allgemein gehalten, sodass diese Informationen als Grundlage für viele mögliche Unterrichtsvorhaben dienen können. Folgend wird der entwickelte 3D-Drucker Ultimaker 2 Go und seine Funktionen grob vorgestellt, um einen Überblick über die Set-Inhalte und die Bedienung zu erhalten. Im Anschluss ist ein ausgearbeitetes Unterrichtsvorhaben beschrieben, das

---

<sup>1</sup> Das Akronym MINT steht für die Fachdisziplinen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik.

die Implementierung des 3D-Druckes im Unterricht erleichtern soll. Das erläuterte Unterrichtsvorhaben eignet sich, wie bereits erwähnt, für die Einführungsphase im Technikunterricht der Sekundarstufe II. Hier kann der 3D-Druck im Inhaltsfeld SOZIOTECHNISCHE SYSTEME betrachtet werden. Der Einsatz der mobilen 3D-Drucker eignet sich aber auch für die Qualifikationsphase im Technikunterricht der Sekundarstufe II, in welcher der 3D-Druck nicht selbst Thema des Unterrichts ist, sondern eher als Werkzeug zur Realisierung der im Kernlehrplan vorgesehenen Inhaltsfelder TECHNISCHE INNOVATION oder Entwicklungsfelder NEUE TECHNOLOGIEN verwendet wird. Da es im Umgang mit einem 3D-Drucker immer wieder zu kleinen oder großen Störungen kommen kann, ist in Kapitel 8 das Troubleshooting thematisiert, welches eine Beschreibung von möglichen Fällen und entsprechenden Lösungsansätzen beinhaltet. Abschließend sind am Ende dieses Beitrages noch viele weitere Informationsquellen aufgelistet, die ggf. hier fehlende Informationen liefern können.

Zur Einführung ist zu klären, was der Inhalt eines mobilen Experimentiersets ist.

Ein mobiles FlexLab-Set besteht aus:

- 3D-Drucker Ultimaker 2 Go inkl. Filamentrolle in einer Transportbox
- Zubehörkoffer bestehend aus:
  - Ordner mit didaktischem Material
  - Laptop mit installierter Software
  - Netzteil
  - Computermaus
  - 3D-Maus
  - Blaues Klebeband
  - Klebestift
  - Zange
  - Spachtel
  - Toolbox mit Kleinmaterialien (Sechskantschlüssel, Kalibrierungskarte, SD-Karte)

Die Inhalte des vorliegenden Beitrags sind zum Großteil aus dem Handbuch entnommen, welches jedem FlexLab-Set beiliegt (vgl. FOM Hochschule für Oekonomie & Management 2018). Bei Bedarf können die Inhalte somit auch dem grafisch aufgearbeiteten Handbuch entnommen werden.

## 1.1 Hintergrundinformationen

### 1.1.1 Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 wird für die vierte industrielle Revolution verwendet (s. Abbildung 1). Ursprünglich wurde unter einer industriellen Revolution die Entwicklung von der Agrar- zur Industriegesellschaft verstanden (vgl. Sendler 2013, S. 3). Heute werden allgemein solche Entwicklungen und Anwendungen neuer Formen gewerblicher Güterherstellung als industrielle Revolution bezeichnet, die zu einer tiefgreifenden wirtschaftlichen und sozialen Veränderung von Gesellschaften führen (vgl. Putzinger 2016, S. 367).

**Abbildung 1:** Auf dem Weg zur vierten industriellen Revolution



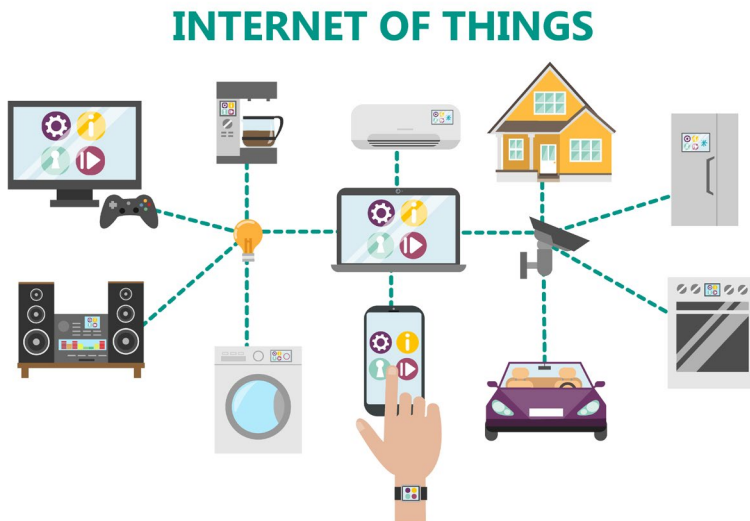
Quelle: Tim Stender

Angetrieben durch die Entwicklung der Dampfmaschine ereignete sich im 18. Jahrhundert die erste industrielle Revolution. Mit der Einführung mechanischer Produktionsanlagen kam es zur Industrialisierung, in deren Zuge strukturell bedingte Hungerkatastrophen ausblieben (vgl. Bauernhansl 2014, S. 6). Mithilfe elektrischer Energie und der Einführung arbeitsteiliger Produktionsmethoden wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Massenproduktion möglich, die die zweite industrielle Revolution kennzeichnet (vgl. Putzinger 2016, S. 367; Roth 2016, S. 5). Die dritte industrielle Revolution erfolgte, als durch den Einsatz von Elektronik und Informations- und Kommunikationstechnologien die Automatisierung von Produktionsprozessen fortschritt (vgl. Bauernhansl 2014, S. 7). Der Wunsch nach individuellen Produkten bestimmt heute den Bedarf nach flexiblen



Produktionen. Die kommende vierte industrielle Revolution ist daher durch vernetzte und kommunizierende Systeme innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette gekennzeichnet (vgl. Roth 2016, S. 5), wobei eine übergreifende Betrachtung von Produktlebenszyklen angestrebt wird (vgl. Schlund 2014, S. 15). Denn nur, wenn alle Produktionsmittel und Prozesse aufeinander abgestimmt sind, kann die Fertigung an die sich rasch ändernden Kundenanforderungen angepasst werden (vgl. Putzinger 2016, S. 372). Hierzu sind vollständig vernetzte, hochkommunikative, intelligente und selbstregelnde Systeme nötig, die erst durch die kontinuierliche Weiterentwicklung von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien realisierbar werden (vgl. Mathur und Weiß 2014, S. 144).

Wie aber ist es möglich, sowohl dezentrale als auch autonome und intelligente Produktionsanlagen zu realisieren? Hierfür werden sogenannte cyber-physische Systeme (CPS) eingesetzt. Dabei handelt es sich um physische Systeme, wie Geräte, Anlagen, Gebäude, Verkehrsmittel, Logistikkomponenten etc., die durch die Kombination von Hard- und Software eine eigene Identität bekommen und mit anderen Systemen kommunizieren (vgl. Bauernhansl 2014, S. 15). Ein CPS setzt sich aus den Bausteinen Ubiquitous Computing, Internet der Dinge (s. Abbildung 2) und Cloud Computing (s. Abbildung 3) zusammen (vgl. Siepmann 2016, S. 23).

**Abbildung 2: Internet der Dinge**

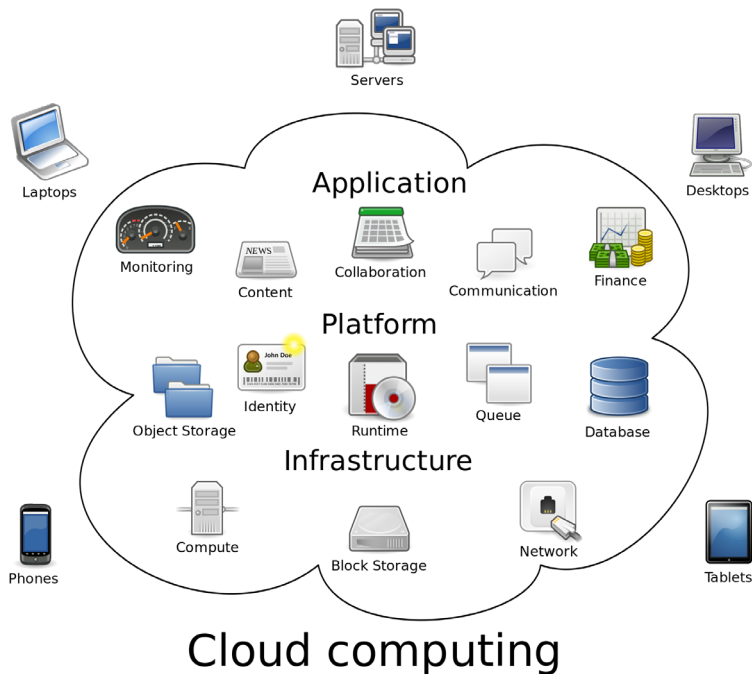
Quelle: Filimonova, G., 2018, iStockphoto

Unter dem Begriff Ubiquitous Computing (ubiquitous = engl. für *allgegenwärtig*) wird die Allgegenwärtigkeit von Computertechnik verstanden. Alle Objekte in einem System werden mehr oder weniger sichtbar mit entsprechender Mikroelektronik, Sensorik etc. ausgestattet. So eingerichtet, können die Systeme ihre Umwelt erfassen und haben beispielsweise das „Wissen“ über die eigene und die Position anderer Gegenstände in der Nähe. Neben dem aktuellen Systemzustand „erinnern“ sich die Systeme auch an vergangene Systemzustände (vgl. Friedewald et al. 2010, S. 9).

Damit die Objekte des Ubiquitous Computing außerdem untereinander kommunizieren können, bekommen sie im Internet der Dinge (engl. Internet of Things = IoT) eine eindeutige Identität zugewiesen. Während sich der Wirkungskreis des konventionellen Internets auf die digitale Welt der Rechner beschränkt und damit am Computerbildschirm endet, verknüpft das Internet der Dinge die Welt digitaler Informationen mit der Welt der physischen Objekte (vgl. Fleisch und Mattern 2007). Die Verwendung des Begriffes Internet der Dinge zielt auf die Ausweitung existierender Netzwerke um eine dingliche Dimension (vgl. Friedewald et al. 2010, S. 44). Neben Smartphones können bereits heute viele weitere Alltagsgegenstände mit dem Internet verbunden werden, wie Leuchtmittel, Steckdosen,

Raumthermostate, Feuermelder, Kühlschränke und sogar Zahnbürsten (vgl. Siepmann 2016, S. 26).

**Abbildung 3:** Cloud Computing



Quelle: Johnston, S., CC BY-SA 3.0

In der Industrie 4.0 dient das IoT in erster Linie als Verbindung zwischen den Objekten. Umsetzen lässt sich das Internet der Dinge im Rahmen von Industrie 4.0 allerdings nur durch eine entsprechend erweiterte IT-Infrastruktur. Diese muss flexibel auf die sich ändernden Produktionsbedingungen anpassbar sein. Hier spielt Cloud-Computing eine große Rolle. Dabei handelt es sich um ein Geschäftsmodell, das frei konfigurierbare Computerressourcen aber auch Werkzeuge und Applikationen jederzeit und von überall zur Verfügung stellt (vgl. Putzinger 2016, S. 25). Somit lassen sich Echtzeitauswertungen der Steuerung, Wartung und Kontrolle der cyber-physischen Systeme vornehmen (vgl. Siepmann 2016, S. 23).

### 1.1.2 Kompetenzanforderungen im Kontext von Industrie 4.0

Mit dem Ziel, die Produktion vollständig zu automatisieren, werden in der Industrie hohe Investitionen in spezialisierte Vollautomaten getätigt. Solche Investitionen rechnen sich nur, wenn die mit ihnen zu produzierende Stückzahl entsprechend hoch ist. Sich rasch ändernde Kundenanforderungen und der Wunsch nach individuellen Produkten führen allerdings dazu, dass die Stückzahlen je Produkt geringer und die Produktlebenszyklen immer kürzer werden. Die Investitionen in solche Vollautomaten sind daher wirtschaftlich nicht mehr vertretbar. In Zukunft werden vielmehr Produktionssysteme benötigt, die sich flexibler an Produktänderungen anpassen. Um die notwendige Flexibilität allerdings sicherzustellen, muss der Mensch wieder eine zentrale Rolle spielen (vgl. Schließmann 2017, S. 173).

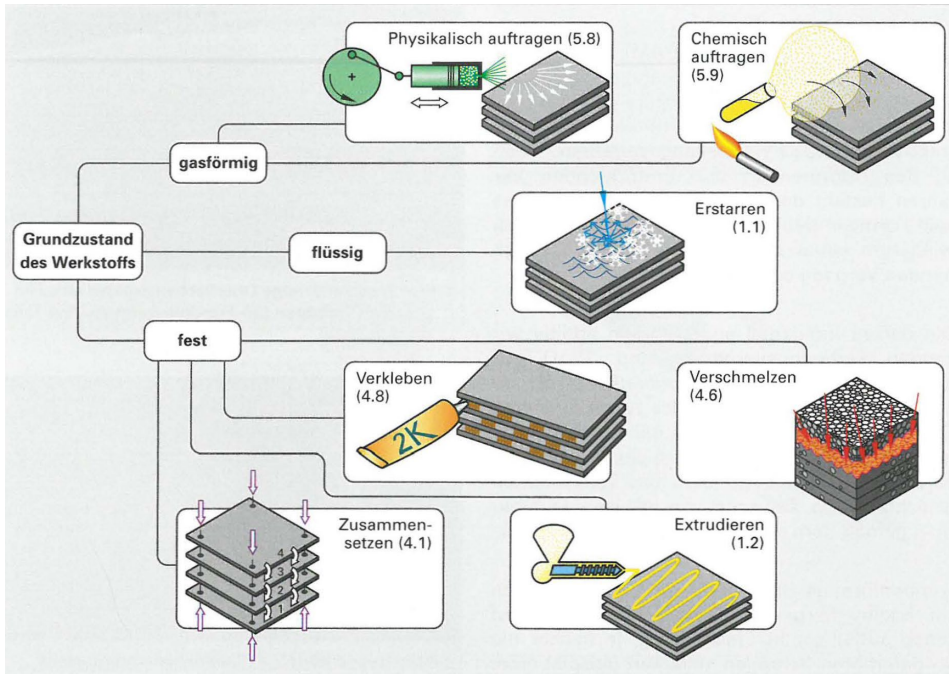
Damit wird im Kontext von Industrie 4.0 ein enges Zusammenspiel zwischen Mensch und cyber-physischen Systemen erforderlich; Industrie 4.0 wird also als „soziotechnisches System verstanden, das nicht nur neue technische, sondern auch neue soziale Infrastrukturen braucht, um erfolgreich umgesetzt zu werden“ (s. Bochum 2015, S. 37). Dabei stellen sich allerdings auch Fragen bezüglich zukünftiger Kompetenzen. So ist zu erwarten, dass sich durch die veränderten Produktionsmethoden mit ihren eingesetzten Technologien und Hilfsmitteln Auswirkungen auf die notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen sowie die Art der Kommunikation und Kooperation von Menschen ergeben (vgl. Schlund 2014, S. 17).

Angenommen wird, dass in einer vermehrt dezentral organisierten Produktion jeder einzelne Beschäftigte ein breiteres Aufgabenspektrum übernehmen muss. Die Tätigkeiten, die dabei auch von Beschäftigten auf der operativen Ebene durchgeführt werden, zeichnen sich durch überwiegend planerisch-schöpferische Tätigkeiten aus (vgl. Gorecky et al. 2014, S. 526). Sie werden gefordert sein, zunehmend eigenständig zu planen und Abläufe abzustimmen. Hierfür benötigen die betroffenen Beschäftigten ein Verständnis über das Zusammenwirken des gesamten Produktionsprozesses (vgl. Hirsch-Kreinsen 2015, S. 92). Neben diesem Überblickswissen werden aus heutiger Sicht Fähigkeiten zum Problemlösen, Abstrahieren und zur Komplexitätsreduktion benötigt (vgl. Becker 2015, S. 26), aber auch funktionsorientiertes und disziplinübergreifendes Denken (vgl. Lüder 2014, S. 503).

## 1.2 Additive Fertigungsverfahren

Durch das im Rahmen von Industrie 4.0 vorliegende Ziel, flexibel zu produzieren, kommt dem Rapid Prototyping (neben dem Rapid Manufacturing und dem Rapid Tooling) eine besondere Bedeutung zu (vgl. Szukitsch 2014, S. 115). Hierunter sind Verfahren zur schnellen Herstellung von Prototypen aus Konstruktionsdaten zu verstehen. Dazu zählt auch der 3D-Druck. Im Gegensatz zu den klassischen Fertigungsverfahren wie Bohren, Drehen oder Fräsen, bei denen Material abgetragen wird, wird beim 3D-Druck Material schichtweise hinzugefügt, weshalb auch von einem additiven oder synonym generativen Fertigungsverfahren gesprochen wird (vgl. Bauer et al. 2016, S. 4). Im Gegensatz zu den urformenden und umformenden Fertigungsverfahren benötigen additive Fertigungsverfahren zudem kein Formwerkzeug (vgl. Berger et al. 2013, S. 9), was bei kleinen Stückzahlen eine große Kostenersparnis darstellt. Der schichtweise Aufbau der Teile beim 3D-Druck ermöglicht die Herstellung komplexer Strukturen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht ohne weiteres realisiert werden können (vgl. Bauer et al. 2016, S. 4). Solch komplexe Strukturen werden beispielsweise im Leichtbau und in strömungsoptimierten Bauteilen benötigt (vgl. Baldinger 2014, S. 100).

Von additiven Fertigungsverfahren existieren mittlerweile verschiedene Verfahren (siehe Abbildung 4). Sie haben den schichtweisen Aufbau der Objekte gemeinsam und unterscheiden sich in dem Ausgangsmaterial, das fest, flüssig oder gasförmig sein kann, sowie in dem technologischen Prinzip der Objekterstellung (vgl. Breuninger et al. 2013, S. 25). Das Aufbringen feinsten Schichten ermöglicht den gasförmigen Aggregatzustand, weshalb diese Technologie die Basis für die Halbleiter- und Elektronikbranche ist. Die Herstellung großformatiger Werkstücke gelingt durch das Auftragen aus der Festphase mittels Drahtformen, Laminaten oder Pulvern. Feinere Oberflächen an Teilen mittleren und kleineren Formates können mit additiven Verfahren aus der Flüssigphase realisiert werden (vgl. Berger et al. 2013, S. 10).

**Abbildung 4:** Additive Fertigungsverfahren

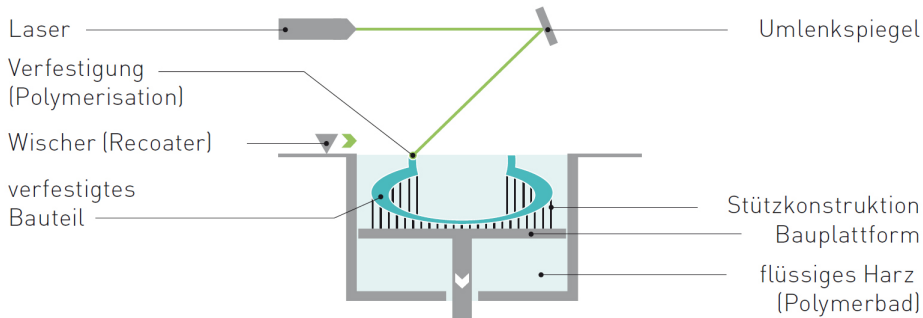
Quelle: Berger, U. et al. 2013, S. 10

### 1.2.1 Flüssiges Ausgangsmaterial

#### *Stereolithografie (SL)*

Bei der Stereolithografie (siehe Abbildung 5) wird ein lichtsensitive, zunächst flüssiger Kunststoff, beispielsweise Acryl, Epoxid- oder Vinylesterharz, in dünnen Schichten von einem Laser ausgehärtet. Dies geschieht in einem Bad, das mit dem flüssigen Kunststoff gefüllt ist und in dem sich eine schrittweise absenkende Bauplattform befindet. Der Laser fährt auf der Oberfläche der Flüssigkeit und härtet die entsprechenden Stellen aus. Die Plattform bewegt sich um den Betrag einer Schichtstärke nach unten in die Flüssigkeit, sodass ein Wischer flüssigen Kunststoff über der vorherigen Schicht verteilen kann, die wiederum von dem Laserstrahl ausgehärtet werden kann (vgl. Fastermann 2012, 121f.). So entsteht nach und nach ein dreidimensionales Modell, das allerdings durch Stützstrukturen gegen das Wegschwimmen in der Flüssigkeit fixiert werden muss.

**Abbildung 5: Stereolithografie**

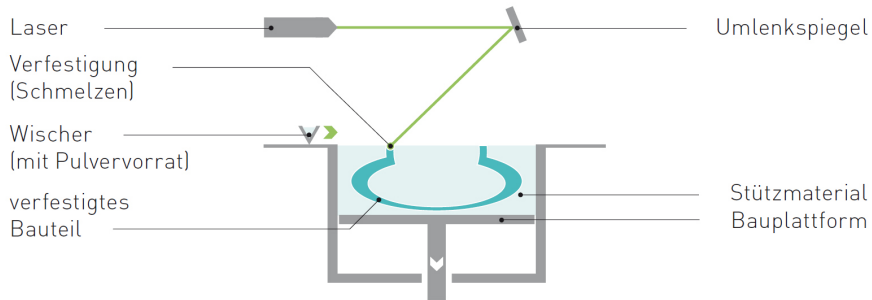


Quelle: Breuninger, J. et al. 2013, S. 27

## 1.2.2 Festes Ausgangsmaterial

### *Selektives Lasersintern (LS)*

Das selektive Lasersintern (siehe Abbildung 6) ist dem Verfahren der Stereolithografie sehr ähnlich (vgl. Hagl 2015, S. 23). Allerdings wird hier der Laserstrahl über die Oberfläche eines Behälters geführt, der mit pulverförmigem Kunststoff gefüllt ist (vgl. ebd.). Der Laserstrahl schmilzt die Körnchen lokal auf und versintert sie (vgl. Fastermann 2012, S. 118). Die Bauplattform wird anschließend um eine Schichtdicke abgesenkt und eine rotierende Walze bringt eine weitere Schicht Pulver auf, die im nächsten Schritt von dem Laserstrahl partiell gesintert wird (vgl. Gieseke et al. 2016, S. 21). Im Gegensatz zur Stereolithografie müssen keine Stützstrukturen aufgebaut werden, da das unverschmolzene Pulver als Stütze dient (vgl. Breuninger et al. 2013, S. 30). Nach der Fertigformung des Objektes wird die Bauplattform nach oben gefahren, das überschüssige Pulver entfernt, das Bauteil entnommen und ggf. weiterverarbeitet. Das nicht für das Modell verwendete Pulver kann zum großen Teil für weitere Bauteile wiederverwendet werden (vgl. Breuninger et al. 2013, S. 30).

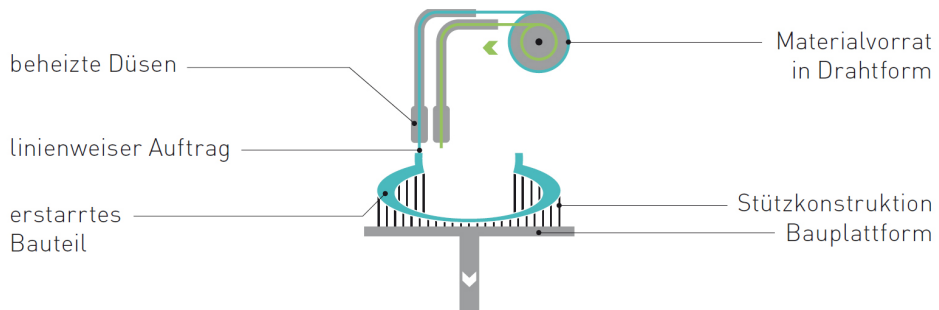
**Abbildung 6: Selektives Lasersintern**

Quelle: Breuninger, J. et al. 2013, S. 30

### *Fused Layer Modeling (FLM)*

Das bekannteste additive Fertigungsverfahren ist das Extrusionsverfahren Fused Layer Modeling (siehe Abbildung 7). Bei diesem Verfahren wird ein Draht aus schmelzfähigem Kunststoff durch eine beheizte Düse soweit aufgeheizt, dass dieser aufschmilzt (vgl. Bauer et al. 2016, S. 4). Der plastisch-breiiige Kunststoff wird durch die im Bauraum frei verfahrbare Düse auf eine Bauplattform gedrückt, wo er sofort erstarrt. Die nächsten Schichten werden dann auf dem bereits erstarrten Material abgelegt, sodass nach und nach ein dreidimensionales Bauteil entsteht. Für dieses Extrusionsverfahren wird auch der Begriff Fused Deposition Modeling (FDM) verwendet, bei dem es sich aber um eine geschützte Bezeichnung des Herstellers Stratasys handelt (vgl. Gebhardt 2016, S. 71). Als thermoplastische Kunststoffe werden häufig Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polycarbonat (PC), Polyactid (PLA) oder auch wasserlösliche Materialien, wie Polyvinylacetat (PVA), verwendet (vgl. Hagl 2015, S. 27). Überstehende Bauteile können mit dem FDM-Verfahren teilweise nur mit Stützkonstruktionen erzeugt werden, welche wiederum in einem zusätzlichen Nachbearbeitungsschritt entfernt werden müssen.



**Abbildung 7: Fused Layer Modeling**

Quelle: Breuninger, J. et al. 2013, S. 32

Der im Projekt FlexLab eingesetzte 3D-Drucker Ultimaker 2 Go basiert auf diesem FLM-Verfahren. Bei dem drahtförmigen Kunststoff, welcher auch als Filament bezeichnet wird, handelt es sich um Polyactid (PLA) – ein technischer Biopolymer auf Milchsäurebasis, der biologisch abbaubar ist (vgl. Fastermann 2014, S. 32).

## **2 3D-Drucker Ultimaker 2 Go**

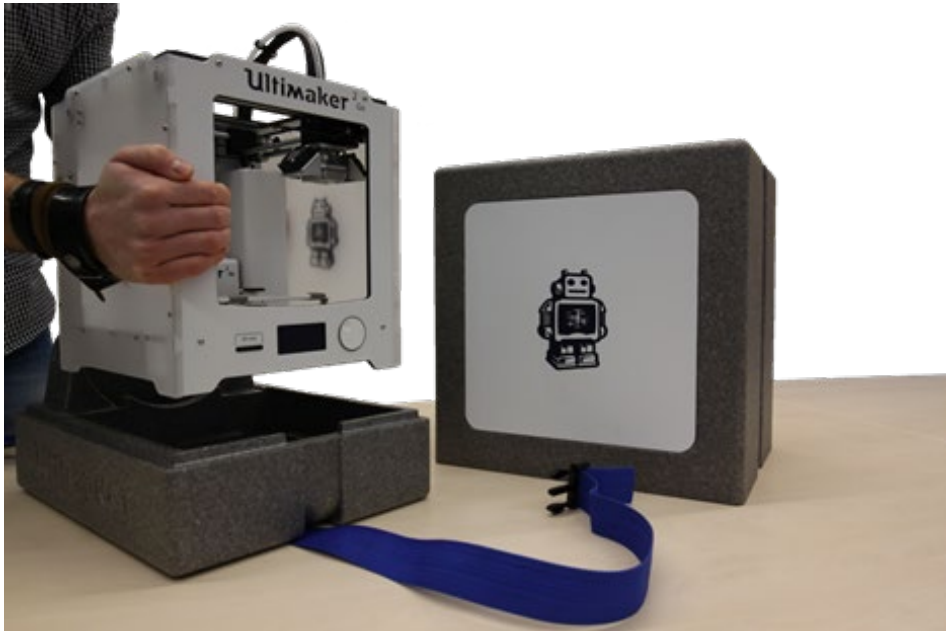
Der 3D-Drucker Ultimaker 2 Go (Fa. Ultimaker, Niederlande) ist so konzipiert, dass er sich für den Einsatz an wechselnden Orten eignet. Dafür wird er mit einer stabilen Transportbox ausgeliefert (siehe Abbildung 8).

In dem folgenden Kapitel wird gezeigt, wie der Drucker unbeschädigt aus- und eingepackt wird, aus welchen relevanten Bauteilen er besteht, wie er für das Drucken vorbereitet wird und was während des Druckens beachtet werden sollte. Da sich die folgenden Kapitel direkt auf die Verwendung der Hard- und Software beziehen, werden Sie als Lesende ab jetzt auch persönlich angesprochen.

### **2.1 3D-Drucker auspacken**

Stellen Sie die Transportbox am besten auf einen standsicheren Tisch oder eine Arbeitsplatte und lösen Sie den blauen Transportgurt. Nun können Sie den oberen Teil der Transportbox hochheben und zur Seite stellen. Nehmen Sie den Drucker samt montierter Filamentrolle aus dem unteren Teil der Transportbox heraus, indem Sie ihn ggf. zu zweit an den seitlichen Wänden fassen und hochheben (s. Abbildung 8).

Stellen Sie den Drucker zum Drucken auf eine ebene und saubere Fläche, die nicht wackelt. Während des Druckens können Vibrationen entstehen, die von der Arbeitsfläche aufgenommen werden sollten, um ein gutes Druckergebnis zu erhalten.

**Abbildung 8:** Drucker aus der Transportbox nehmen

Quelle: Eigene Darstellung

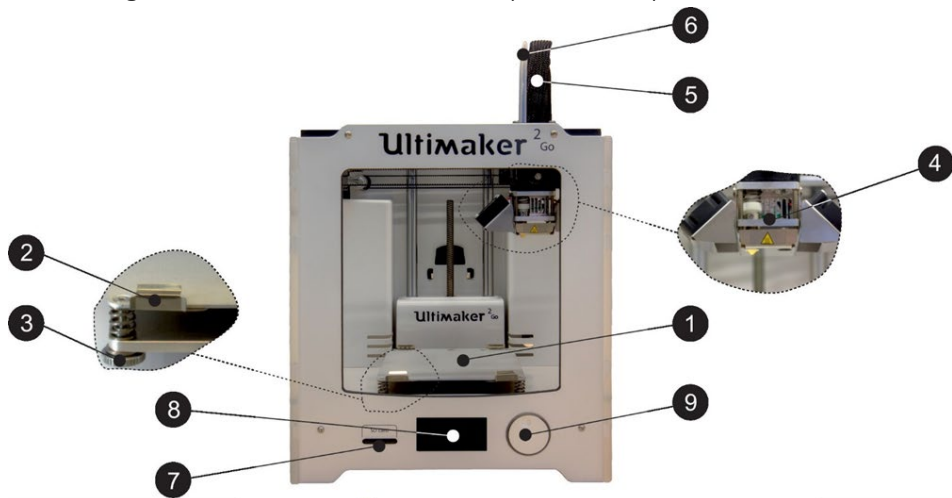
Öffnen Sie die zusätzliche Abdeckung im oberen Teil der Transportbox, um das zum Drucker gehörige Stromkabel zu entnehmen. In dem Fach unter der Abdeckung befindet sich außerdem zur Anschauung ein Werkstestdruck, der mit diesem Drucker gedruckt wurde.

## 2.2 3D-Drucker und seine Bauelemente

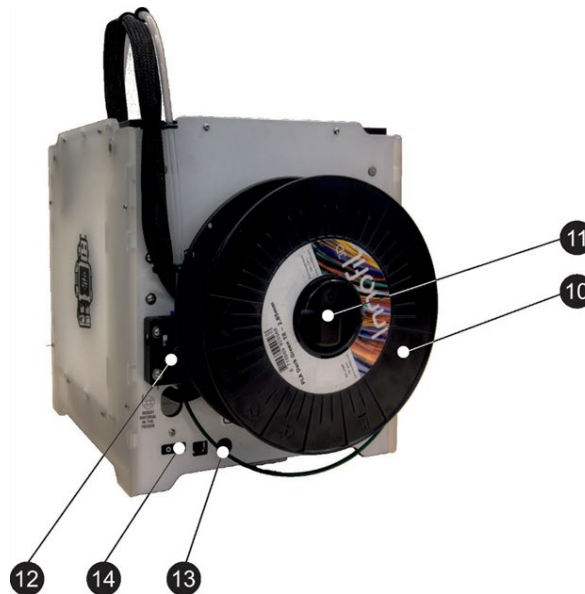
Der 3D-Drucker Ultimaker 2 Go und seine Bauelemente sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt. Auf der Konstruktionsplatte ❶ wird das 3D-Objekt gedruckt. Diese Glasplatte wird bei dem Ultimaker 2 Go nicht beheizt und muss so präpariert werden, dass die erste Druckschicht optimal auf der Platte haften kann. Diese Präparation wird unter dem Abschnitt 2.4 genau beschrieben. Die Konstruktionsplatte ❶ wird mit zwei Klemmen ❷ festgehalten und kann mit Schrauben ❸ in ihrer Höhe verstellt werden. Der Druckkopf ❹ besteht aus einer beheizten Düse, die das Filament aufschmilzt und zwei kleinen Lüftern. Der gesamte Druckkopf wird während des Druckes bewegt, um das aufgeschmolzene Filament der Druckdatei entsprechend auf der Konstruktionsplatte abzulegen. An

den Druckkopf angeschlossen sind das Druckkopf-Kabel ⑤ und das Filamentführungsrohr ⑥. Die Druckdateien werden auf einer SD-Karte gespeichert, die in den SD-Karteneinschub ⑦ gesteckt wird. Über das Display ⑧ und den Druck- und Drehschalter ⑨ kann die entsprechende Datei von der SD-Karte ausgewählt werden und Einstellungen vorgenommen werden. Auf der Rückseite des 3D-Druckers befindet sich die Filamentrolle ⑩, die einfach auf den Rollenhalter ⑪ geschoben wird. Das Filament gelangt über die Materialzuführung ⑫ in das Filamentführungsrohr ⑥ zum Druckkopf ④. Auch der Anschluss der Stromversorgung ⑬ befindet sich auf der Rückseite des 3D-Druckers. Wenn das Netzteil des Druckers angeschlossen ist, lässt sich der Drucker über den Netzschalter ⑭ einschalten.

**Abbildung 9:** 3D-Drucker Ultimaker 2 Go (Vorderseite)



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 10:** 3D-Drucker Ultimaker 2 Go (Rückseite)

Quelle: Eigene Darstellung

### 2.3 Druckerzubehör

Alles, was neben dem 3D-Drucker noch zum Erstellen und Drucken von 3D-Objekten benötigt wird, ist in dem separat erhältlichen FlexLab-Zubehörkoffer untergebracht.

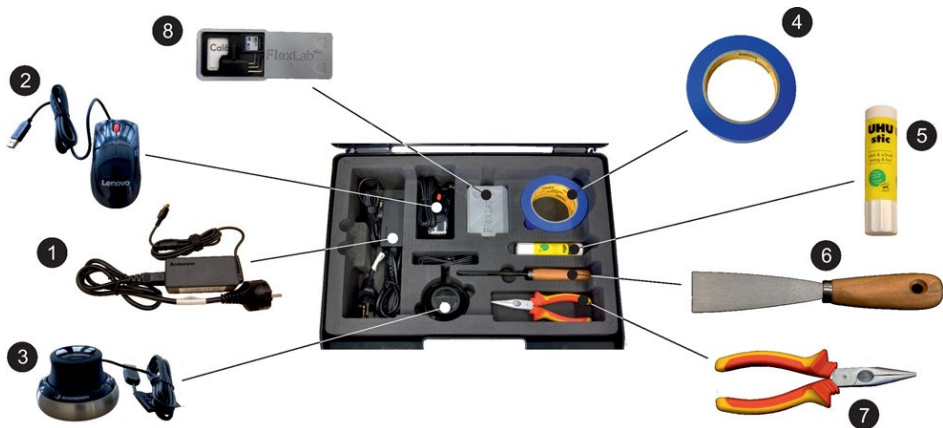
Zum Öffnen des Koffers legen Sie ihn so ab, dass die größere Hälfte des Koffers unten liegt, drücken Sie dann außen auf die roten Griffe, damit sie ihn entriegeln. Ganz oben in dem Koffer liegt der Ordner mit den didaktischen Materialien.

Darunter befindet sich die Schutzhülle für den hierunter liegenden Laptop. Unter dem Laptop finden sich in den Fächern der Koffereinlage (siehe Abbildung 11) folgende Zubehöre:

- ❶ das Netzteil des beiliegenden Laptops,
- ❷ eine übliche USB-Computermaus
- ❸ sowie eine für das Konstruieren von 3D-Modellen hilfreiche 3D-Maus,
- ❹ blaues Klebeband und

- ⑤ ein Klebestift zum Präparieren der Konstruktionsplatte (genaue Beschreibung erfolgt im nächsten Abschnitt),
- ⑥ ein Spachtel, um die gedruckten Objekte von der Konstruktionsplatte abzulösen,
- ⑦ eine Zange, um ggf. vorhandene Hilfsstruktur (Stützstruktur, Brim etc.) von dem gedruckten 3D-Objekt zu entfernen,
- ⑧ eine kleine Toolbox, mit einer SD-Karte; drei Innensechskantschlüssel sowie einer Kalibrierungskarte.

**Abbildung 11:** Zubehör FlexLab-Koffer



Quelle: Eigene Darstellung

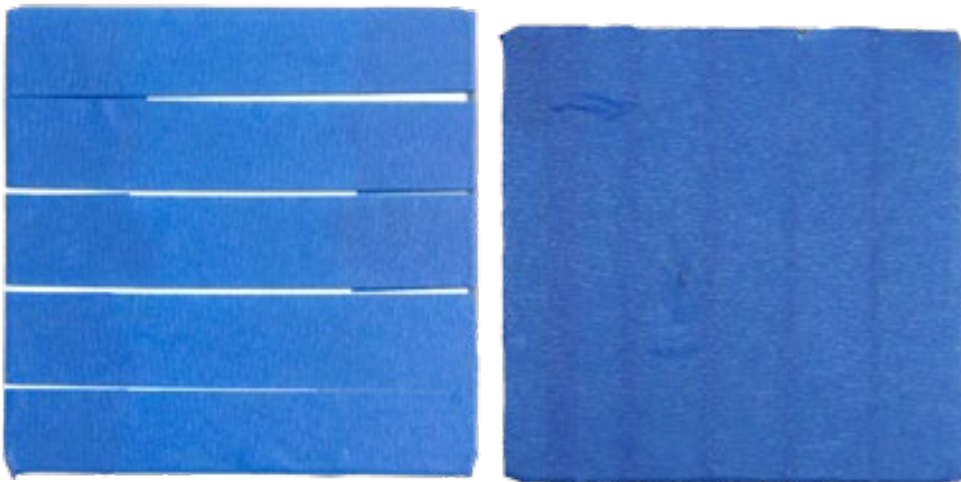
## 2.4 3D-Drucker vorbereiten

Um mit dem Ultimaker 2 Go ein 3D-Modell auszudrucken, sind ein paar Vorbereitungen zu treffen. Zum einen muss die Konstruktionsplatte präpariert und ausgerichtet werden und zum anderen muss (falls noch nicht vorhanden) Filament geladen werden. Diese Schritte werden im Folgenden genau beschrieben.

### 2.4.1 Konstruktionsplatte präparieren

Damit die erste Druckschicht gut auf der Konstruktionsplatte aus Glas hält, muss die Haftung erhöht werden. Dazu werden das blaue Klebeband sowie ein beliebiger Innensechskantschlüssel aus dem FlexLab-Zubehörkoffer benötigt (s. Abbildung 12).

**Abbildung 12:** Vorbereitung Konstruktionsplatte



falsch

richtig

Quelle: Eigene Darstellung

Wenn die Glasplatte noch nicht mit dem blauen Klebeband beklebt wurde oder eine vorhandene Schicht des Klebebandes auf der Platte verschmutzt oder sogar eingerissen ist, gehen Sie wie folgt vor:

1. Nutzen Sie den Innensechskantschlüssel und öffnen Sie damit die Klemmen an der Stirnseite der Konstruktionsplatte.
2. Ziehen Sie die Konstruktionsplatte vorsichtig nach vorne heraus.
3. Entfernen Sie ggf. vorhandenes Klebeband von der Glasplatte.
4. Kleben Sie Streifen des blauen Klebebandes nebeneinander auf die Glasplatte. Achten Sie zum einen darauf, dass zwischen den Streifen keine Lücken entstehen und zum anderen, dass sich die Streifen nicht überlappen.

5. Schieben Sie die Platte wieder in die Klammern auf der Rückseite. Es spielt erfahrungsgemäß keine Rolle, ob die Klebestreifen längs oder quer verlaufen.
6. Schließen Sie die vorderen Klemmen wieder.

### **2.4.2 Stromversorgung**

Das Netzteil mit dem Netzkabel befindet sich in dem oberen Teil der Transportbox des Druckers. Stellen Sie sicher, dass sich der Netzschalter in der Off-Stellung befindet. Verbinden Sie zunächst das Netzkabel mit dem Netzteil und stecken Sie den Stecker des Netzkabels in die Steckdose. Das andere Ende des Netzteilkabels stecken Sie in die Anschlussbuchse auf der Rückseite des Druckers. Achten Sie beim Anschließen darauf, dass die flache Seite des Kabels nach unten zeigt. Schalten Sie den Drucker ein, indem Sie den Netzschalter auf On (I) stellen.

### **2.4.3 Verwendung des Dreh-/Druckschalters**

Im eingeschalteten Zustand des Druckers können Sie mithilfe des beleuchteten Drehknopfes durch das Menü des Druckers navigieren, das Ihnen in dem Display angezeigt wird (siehe Abbildung 13). Durch Drehen können Sie entweder einen Menüpunkt auswählen oder Einstellungsparameter ändern. Durch Drücken bestätigen Sie Ihre Eingabe. Ein blinkender Drehknopf bedeutet, dass Sie eine Eingabe vornehmen müssen. Die Bezeichnung der Menüpunkte des Ultimakers 2 Go sind in englischer Sprache. Eine Umstellung der Sprache auf Deutsch ist nicht möglich.



**Abbildung 13:** Ultimaker 2 Go Bedienfront

Quelle: Eigene Darstellung

#### 2.4.4 Konstruktionsplatte ausrichten

Der Abstand zwischen der Düse, aus der das Filament gedrückt wird, und der Konstruktionsplatte, auf der die Schichten abgelegt werden, darf nicht zu groß sein, weil das Filament relativ schnell erkaltet. Ein zu großer Abstand führt dazu, dass der extrudierte Kunststoff bereits fest wird, bevor er die Druckplatte berührt und damit nicht auf ihr haften bleibt. Allerdings darf der Abstand zwischen der Düse und der Konstruktionsplatte auch nicht zu gering sein, sonst kann der extrudierte Kunststoff nicht frei aus der Düse befördert werden, was dann schnell zu einer Verstopfung der Düse führt.

Der Abstand muss nur nach einem Transport justiert werden oder wenn Sie das Gefühl haben, dass der Abstand nicht stimmt. Der Ultimaker 2 Go führt Sie durch einige Schritte, um den optimalen Abstand zwischen Düse und Platte zu finden. Dazu wählen Sie im Startbildschirm den Menüpunkt *Maintenance* aus und dann den Punkt *Buildplate* (siehe Abbildung 14).

**Abbildung 14:** Auswahlmenü Buildplate

Quelle: Eigene Darstellung

Der Ultimaker 2 Go informiert Sie darüber, dass er Sie durch die Einrichtung der Konstruktionsplatte führen wird. Bestätigen Sie die Information durch die Auswahl von *Continue*.

Der Druckkopf fährt zu einem Punkt im hinteren Bereich des Druckraumes und die Konstruktionsplatte fährt nach oben und stoppt in einem relativ großen Abstand zur Düse. Durch das Drehen des Drehknopfes sollen Sie den Abstand auf 1 Millimeter reduzieren (siehe Abbildung 15). Ihr Augenmaß reicht dabei völlig aus, die Feinjustierung erfolgt später. Wichtig ist nur, dass die Düse die Konstruktionsplatte nicht berühren darf. Bestätigen Sie Ihre Änderung durch Drücken des Drehknopfes.

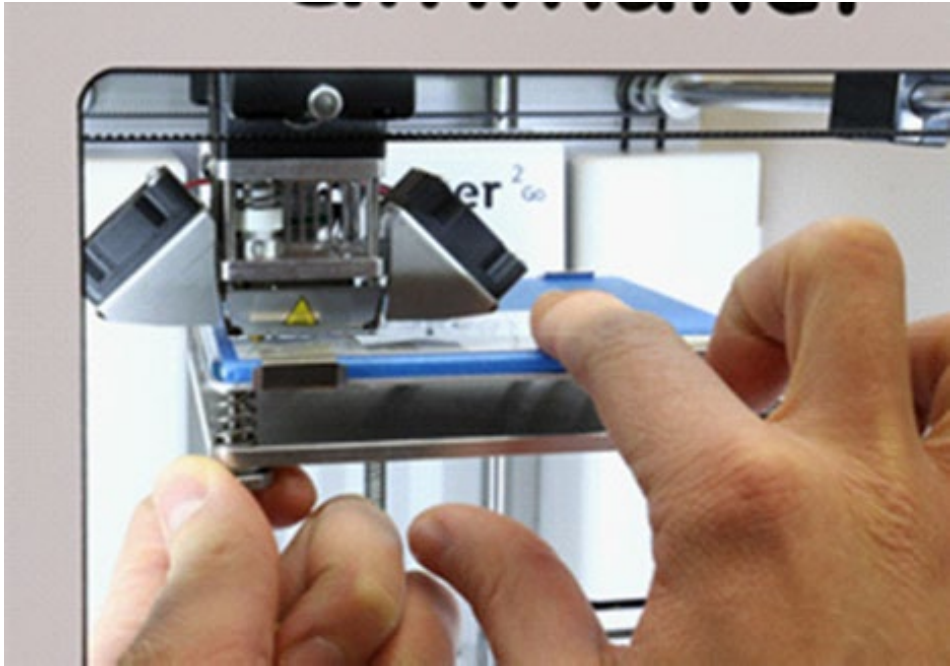
Der Druckkopf fährt zu einem Punkt in dem vorderen linken Bereich der Konstruktionsplatte. Falls an diesem Punkt der Abstand zwischen Düse und Platte viel mehr oder weniger als 1 mm beträgt, können Sie den Abstand durch Drehen der an der Platte befindlichen Schraube ändern.

- Drehen der Schraube nach links → Abstand zwischen Düse und Platte verringern.
- Drehen der Schraube nach rechts → Abstand zwischen Düse und Platte vergrößern.

**Abbildung 15:** Position Druckkopf

Quelle: Eigene Darstellung

Drücken des Drehknopfes bestätigt Ihre Eingabe und der Druckkopf fährt zu einem Punkt auf der vorderen rechten Seite der Platte. Gehen Sie hier wie im vorherigen Schritt vor. Anschließend erfolgt die Feinjustierung. Hierzu benötigen Sie die Ultimaker Calibration card aus der FlexLab Toolbox, die sich in dem FlexLab-Zubehörkoffer befindet. Verringern Sie den Abstand für den hinteren Punkt mit dem Drehschalter soweit, bis Sie einen minimalen Widerstand verspüren, wenn Sie die Calibration card zwischen Düse und Platte schieben (siehe Abbildung 16). Die Karte sollte dabei aber noch verschiebbar sein.

**Abbildung 16: Konstruktionsplatte manuell kalibrieren**

Quelle: Eigene Darstellung

Nach der Bestätigung wiederholen Sie den Schritt der Feinjustierung mit der Calibration card auch für die vordere linke Ecke. Nutzen Sie für die Verringerung des Abstandes hier aber wieder die linke Schraube an der Konstruktionsplatte. Drehen nach links = Abstand verringern. Das gleiche führen Sie auch für die rechte Ecke durch.

**2.4.5 Filament laden**

Für den Fall, dass der Drucker noch kein Filament geladen hat, müssen Sie vor Druckbeginn zunächst entsprechendes Material laden. Halten Sie dazu eine Rolle PLA-Filament mit dem Durchmesser von 2,85 mm bereit. Dieses erhalten Sie zusammen mit den 3D-Drucker. Überprüfen Sie, ob die Rolle in einem sauberen Zustand ist und ob der Anfang der Filamentrolle gerade ist und an ihm keine Spuren bereits aufgeschmolzenen Materials haften. Anderenfalls brechen Sie einfach das unsaubere Stück des Filaments ab.

Wählen Sie im Menü des Druckers den Menüpunkt *Maintenance*, dann *Advanced* und nun die Option *Insert material*.

Der Ultimaker 2 Go führt Sie mit einigen Anweisungen durch diesen Prozess. Zunächst informiert Sie der Drucker darüber, dass die Düse erwärmt wird. Im Anschluss werden Sie aufgefordert, das neue Material in die Materialzuführung auf der Rückseite des Druckers zu führen.

Schieben Sie die Filamentrolle so auf den Rollenhalter, dass das Filament leicht abgerollt werden kann und sich beim Abrollen nicht verknotet. Führen Sie das Filament dann von unten in die Materialzuführung, bis Sie merken, dass die Rollen der Materialzuführung das Filament selbst weiterführen. Bestätigen Sie dann erst im Display die Anweisung mit *Ready*.

Der Drucker führt dann das Material weiter zur Düse, wo es geschmolzen wird und nach einiger Zeit aus der Düse tritt. Wenn geschmolzenes Filament aus der Düse fließt, bestätigen Sie dies mit *Ready*.

Sollte auch nach einiger Zeit (mehr als 2 Minuten) kein Material aus der Düse kommen, brechen Sie den Vorgang mit *Cancel* ab und folgen Sie dann den Schritten, die nötig sind, um eine Verstopfung der Düse zu beheben.

Um ein bereits geladenes Filament zu wechseln, gehen Sie ähnlich vor. Eine genaue Beschreibung erhalten Sie in Kapitel 2.6.

## 2.5 Erste Schritte

Um ein Objekt zu drucken, muss die G-Code-Datei des Objektes auf der SD-Karte abgespeichert sein (Die Erklärung hierzu finden Sie im Kapitel 3). Auf der mitgelieferten Karte befinden sich schon G-Code-Dateien von Objekten, die ausgedruckt werden können. Stecken Sie dazu die SD-Karte in den dafür vorhergesehenen SD-Kartenschlitz.

Im Startmenü wählen Sie den Menüpunkt *Print* aus. Es werden dann alle Dateien angezeigt, die auf der SD-Karte gespeichert sind. Durch Drehen des Drehknopfes können Sie eine Datei wählen und durch Drücken des Drehknopfes wird der Druck der entsprechenden Datei gestartet. Dabei wird zunächst die Düse auf Betriebstemperatur erhitzt, bevor der eigentliche Druck beginnt. Diese Zeit lässt sich nutzen, um beispielsweise Druckparameter zu ändern.

Einen Parameter, der zu Beginn des Druckes mit dem Ultimaker 2 Go auf jeden Fall geändert werden sollte, ist die Geschwindigkeit. Eine zu hohe Geschwindigkeit führt zu Beginn oft dazu, dass die erste Schicht nicht auf der Konstruktionsplatte haften bleibt. Ist die erste Schicht erstellt, lässt sich die Geschwindigkeit wieder erhöhen.

Um Parameter zu ändern, wählen Sie, nachdem Sie einen Druck ausgewählt und bestätigt haben, den Menüpunkt *Tune* aus. Wählen Sie dann den Menüpunkt *Speed* und reduzieren Sie die Geschwindigkeit auf 50 % der eingestellten Geschwindigkeit, indem Sie den Drehknopf drehen. Bestätigen Sie Ihre Änderung durch Drücken des Drehschalters. Über den Menüpunkt *Return* gelangen Sie wieder zurück. Nachdem der Drucker die erste Schicht gedruckt hat, können Sie über den gleichen Weg die Geschwindigkeit wieder auf 100 % oder höher setzen.

Wenn Sie noch keine Erfahrungen im Umgang mit den Ultimaker 2 Go haben, arbeiten Sie lieber mit geringeren Geschwindigkeiten und beobachten Sie die Druckqualität und tasten Sie sich dann zu etwas höheren Geschwindigkeiten vor, um zu beurteilen, was noch zu akzeptablen Ergebnissen führt.

Neben der Druckgeschwindigkeit gibt es noch viele weitere Parameter, die das Druckergebnis beeinflussen. Einige davon werden Ihnen im Kapitel 2.6 vorgestellt.

## **2.6 Im Betrieb**

### **2.6.1 Druck abbrechen**

Für den Fall, dass die erste Schicht nicht an der Konstruktionsplatte haftet oder sonstige Probleme während des Druckes entstehen, die nicht behoben werden können, muss der Druck abgebrochen werden. Dazu wählen Sie den Menüpunkt *Abort* und bestätigen die anschließende Frage mit *Yes*. Der Druckerkopf und die Konstruktionsplatte fahren wieder in ihre Ausgangspositionen und Sie können eventuell schon Gedrucktes von der Platte entfernen.

## 2.6.2 Filament wechseln

Falls Sie merken, dass das Filament während eines Druckes nicht mehr für den laufenden Druck reicht, können Sie dieses auch bei bereits begonnenen Druck wechseln. Dazu wählen Sie zunächst den Menüpunkt *Pause*. Die Düse des Druckers fährt dabei in eine Warteposition. Wählen Sie aus den vorhandenen Optionen *Change material*.

Die Düse des Druckers heizt sich auf die Schmelztemperatur des Materials auf.

Wenn die Temperatur erreicht wurde, zieht der Drucker das Material nach hinten raus (Displayanzeige: *Reversing material*).

Der Drucker fordert Sie anschließend dazu auf, das Material zu entfernen. Ziehen Sie dazu auf der Rückseite des Druckers das verbleibende Filament aus der Materialzuführung heraus. Anschließend bestätigen Sie diesen Schritt mit *Ready*.

Nun geben Sie an, aus welchem Material das neu zu ladende Filament besteht. Das in dem Projekt FlexLab zur Verfügung stehende Filament besteht aus PLA (Polylactid), einem Biopolymer auf Milchsäurebasis. Nun werden Sie dazu aufgefordert, auf der Rückseite des Druckers das Material in die Materialzuführung zu führen.

Achten Sie darauf, dass Sie nur sauberes und unbeschädigtes Filament laden.

Wenn Sie den Vorgang mit *Ready* bestätigen, zieht der Ultimaker 2 Go das neue Material ein und drückt es langsam durch die Düse. Bestätigen Sie wieder mit *Ready*, wenn geschmolzenes Filament aus der Düse kommt.

Nun ist alles für den weiteren Druck vorbereitet. Setzen Sie Ihren Druck fort, indem Sie anschließend *Resume Print* wählen.

## 2.7 Drucker einpacken

Beim Einpacken des Druckers müssen ein paar wenige Schritte beachtet werden:

1. Schalten Sie den Drucker aus.
2. Ziehen Sie das Stromkabel aus dem Drucker und der Steckdose.
3. Legen Sie das Stromkabel in das Fach in den oberen Teil der Transportbox.
4. Entfernen Sie ggf. gedruckte Objekte aus dem Druckraum.

5. Schieben Sie den Druckkopf von Hand in die Position rechts vorne (s. Abbildung 17). Setzen Sie den Drucker in den unteren Teil der Transportbox (die Filamentrolle bleibt am Drucker montiert).
6. Setzen Sie nun den oberen Teil der Transportbox auf. Achten Sie darauf, dass die Lücke zwischen dem oberen und unteren Teil der Transportbox vollständig geschlossen ist. Ist dies nicht der Fall, drücken Sie auf keinen Fall mit Kraft auf den oberen Teil, sondern heben Sie ihn erneut an und prüfen Sie, ob das Druckkopf-Kabel und das Filamentrohr in die Lücke des oberen Boxenteils passen und helfen Sie eventuell etwas nach. Erfahrungsgemäß sind ein paar Versuche nötig.
7. Schließen Sie die Abdeckung des Faches in dem oberen Teil der Transportbox. Legen Sie den Transportgurt um die Box in die dafür vorgesehene Vertiefung der Box, sodass sich der Verschluss oben befindet und schließen Sie den Gurt.

**Abbildung 17: Einpackposition des Ultimakers 2 Go**



Quelle: Eigene Darstellung



### 3 3D-Software Autodesk® Fusion 360™

Um ein eigenes dreidimensionales Modell konstruieren zu können, wird eine 3D-Konstruktionssoftware benötigt. Der Prozess der Modellierung ist bei fast allen Softwarelösungen, die es auf dem Markt gibt, ähnlich. Zunächst wird eine zweidimensionale Skizze angefertigt und anschließend in einen Volumenkörper umgewandelt, an dem sich noch Änderungen vornehmen lassen.

Zwischen den einzelnen Softwarelösungen gibt es aber große Unterschiede. Manche Software gibt es schon eine sehr lange Zeit am Markt, während sich einige Softwares erst im Entwicklungsstadium befinden und damit häufig abstürzen. Software, die für den professionellen Einsatz entwickelt wurde, hat einen sehr großen Funktionsumfang. Ihr Nutzen erfordert allerdings oft umfangreiche Vorkenntnisse. In Kapitel 9 befindet sich eine Tabelle mit einer (nicht vollständigen) Auswahl an Softwarelösungen, ihrem Anwendungsbereich, Preisniveau und Nennung der entsprechenden Webseite.

Für den exemplarischen Einsatz im Schulunterricht ist nicht jede der verfügbaren Softwarelösungen geeignet. Die Software wird im Kontext Schule in der Regel nicht dauerhaft, sondern projektförmig im Rahmen einer Unterrichtsreihe eingesetzt. Zeitlich ist es daher kaum möglich, dass sich die Schulkinder, die zudem unterschiedliche Vorkenntnisse haben, in eine aufwändige Software einarbeiten. Damit die Kreativität der Lehrpersonen bei der Unterrichtsplanung nicht eingeschränkt wird, sollte der Funktionsumfang allerdings auch nicht zu stark begrenzt sein. Viele Funktionen, die gleichzeitig über intuitiv verständliche Icons aufgerufen werden können, wären optimal. Wechselnde Arbeitsplätze in der Schule oder die Möglichkeit des Weiterarbeitens der Schulkinder zu Hause erfordern zudem einen ortsunabhängigen Datenzugriff.

Die perfekte Software, die allen Ansprüchen gerecht wird, gibt es leider nicht. Mit Autodesk® Fusion 360™ wird Ihnen eine Software gezeigt, die sich sowohl für einfache als auch für komplexe Anwendungen eignet und dabei in ihren Grundfunktionen schnell zu erlernen ist. Die Software ist (wie alle Produkte aus dem Haus Autodesk®) für Lehrpersonen, Schulkinder und Studierende kostenfrei. Dazu benötigen Sie einen Account bei Autodesk®, dessen Erstellung weiter unten beschrieben wird. Fusion 360™ lässt sich zwar ohne einen Account installieren, allerdings erst nach der erfolgten Anmeldung nutzen.

Mit der Anmeldung durch einen Autodesk-Account ist der Vorteil verbunden, dass mit Fusion 360™ konstruierte Modelle in der Autodesk-Cloud gespeichert werden. An dem PC oder Laptop begonnene Konstruktionen können so ohne den Schritt des Zwischenspeichers auf Wechseldatenträgern zu Hause oder an einem anderen Ort weiterbearbeitet werden. Auch die gemeinsame Arbeit an einem Unterrichtsprojekt wird so erleichtert.

Autodesk® Fusion 360™ ist bereits auf dem Laptop, den Sie im FlexLab-Zubehörkoffer finden, installiert. Sie müssen sich hier also lediglich mit Ihrem Autodesk-Account anmelden und können Fusion 360™ sofort nutzen. Wenn Sie noch keinen Account besitzen, klicken Sie einfach unter dem Eingabefenster auf *Konto erstellen*.

Wenn Sie an einem Rechner arbeiten, auf dem noch kein Fusion 360™ installiert ist, dann rufen Sie in Ihrem Internetbrowser den folgenden Link auf:

<https://www.autodesk.de/education/free-educational-software>

Ist dieser Link nicht mehr aktuell, suchen Sie mithilfe der Suchbegriffe „Autodesk“ + „Education“ nach der entsprechenden Website.

Auf der Webseite gibt es in dem Seitenbereich oben rechts eine Funktion Anmelden. Klicken Sie darauf und wählen Sie in dem Pop-up-Menü den Link *Anmelden*.

In dem sich öffnenden Fenster klicken Sie, ohne weitere Eingaben zu machen, auf den Link *Konto erstellen*. In dem sich ladenden Tab füllen Sie zunächst alle Eingabefelder aus und bestätigen Sie mit einem Häkchen, dass Sie die Nutzungsbedingungen und die Datenschutzrichtlinien von Autodesk® akzeptieren.

Die Meldung, dass Ihr Konto erstellt wurde, quittieren Sie dann mit *Fertig*. Auf der Website sehen Sie nun, dass Sie angemeldet sind.

Die Anmeldung ist allerdings noch nicht abgeschlossen. Anschließend erfolgt noch die Überprüfung der angegebenen E-Mail-Adresse. Dazu klicken Sie auf der Website auf das Anmeldesymbol und dann auf den Button *Überprüfungs-E-Mail aufrufen*. Sie erhalten eine E-Mail an die angegebene E-Mail-Adresse. Hierin finden Sie einen Button bzw. Link, auf den Sie klicken müssen, um die Verifizierung ihrer E-Mail-Adresse abzuschließen. Nach dieser ersten Anmeldung können Sie die Produkte von Autodesk® herunterladen und installieren. Dazu gehören beispielsweise AutoCAD®, Fusion 360™, Inventor®, Netfabb® und Tinkercad™.

Wenn Sie Autodesk® Fusion 360™ installiert haben, öffnen Sie das Programm und melden sich mit der E-Mail-Adresse und dem Passwort Ihres Autodesk-Accounts an. In dem sich öffnenden Fusion 360™-Fenster sehen Sie oben rechts, dass Sie zum einen mit Ihrem Account angemeldet sind und zum anderen, dass Sie das Produkt zunächst nur 30 Tage kostenlos testen können.

Um Fusion 360™ dauerhaft nutzen zu können, klicken Sie auf das blaue Feld und wählen Sie in dem sich öffnenden Fenster die Option *Als Schüler/Student oder Lehrkraft anmelden (kostenlos)*. Wählen Sie in dem Popup-Menü das entsprechende Land aus und setzen das Häkchen, um die Nutzungsbedingungen zu akzeptieren und klicken dann auf den Button *Übermitteln*.

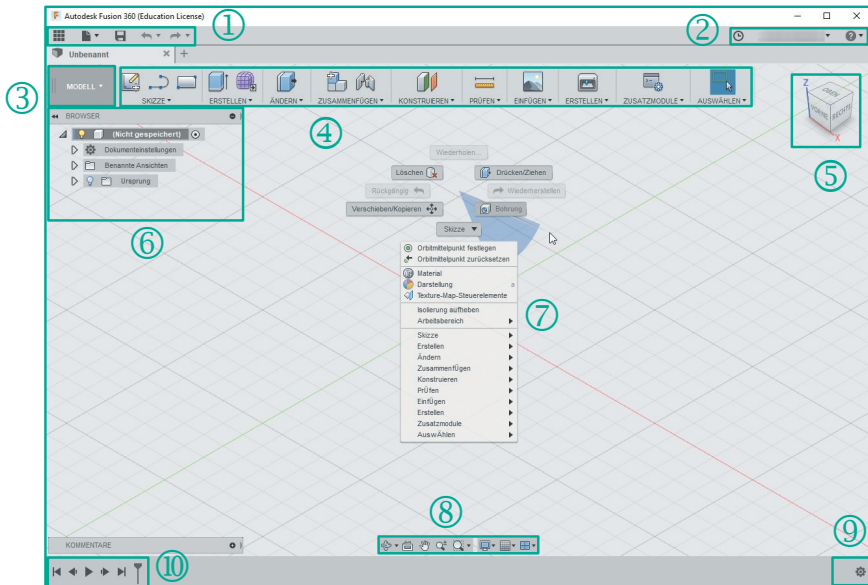
Nun können Sie Autodesk® Fusion 360™ drei Jahre lang kostenlos nutzen. Nach dieser Nutzungszeit können Sie diesen Education-Account nach Bedarf verlängern.

Fusion 360™-Daten werden grundsätzlich online gespeichert. Um Ihre Daten übersichtlich zu strukturieren, sollten Sie verschiedene Projekte anlegen. Um die Projektansicht aufzurufen, innerhalb der Sie die bereits vorhandenen Projekte finden und neue Projekte anlegen können, klicken Sie in der Anwendungsleiste auf *Gruppe Daten einblenden*.

Es öffnet sich in dem linken Bereich des Fensters die Ansicht des Projektes, in dem Sie aktuell arbeiten. Wenn Sie in Fusion 360™ noch keine anderen Projekte angelegt haben, ist dieses standardmäßig das Projekt „My First Project“.

Um alle Projekte zu sehen oder ein neues Projekt anzulegen, klicken Sie auf den Pfeil nach links neben dem Projektnamen. Um ein vorhandenes Projekt zu öffnen, doppelklicken Sie auf den entsprechenden Projektnamen. Um ein neues Projekt anzulegen, wählen Sie *Neues Projekt*.

Die Projektansicht lässt sich schließen, indem Sie das Kreuz oben rechts in der Ansicht anklicken oder das Icon *Gruppe Daten Ausblenden*. Einen Überblick über die Benutzeroberfläche sehen Sie in Abbildung 18.

**Abbildung 18:** Benutzeroberfläche Fusion 360™

Quelle: Eigene Darstellung

- ① Die Anwendungsleiste enthält die Funktionen Speichern, Rückgängig, Wiederherstellen und weitere Dateifunktionen.
- ② Im Bereich Profil und Hilfe erhalten Sie Informationen und Hilfe zu Fusion 360™ und können benutzerdefinierte Einstellungen vornehmen.
- ③ Der Arbeitsbereich organisiert die einzelnen Funktionen und Werkzeuge je nach Konstruktionsziel.
- ④ Der Werkzeugkasten beinhaltet alle Werkzeuge, die in dem jeweiligen Arbeitsbereich zur Verfügung stehen.
- ⑤ Der View Cube ermöglicht die Ansicht der Konstruktion aus mehreren Perspektiven.
- ⑥ Im Browser werden alle Objekte (Skizzen, Ebenen, Bauteile, Baugruppen etc.) angezeigt. Diese können hier gezielt angesteuert werden.
- ⑦ Der Ansichtsbereich und das Minimenü erhalten Sie, wenn Sie mit der linken Maustaste klicken.
- ⑧ Die Navigationsleiste enthält Befehle für das Zoomen, Schwenken und Umkreisen der Objekte.

- ⑨ In den Anzeigeeinstellungen lassen sich die Darstellungen von der Benutzeroberfläche oder der eigentlichen Konstruktion im Arbeitsbereich steuern.
- ⑩ In der Zeitachse werden alle Operationen, die Sie an der Konstruktion vornehmen aufgezeichnet, sodass diese später geändert werden können.

Anhand eines Beispielprojektes wird die Funktionsweise von Autodesk® Fusion 360™ in diesem Beitrag etwas genauer erläutert. Sie finden diese Schritt-für-Schritt-Anleitung im Kapitel 7.

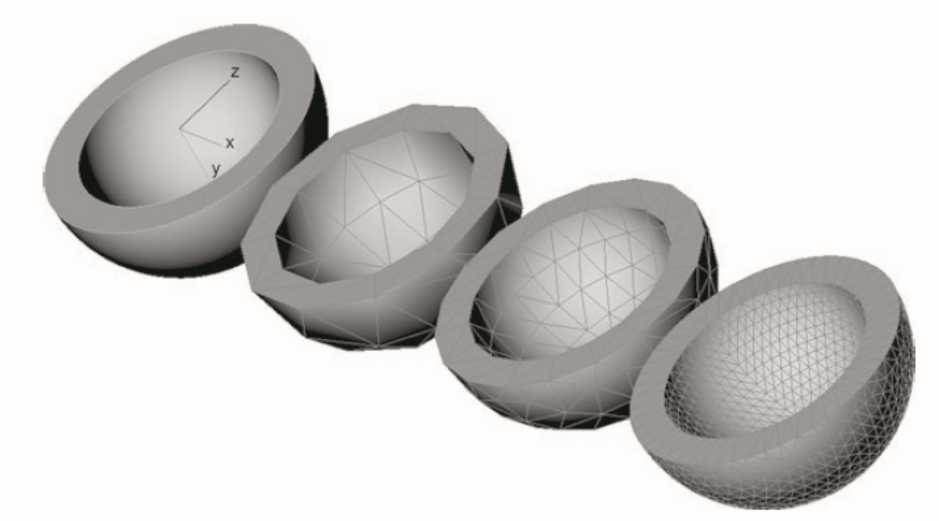
Eine Übersicht über alle Funktionen und ihre konkrete Anwendung lassen sich in der ausführlichen Hilfe von Fusion 360™ nachlesen. Diese finden Sie unter:

*<http://help.autodesk.com/view/NINVFUS/DEU/>*

Damit ein in Fusion 360™ erstelltes 3D-Modell überhaupt gedruckt werden kann, muss es zunächst einmal für den Druck vorbereitet werden. Dazu gibt es sogenannte Slicing-Programme, von denen eines im nächsten Abschnitt erläutert wird. Da diese Programme nicht alle Dateiformate lesen können, wird die Fusion 360™-Datei zunächst in eine STL-Datei überführt. Das STL-Format (STL = Standard Triangulation Language) beschreibt die Oberfläche des erstellten 3D-Modells mit Hilfe von Dreiecken. Gekrümmte Oberflächen können dabei von den Dreiecken nur annähernd beschrieben werden.

Je kleiner die Dreiecke sind, desto größer ist ihre Anzahl pro beschriebener Oberfläche. Je mehr Dreiecke für die Beschreibung der Oberfläche verwendet werden, desto genauer ist die Darstellung, aber desto größer wird die erzeugte Datei (s. Abbildung 19). Die Beschreibung der Modelloberflächen in Form des STL-Datenformats stellt einen Industriestandard dar und nahezu jede Rapid-Prototyping-Maschine kann dieses Format verarbeiten (vgl. Fastermann 2012, S. 8).

**Abbildung 19:** Facettennetze unterschiedlich genauer Darstellung



Quelle: Fastermann, P., 2012, S. 10

#### 4 Slicing-Software Cura

Da das Material beim 3D-Druck schichtweise hinzugefügt wird, muss das 3D-Modell zunächst für den Druck vorbereitet und in Schichten zerlegt werden, die später die einzelnen Drucklagen repräsentieren. Dieser Vorgang wird auch als Slicen bezeichnet (slice [engl.] = Scheibe) und die entsprechenden Programme werden Slicing-Software oder Slicer genannt (vgl. Fastermann 2012, S. 13).

Ein 3D-Drucker kann die Objekte nicht wahllos im dreidimensionalen Raum drucken; in der Slicing-Software muss auch festgelegt werden, wo der 3D-Drucker mit dem Druck beginnen soll (vgl. Rattat 2016, S. 15). Die Slicing-Software unterstützt den Anwender zudem bei der Positionierung der Teile auf der Druckplatte sowie ggf. bei der Skalierung von Bauteilen. Darüber hinaus wird eine Vielzahl von Einstellungen festgelegt, die die Drucktemperatur, Verfahrensgeschwindigkeit oder auch die Schichthöhe beim Drucken und damit die Qualität des ausgedruckten Objektes beeinflussen. Eine eventuell erforderliche Stützstruktur und die aus den Einstellungen resultierende Druckzeit werden hier berechnet (vgl. Gebhardt 2014, S. 75).

Die in dem Slicing-Programm vorgenommenen Einstellungen werden dann in einem Format abgespeichert, das der 3D-Drucker lesen und verarbeiten kann: dem G-Code (siehe Abbildung 20). G-Code ist ursprünglich eine Programmiersprache für CNC-Maschinen, die bereits einige Jahrzehnte alt ist. Da sich einfache CNC-Maschinen kaum von manchen 3D-Druckern unterscheiden, wird der G-Code auch für die Steuerung des 3D-Druckers verwendet. Das G-Code-Programm besteht aus einer Folge von einfachen Anweisungen, die meist mit dem Buchstaben G für „go to“ (gehe zu) beginnen. Diese Anweisungen sagen dem Druckkopf, wohin er sich mit welcher Geschwindigkeit bewegen soll und wieviel Filament an welcher Stelle aufgeschmolzen und über die Düse ausgegeben werden muss (vgl. Horsch 2014, S. 226).

**Abbildung 20: G-Code**

```
;FLAVOR:UltiGCode
;TIME:12014
;MATERIAL:17840
;MATERIAL2:0
;NOZZLE_DIAMETER:0.4
;Generated with Cura_SteamEngine 3.2.1
M82 ;absolute extrusion mode

;LAYER_COUNT:249
;LAYER:0
M107
G0 F3600 X19.859 Y14.976 Z0.3
;TYPE:SKIRT
G1 F1800 X19.976 Y14.859 E0.01986
G1 X20.117 Y14.8 E0.0382
G1 X34.883 Y14.8 E1.81012
G1 X35.024 Y14.859 E1.82846
G1 X35.141 Y14.976 E1.84831
```

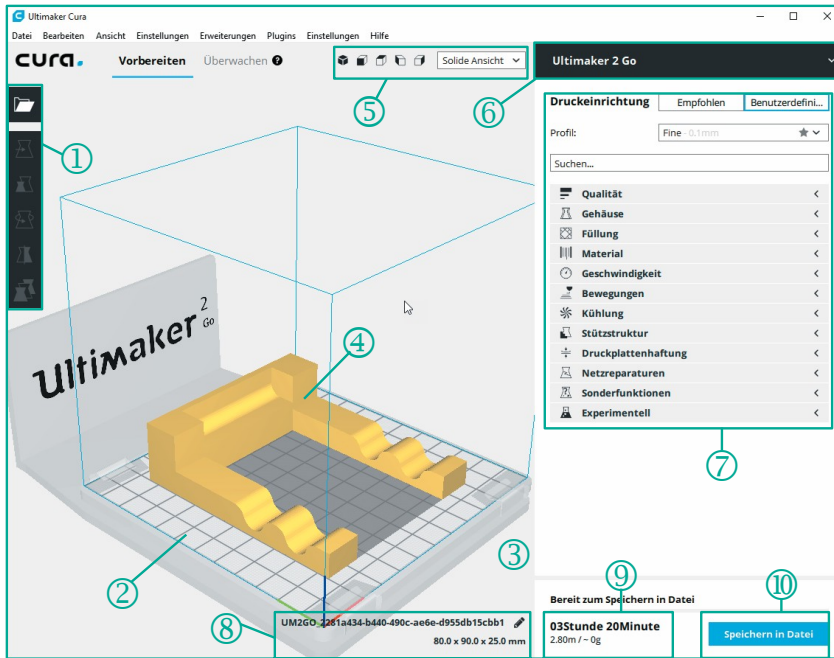
Quelle: Eigene Darstellung

Der G-Code ist allerdings nicht vollständig standardisiert, sodass derselbe G-Code auf unterschiedlichen Druckern zu unterschiedlichen Verhalten führen kann oder erst gar nicht interpretierbar ist, sodass für jeden Drucker und jede vorgenommene Einstellung eine neue G-Code Datei erzeugt werden muss (vgl. Rattat 2016, 16f). Allerdings kann nicht jede Slicing-Software den G-Code für jeden 3D-Drucker erzeugen. Für den Drucker Ultimaker 2 Go eignet sich die Software Cura am besten. Diese Software wird im Folgenden kurz vorgestellt. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung finden Sie im Kapitel 7.

Die Open-Source-Software Cura kann 3D-Modelle im Format STL, OBJ, DAE oder AMF öffnen, bearbeiten und mit einem 3D-Drucker ausdrucken. Sie wurde für den 3D-Drucker Ultimaker entworfen, funktioniert aber auch bei einigen anderen Druckern. Die Benutzeroberfläche von Cura ist in Abbildung 21 dargestellt.



Abbildung 21: Benutzeroberfläche Cura



Quelle: Eigene Darstellung

Die Benutzeroberfläche von Cura ordnet die Funktionen des Programms in verschiedene Bereiche:

- ① 3D-Modell in den Druckraum laden, transformieren und positionieren
- ② Druckraum
- ③ nicht druckbarer Bereich (Position der Halteklemmen)
- ④ zu druckendes 3D-Modell
- ⑤ Ansichtsmodus
- ⑥ Druckerauswahl
- ⑦ Druckeinstellungen (empfohlene Profile und benutzerdefinierte Einstellungen)
- ⑧ Abmessungen des Druckobjektes und Name der zu erzeugenden G-Code-Datei
- ⑨ Druckinformationen wie Druckzeit, benötigtes Material, Gewicht
- ⑩ Erzeugung und Speicherung der G-Code-Datei

## **5 Druckobjekte nachbearbeiten**

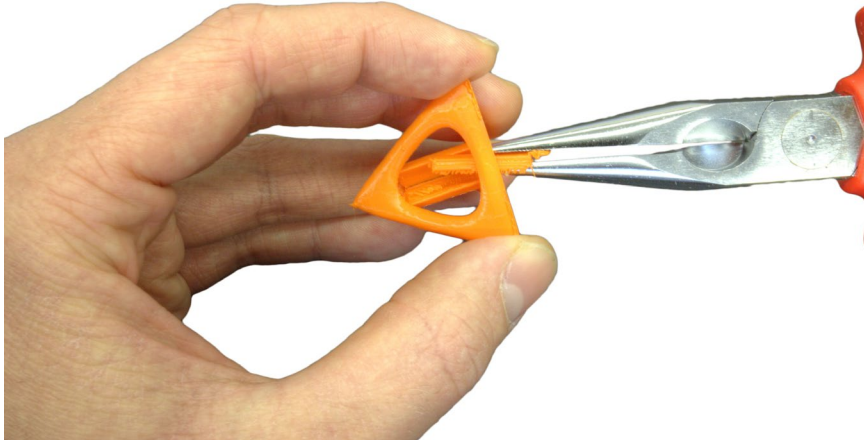
Nach der Fertigstellung eines 3D-Modells durch den Drucker sind je nach Modell noch weitere Bearbeitungsschritte notwendig. Alle gedruckten Objekte müssen zunächst von der Konstruktionsplatte entfernt werden. Bei Modellen, die für den Druck eine Stützstruktur benötigten, muss diese Stützstruktur nach dem Druck entfernt werden. Je nach Belieben kann die Oberflächenqualität der Modelle anschließend noch verbessert oder das Aussehen verändert werden.

### **5.1 Druckobjekt von der Platte lösen**

Die Konstruktionsplatte wurde vor dem Druckbeginn mithilfe des blauen Klebebandes und des Klebestiftes so präpariert, dass die erste Schicht des Druckes gut haften bleibt. Diese Behandlung erschwert allerdings auch das Lösen des fertigen Objektes. Wenn sich das fertige 3D-Modell nicht mit der bloßen Hand von der Konstruktionsplatte abnehmen lässt, nehmen Sie den im FlexLab-Koffer enthaltenen Spachtel zur Hilfe. Führen Sie den Spachtel soweit unter das Druckobjekt, wie es geht und hebeln Sie das Objekt vorsichtig von der Platte. Gehen Sie dabei behutsam vor, andernfalls könnten Teile des Modells abbrechen. Versuchen Sie, das Objekt ggf. von mehreren Seiten von der Platte zu lösen. Es ist nicht schlimm, wenn beim Entfernen des Modells Teile des blauen Klebebandes beschädigt werden. Diese können, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, erneuert werden.

### **5.2 Support von dem Druckobjekt entfernen**

Wurden für den Druck des Objektes zusätzliche Elemente gedruckt, die beispielsweise als Stützen dienen oder für eine bessere Druckplattenhaftung sorgen, müssen diese nun entfernt werden. Dafür kann entweder die in dem FlexLab-Koffer vorhandene Zange oder für feinere Bereiche der Seitenschneider verwendet werden (siehe Abbildung 22). Dazu wird das Supportmaterial einzeln an den Kontaktpunkten zum Modell abgekniffen. Gehen Sie dabei behutsam vor, um Ihr Modell, vor allem in Bereichen mit feinen Details, nicht zu beschädigen.

**Abbildung 22:** Stützstrukturen entfernen

Quelle: Eigene Darstellung

### 5.3 Oberflächen glätten

Nach der Entfernung des Supportmaterials bleibt an dem Modell eine unschöne raue Oberfläche zurück. Je nach Druckgenauigkeit entstehen aber auch durch den Druck selbst, vor allem bei Schrägen oder Rundungen, an der Oberfläche Treppenstufen, die bei der Verwendung stören können. Diese Unregelmäßigkeiten an den Oberflächen können durch Abfeilen oder Abschleifen korrigiert werden. Modellkanten werden am besten mit einer Schlüsselfeile entgratet, bevor die gesamte Oberfläche mit Schleifpapier bearbeitet wird.

Neben einer mechanischen Behandlung der Druckobjekte besteht prinzipiell auch die Möglichkeit einer chemischen Behandlung. So kann die Oberfläche von Objekten, die mit Filament aus ABS gedruckt wurden, im Acetondampf geglättet werden, und Objekte, die mit PLA-Filament gedruckt wurden, mit Tetrahydrofuran Dampf.

## **5.4 Beschichten**

PLA kann mit einigen Klebstoffen geklebt werden. Auch ein farbiges Gestalten durch Bemalen der Modelle mit wasserlöslichen Farben ist möglich. Durch Farben und Lacke wird dem Werkstück eine beliebige Farbe und Oberflächenbeschaffenheit gegeben. Mit der richtigen Vorbereitung lassen sich Werkstücke so auch verchromen oder vergolden.

## **6 Ein beispielhaftes Unterrichtsvorhaben für den 3D-Druck in der Schule**

Dem Einsatz des 3D-Druckes in schulischen Kontexten wird eine Reihe von Vorteilen zugesprochen. So unterstützen dreidimensionale Modelle den Unterricht, wenn technische Funktionsweisen, die Dynamik des Geschehens oder die räumliche Anordnung im Fokus stehen (vgl. Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule des Landes NRW, S. 6). Modelle wecken durch ihre Anschaulichkeit die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler und geben ihnen das Gefühl, praxisnah unterrichtet zu werden (vgl. ebd.). Die Arbeit mit 3D-Druckern und 3D-Modellen im Schulunterricht ist aber nur dann sinnvoll, wenn sich hieraus Lernsituationen ergeben, in denen sich die in den Kernlehrplänen erwarteten Kompetenzen entwickeln lassen. Im Fach Technik weisen die Kernlehrpläne diverse Inhaltsfelder auf, in denen der 3D-Druck ein Thema sein kann (vgl. ebd.). Im Internet sind vor allem für den Technikunterricht der Sekundarstufe I bereits viele ausgearbeitete Unterrichtsvorhaben zu dem Thema zu finden. Zielgruppe der vorliegenden FlexLab-Materialien sind Lehrende und Schulkinder der Sekundarstufe II. Für diese Zielgruppe wird im Folgenden ein beispielhaftes Unterrichtsvorhaben vorgestellt (siehe Abbildung 23). Dieses beispielhafte Unterrichtsvorhaben soll Lehrenden lediglich als Ideengeber dienen. Die Umsetzung bedarf der Anpassung an schulinterne Curricula, in denen die Unterrichtsvorhaben aufeinander abgestimmt sein müssen, sowie der Anpassung an die vorherrschenden Rahmenbedingungen.

**Abbildung 23:** Unterrichtsvorhaben Smartphone-Halterung

Quelle: Eigene Darstellung

## 6.1 Verortung im Kernlehrplan Technik

Der Kernlehrplan Technik für die Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen ist ein kompetenzorientierter Kernlehrplan, der allen an einer Schule Beteiligten Orientierung darüber bietet, welche Kompetenzen zu bestimmten Zeitpunkten erreicht werden sollen. Da Technik ein Mittel zur Lösung von Problemen des menschlichen Lebens und damit wesentlicher Bestandteil menschlichen Denkens und Handelns ist, stellt technische Bildung einen notwendigen Bestandteil der Allgemeinbildung dar. Aufgabe und Ziel des Faches Technik ist, durch den Erwerb übergreifender fachlicher Kompetenzen einen wichtigen Baustein zur Allgemeinbildung zu liefern. Der Technikunterricht vermittelt hierbei Konzepte technischer Innovation und führt die Schülerinnen und Schüler an wichtige aktuelle Entwicklungsfelder neuer Technologien heran. Mit seinen vielfältigen Begegnungen mit technischen Realbedingungen innerhalb und außerhalb der Schule leistet der Technikunterricht zudem einen Beitrag zur Studien- und Berufsorientierung. Mit dem 3D-Druck als Thema bekommen Lernende einen Einblick, wie sich Arbeitsinhalte und Arbeitsprozesse im Rahmen von Industrie 4.0 verändern und sie können eine solch dezentral organisierte Produktion am Beispiel des 3D-Druckes selbst erleben.

In der Einführungsphase soll dabei zunächst für alle Schülerinnen und Schüler eine gemeinsame Basis für das weitere Lernen geschaffen werden, indem ein Grundverständnis des Technikbegriffes sowie die Grundprinzipien technischen Denkens und Handelns vermittelt werden. Das hier beschriebene beispielhafte Unterrichtsvorhaben wird in der Einführungsphase des Faches Technik durchgeführt. Das Inhaltsfeld ist in der Einführungsphase bereits vorgegeben, es handelt sich um das Inhaltsfeld 1: SOZIOTECHNISCHE SYSTEME.

*„Im Zentrum dieses Inhaltsfeldes stehen soziotechnische Systeme. Technische Systeme setzen Energie, Information und Stoff um, wobei deren Hauptfunktion immer auf eine dieser Kategorien bezogen ist. Technische Systeme werden realisiert in Form von Gegenständen, Geräten und Anlagen, die zur Umwandlung, zum Transport oder zur Speicherung dienen. Die Auseinandersetzung mit technischen Systemen in soziotechnischen Zusammenhängen erlaubt den Schülerinnen und Schülern ein vertieftes Verständnis natürlicher, humaner und sozialer Aspekte der zunehmend technisierten Lebenswelt.“ [Quelle: [https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/105/KLP\\_GOSt\\_Technik.pdf](https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/105/KLP_GOSt_Technik.pdf)]*

## 6.2 Umsetzung in Unterrichtsvorhaben

Die Kernlehrplanvorgaben werden in schulinternen Curricula konkretisiert, die dabei die Lernbedingungen an der jeweiligen Schule berücksichtigen. Die einzelnen Unterrichtsvorhaben in schulinternen Curricula werden dabei für jede Phase (Einführungsphase, Qualifikationsphase) so dargestellt, dass sämtliche im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen berücksichtigt werden. Das hier dargestellte beispielhafte, als eines von vielen denkbaren Unterrichtsvorhaben deckt damit nicht alle in der Einführungsphase zu erwartenden Kompetenzen ab.

Die Darstellung des beispielhaften Unterrichtsvorhabens erfolgt, wie in schulinternen Lehrplänen üblich, auf zwei Ebenen: der Übersichts- und der Konkretisierungsebene. In der Übersichtsebene (Abschnitt 6.3) sollen die Lehrenden sich einen schnellen Überblick über die Zuordnung der Unterrichtsvorhaben zu den einzelnen Jahrgangsstufen sowie den im Kernlehrplan genannten Kompetenzen, Inhaltsfeldern und inhaltlichen Schwerpunkten schaffen. Dabei werden in der Kategorie „Kompetenzen“ nur die übergeordneten inhaltsfeldübergreifenden Methoden- und Handlungskompetenzen ausgewiesen, während die inhaltsfeldbezogenen Sach- und Urteilskompetenzen erst auf der Konkretisierungsebene (Abschnitt 6.4) Berücksichtigung finden.

Der ausgewiesene Zeitbedarf versteht sich als grobe Orientierungsgröße, die nach Bedarf über- oder unterschritten werden kann. Um Spielraum für Vertiefungen, besondere Schülerinteressen, aktuelle Themen bzw. die Erfordernisse anderer besonderer Ereignisse (z. B. Praktika, Klassenfahrten o. ä.) zu erhalten, wurden nur ca. 75 Prozent der Bruttounterrichtszeit verplant.



### 6.3 Übersicht eines beispielhaften Unterrichtsvorhabens

**Thema:**

Industrie 4.0 – mit dem 3D-Druck flexibel und schnell fertigen

**Kompetenzen** (hier nur die übergeordneten Methoden und Handlungskompetenzen):

- entnehmen einfachen technischen Systemen Strukturierungsmerkmale und entwickeln einfache modellhafte Vorstellungen zu technischen Sachverhalten (MK1),
- entwickeln Hypothesen zu vorgegebenen Fragestellungen und überprüfen diese mithilfe ausgewählter, geeigneter quantitativer und qualitativer Verfahren, u. a. durch Experimente und Simulationen (MK7),
- entwickeln Kriterien und Indikatoren zur Beschreibung, Erklärung und Überprüfung einfacher technischer Sachverhalte (MK8),
- erstellen, auch unter Nutzung elektronischer Datenverarbeitungssysteme, Skizzen, Diagramme und Schaltpläne, um einfache technische Zusammenhänge und Probleme graphisch darzustellen (MK10),
- bedienen unter Beachtung der Sicherheitsbestimmungen einfache technische Geräte (HK1),
- konstruieren und fertigen ein einfaches technisches System (HK3).

**Inhaltsfeld:**

IF 1 (Soziotechnische Systeme)

**Inhaltliche Schwerpunkte:**

- Strukturen und Funktionen soziotechnischer Systeme
- Planung, Entwicklung und Fertigung
- Distribution, Betrieb und Nutzung

**Zeitbedarf:**

12 Std.

## 6.4 Konkretisierung eines beispielhaften Unterrichtsvorhabens

**Thema:**

Industrie 4.0 – mit dem 3D-Druck flexibel und schnell fertigen

**Übergeordnete Kompetenzen:****Sachkompetenz:**

- beschreiben Elemente und Strukturen einfacher techn. Systeme (SK2),
- erläutern Wirkungszusammenhänge in einfachen technischen Prozessen (SK3),
- ordnen einfache technische Sachverhalte in übergreifende Zusammenhänge ein (SK4).

**Methodenkompetenz:**

- entnehmen einfachen technischen Systemen Strukturierungsmerkmale und entwickeln einfache modellhafte Vorstellungen zu technischen Sachverhalten (MK1),
- entwickeln Hypothesen zu vorgegebenen Fragestellungen und überprüfen diese mithilfe ausgewählter, geeigneter quantitativer und qualitativer Verfahren, u. a. durch Experimente und Simulationen (MK7),
- entwickeln Kriterien und Indikatoren zur Beschreibung, Erklärung und Überprüfung einfacher technischer Sachverhalte (MK8),
- erstellen, auch unter Nutzung elektronischer Datenverarbeitungssysteme, Skizzen, Diagramme und Schaltpläne, um einfache technische Zusammenhänge und Probleme graphisch darzustellen (MK10),

**Urteilskompetenz:**

- beurteilen einfache technische Sachverhalte und Systeme vor dem Hintergrund relevanter Kriterien (UK1),
- bewerten einfache technische Verfahren im Hinblick auf ihre Zielerreichung (UK2),
- erörtern die Chancen und Risiken einfacher technischer Systeme unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Aspekte (UK3).

**Handlungskompetenz:**

- bedienen unter Beachtung der Sicherheitsbestimmungen einfache technische Geräte (HK1),
- konstruieren und fertigen ein einfaches technisches System (HK3).

**Inhaltsfeld:**

IF 1 (Soziotechnische Systeme)

**Inhaltliche Schwerpunkte:**

- Strukturen und Funktionen soziotechnischer Systeme
- Planung, Entwicklung und Fertigung
- Distribution, Betrieb und Nutzung

**Zeitbedarf:** 12 Std.

**Tabelle 1: Unterrichtsvorhaben**

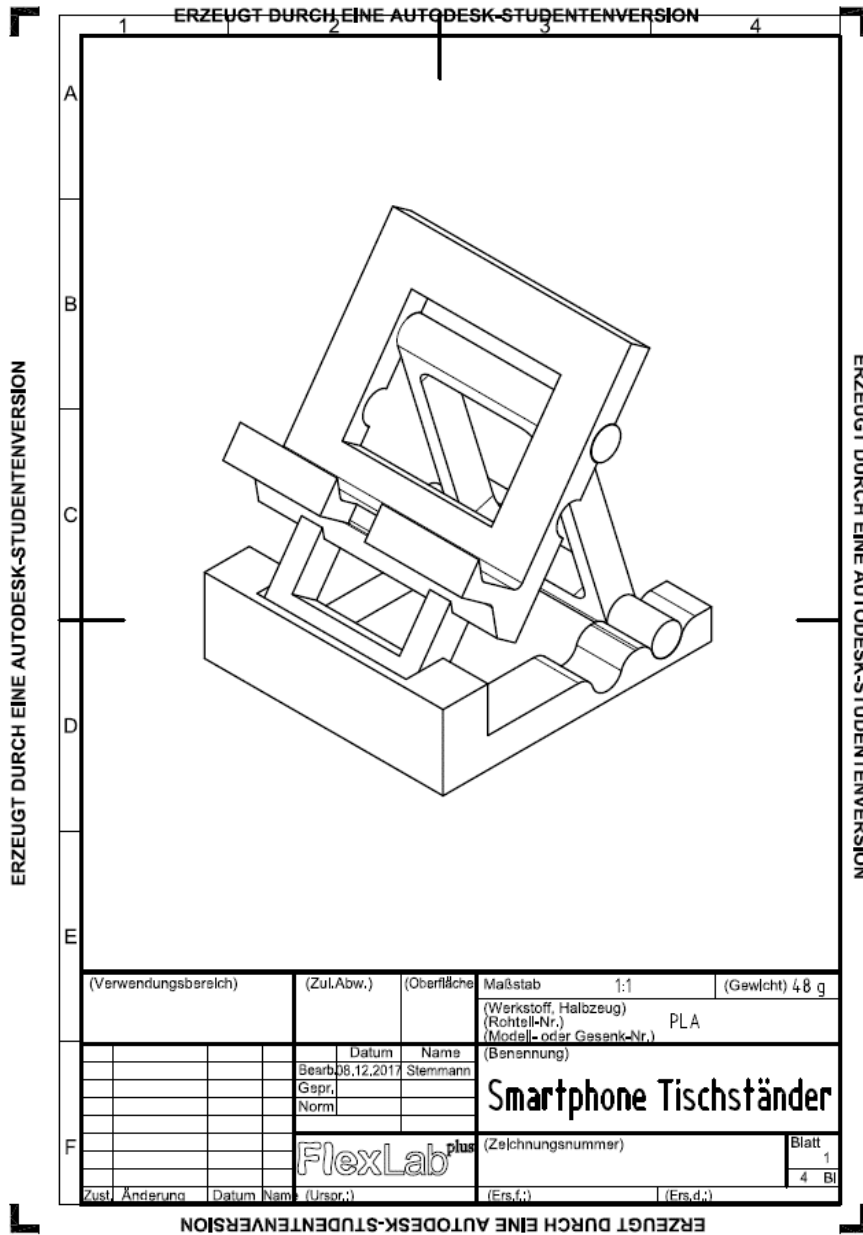
Unterrichtssequenzen	Zu entwickelnde Kompetenzen	Vorhabensbezogene Absprachen/ Vereinbarungen
<p><i>Industrie 4.0</i></p> <p><i>Additive Fertigungsverfahren</i></p>	<p><b>Konkretisierte UK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beurteilen die Wechselwirkungen zwischen technischen Systemen und ihren Systemumgebungen auch unter soziotechnischen Aspekten</li> </ul>	<p>Grundlegende Begriffe werden erarbeitet. Vor- und Nachteile additiver Fertigungsverfahren werden diskutiert und Anwendungsmöglichkeiten betrachtet.</p> <p><b>Materialien:</b> Handbuch FlexLab und die verwendete Literatur</p>
<p><i>Modellierung eines 3D-Objektes</i></p> <p><i>Skizzieren</i></p> <p><i>Extrudieren</i></p> <p><i>Bauteile optimieren</i></p>	<p><b>Konkretisierte SK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Phasen der Entstehung eines technischen Produkts,</li> <li>• analysieren technische Aufgabenstellungen und Lösungen unter den Aspekten ihrer Zielsetzung, Zweckbestimmung, Funktionalität und Übertragbarkeit</li> </ul> <p><b>MK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erstellen, auch unter Nutzung elektronischer Datenverarbeitungssysteme, Skizzen, Diagramme und Schaltpläne, um einfache technische Zusammenhänge und Probleme graphisch darzustellen (MK10)</li> </ul>	<p>Für den 3D-Druck sollen die SUS zunächst mit der 3D-Modellierung mithilfe von 3D-Software vertraut gemacht werden. Sie erstellen nach Anleitung eine 2D-Skizze, extrudieren diese und nehmen Anpassungen an dem Volumenkörper vor.</p> <p><b>Materialien:</b> Schritt-für-Schritt-Anleitungen aus dem Handbuch FlexLab, Technische Zeichnungen, Computer mit installierter 3D-Software</p>
<p><i>Slicen</i></p> <p><i>G-Code – die Maschinsprache</i></p> <p><i>Druckparameter ändern</i></p>	<p><b>SK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern Wirkungszusammenhänge in einfachen technischen Prozessen (SK3)</li> </ul> <p><b>MK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erheben angeleitete Daten durch Beobachtung, Erkundung, Simulation und den Einsatz von Messverfahren (MK2)</li> </ul>	<p>Die erstellten 3D-Modelle werden mit einem Slicing-Programm für den 3D-Druck vorbereitet. Dabei wird den SUS der Einfluss der Druckparameter auf den Druckprozess und das Druckergebnis deutlich. Die SUS verstehen, wie der Druckkopf Anweisungen mithilfe des G-Codes verarbeitet.</p> <p><b>Materialien:</b> Schritt-für-Schritt-Anleitungen aus dem Handbuch FlexLab, Computer mit installierter Slicing-Software</p>
<p><i>Der 3D-Drucker als technisches System</i></p> <p><i>Technische Komponenten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Materialzuführung</i></li> <li>• <i>Druckkopf</i></li> <li>• <i>Konstruktionsplatte</i></li> <li>• <i>Schrittmotor</i></li> </ul>	<p><b>Konkretisierte SK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• benennen Systemgrenzen sowie Ein- und Ausgangsgrößen eines technischen Systems,</li> <li>• beschreiben Aufbau und Struktur eines technischen Systems aus Subsystemen und Systemelementen</li> </ul> <p><b>HK:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bedienen unter Beachtung der Sicherheitsbestimmungen einfache technische Geräte (HK1)</li> </ul>	<p>Die SUS beschreiben die einzelnen Komponenten des 3D-Druckers und ihre Funktionen in dem Gesamtsystem. Die von den SUS modellierten 3D-Objekte werden mit einem 3D-Drucker ausgedruckt.</p> <p><b>Materialien:</b> 3D-Drucker, Bedienungsanleitung 3D-Drucker, Handbuch FlexLab</p>

Quelle: Eigene Darstellung

## **7 Beispiel CAD: neigungsverstellbarer Tischständer für Smartphones**

Im Folgenden erhalten Sie eine Schritt-für-Schritt-Anleitung, um einen eigenen Tischständer für ein Smartphone zu drucken (s. Abbildung 23 und Abbildung 24). Dieser Ständer besteht aus insgesamt drei Teilen, die einzeln ausgedruckt und anschließend zusammengesetzt werden. Der erste Schritt ist das Erstellen der 3D-Modelle mit einer speziellen 3D-Software. Hiervon gibt es viele kostenfreie und kostenpflichtige Programme, die sich hinsichtlich ihrer Möglichkeiten, Benutzerfreundlichkeit und Kompatibilität zu anderen Programmen unterscheiden. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf die Software Autodesk® Fusion 360™. Die Beschreibung des Erstellungsprozesses erfolgt nun separat für jedes Bauteil.

**Abbildung 24: Gesamtansicht – Smartphone-Tischständer**

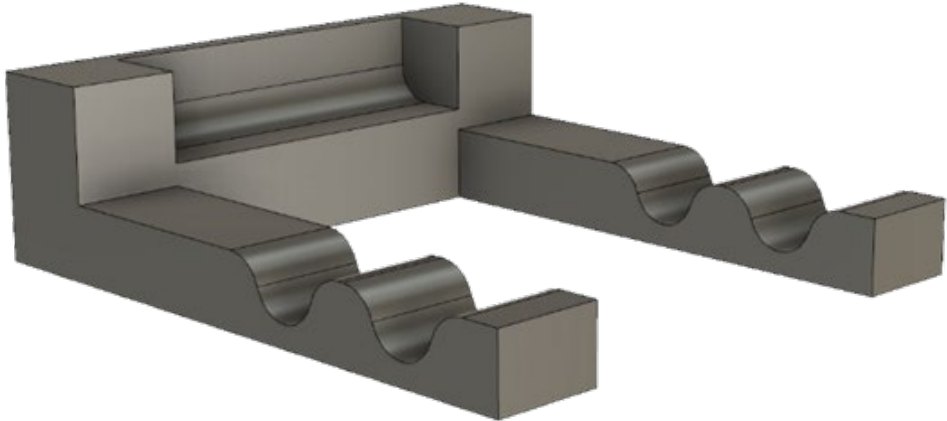


Quelle: Eigene Darstellung

## 7.1 Modellierung der Bodenplatte

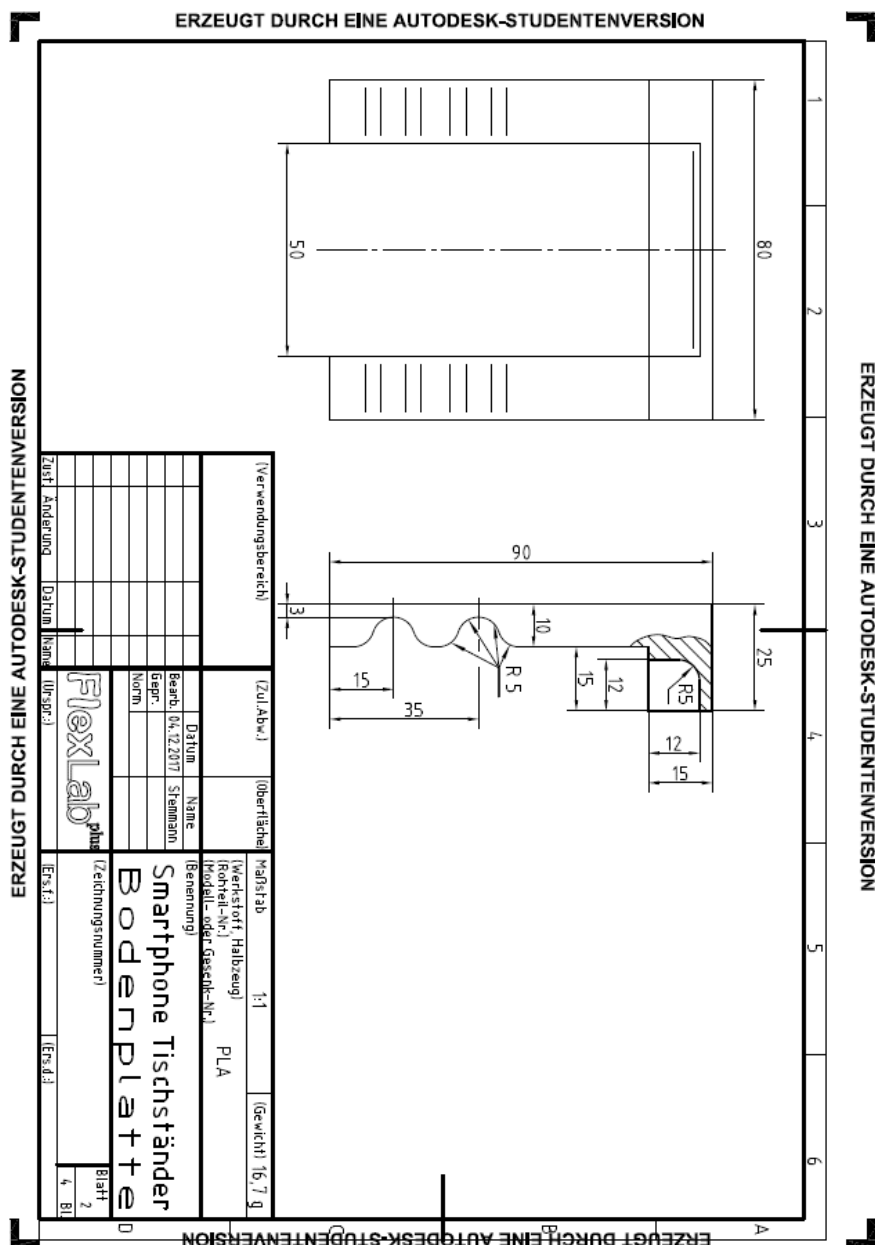
In Abbildung 25 und Abbildung 26 sind das CAD-Modell und eine technische Zeichnung der Bodenplatte dargestellt.

### Abbildung 25: CAD-Modell – Bodenplatte



Quelle: Eigene Darstellung

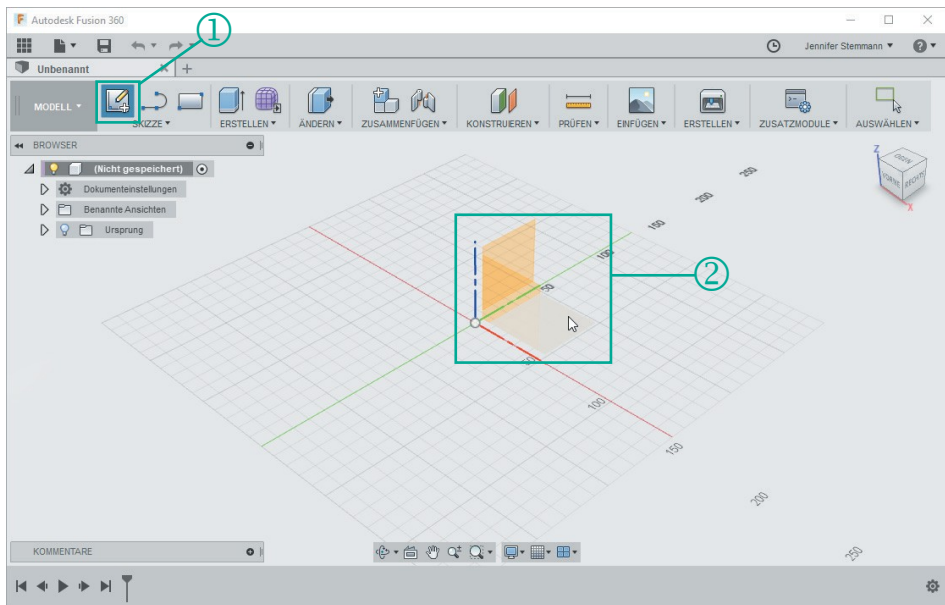
Abbildung 26: Technische Zeichnung – Bodenplatte



Quelle: Eigene Darstellung

Eine 2D-Skizze ist für fast alle 3D-Modellierungsschritte die erste Basis. Um eine Skizze erstellen zu können, wird in dem „Werkzeugkasten Skizze“ der Befehl *Skizze erstellen* ① angeklickt. Automatisch werden im Zeichnungsbereich die drei Ursprungseben sichtbar ② (siehe Abbildung 27).

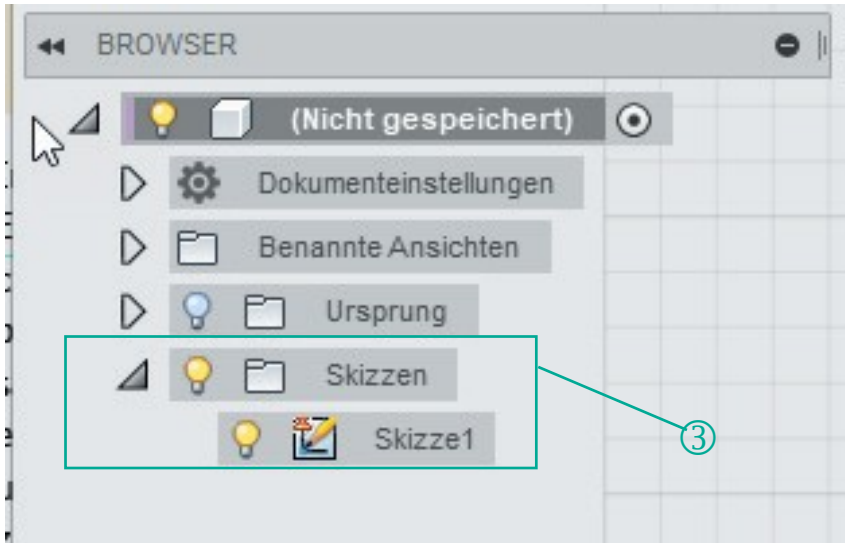
**Abbildung 27: Ursprungsebenen**



Quelle: Eigene Darstellung

Klicken Sie auf die untere (x-y-)Ebene, die von einer roten und einer grünen Achse aufgezogen wird. Sie gelangen in den Skizzenmodus, in dem der Zeichenbereich entsprechend angezeigt wird. Fusion 360™ hat außerdem im BROWSER einen neuen Ordner mit dem Namen „Skizzen“ ③ angelegt (siehe Abbildung 28).

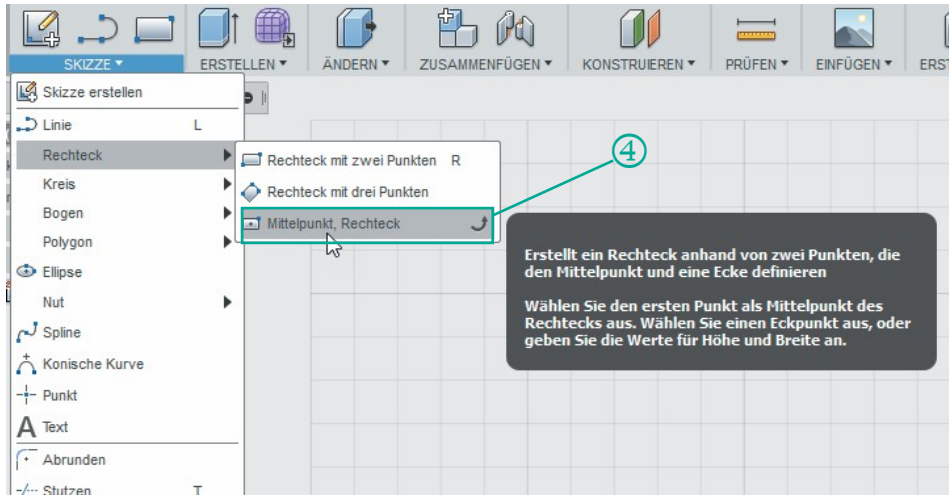


**Abbildung 28:** Skizzenauswahl

Quelle: Eigene Darstellung

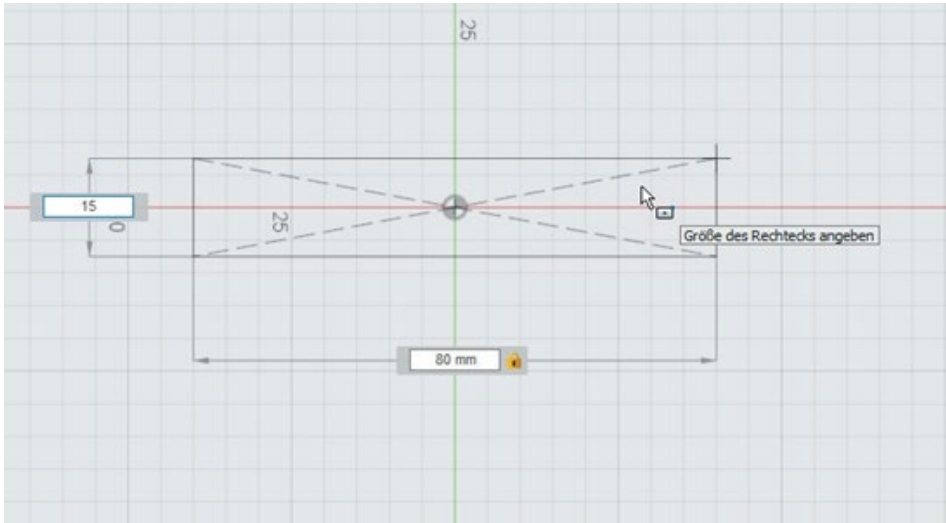
Um nun eine Skizze auf der gewählten Ebene zu erstellen, können aus dem „Werkzeugkasten Skizze“ die entsprechenden Skizzenelemente ausgewählt werden.

Für die Erstellung der Bodenplatte beginnen Sie mit dem Menü „Skizze“ *Rechteck erstellen* und dann die Option *Mittelpunkt, Rechteck* ④ (siehe Abbildung 29).

**Abbildung 29: Mittelpunkt Rechteck (Skizze)**

Quelle: Eigene Darstellung

Als Mittelpunkt des Rechteckes wählen Sie den Ursprung des Koordinatensystems (siehe Abbildung 30). Nach Anklicken des Ursprungs lässt sich ein Rechteck durch die Mausbewegung aufziehen. Um die Rechtecksskizze mit genauen Maßen zu versehen, werden diese über die Tastatur eingegeben, während die Skizze noch in Bearbeitung ist. Zwischen den Maßen für die beiden Rechteckseiten kann mit der Tabulatortaste  $\text{↵}$  gewechselt werden.

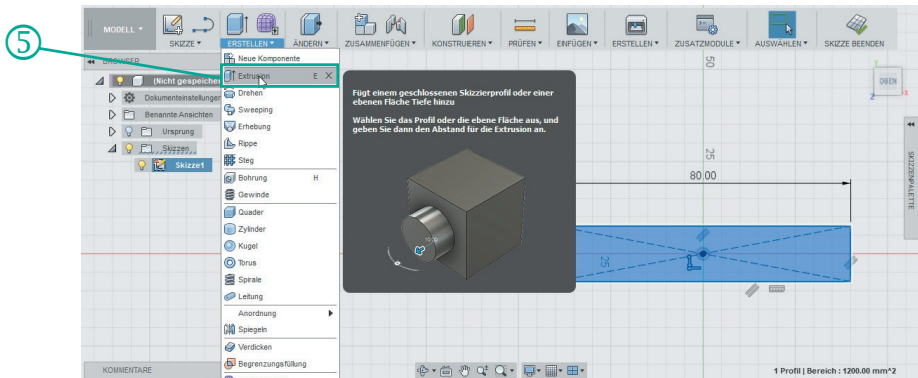
**Abbildung 30: Rechtecke zeichnen**

Quelle: Eigene Darstellung

Die Maße für das Rechteck betragen 15 mm und 80 mm. Die Eingabe wird über die Entertaste bestätigt. Maße können auch im Nachhinein durch einen Doppelklick geändert werden.

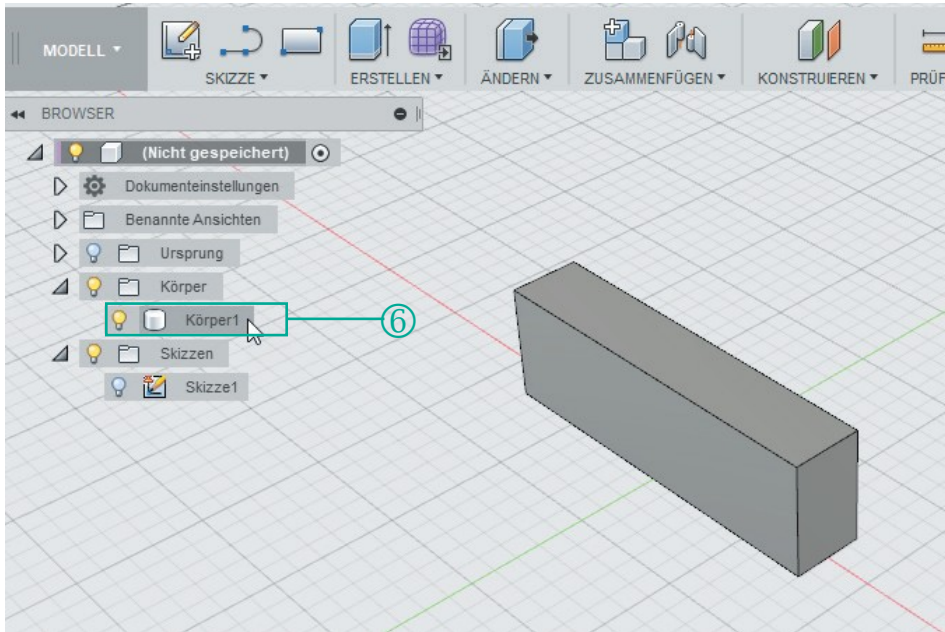
Im nächsten Schritt wird diese 2D-Skizze in einen 3D-Körper umgewandelt. Hierzu wird die Rechteckskizze durch Klicken angewählt (sie ist dann blau eingefärbt) und aus dem „Werkzeugkasten Erstellen“, die Option *Extrusion* gewählt ⑤ (siehe Abbildung 31).

## Abbildung 31: 3D-Körpererstellung



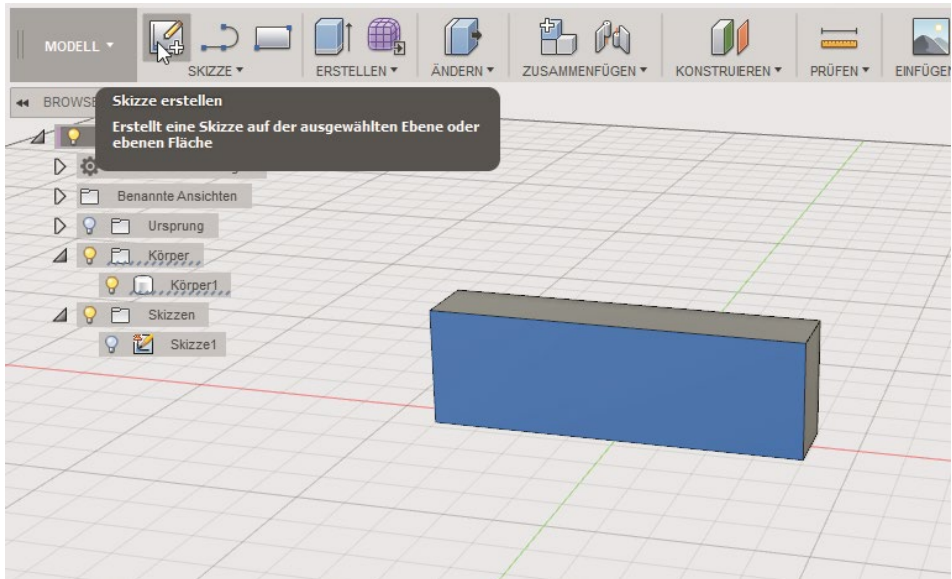
Quelle: Eigene Darstellung

Als Extrusionsabstand wird hier 25 mm für die Höhe des rechteckigen Körpers angegeben. Nach Bestätigung der Eingabe durch die Entertaste hat Fusion 360™ in dem BROWSER einen neuen Ordner mit den Namen „Körper“ angelegt, unter dem der neue Körper als „Körper 1“ aufgelistet ist ⑥ (siehe Abbildung 32).

**Abbildung 32: 3D-Körper**

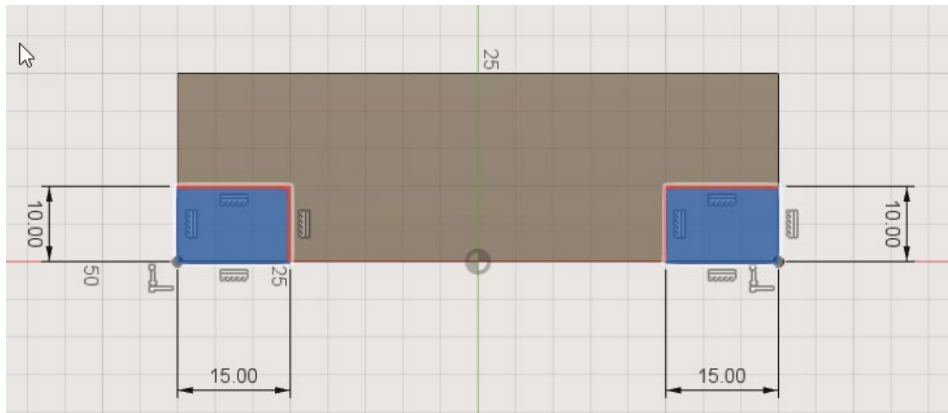
Quelle: Eigene Darstellung

Im nächsten Schritt wird eine neue Skizze auf der Oberfläche des bestehenden Volumenkörpers erstellt und diese dann wiederum durch *Extrusion* in einen Volumenkörper überführt. Zunächst wird die vordere 15 mm hohe und 80 mm breite Rechteckfläche durch Klicken angewählt und im „Werkzeugkasten Skizze“ der Befehl *Skizze erstellen* ausgeführt (siehe Abbildung 33).

**Abbildung 33: Neue Skizze auf Körper**

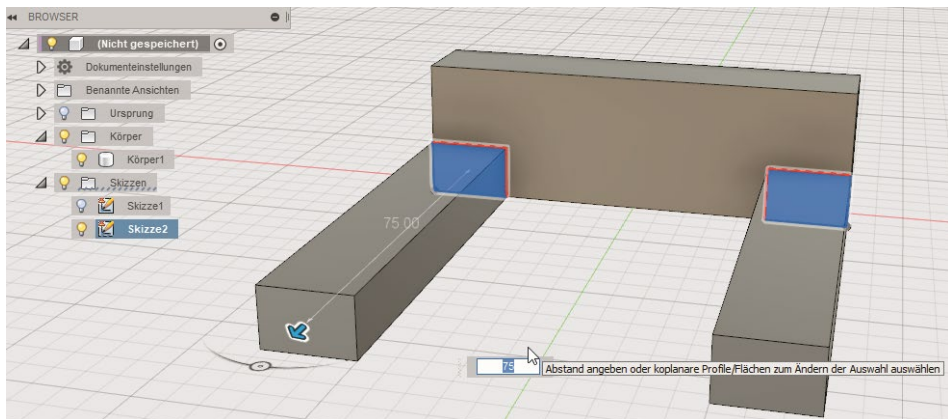
Quelle: Eigene Darstellung

Fusion 360™ dreht den Volumenkörper nun so, dass die gewählte Fläche zu sehen ist. Mit dem Skizzenwerkzeug *Rechteck mit zwei Punkten* werden zwei Rechtecke mit der Höhe 10 mm und der Breite 15 mm erstellt (siehe Abbildung 34). Die Erstellung des ersten Rechteckes beginnt genau in der linken unteren Ecke des Volumenkörpers und die Erstellung des zweiten Rechteckes in der rechten unteren Ecke des Volumenkörpers. Wenn die Skizze erstellt wurde, lassen sich die neu entstandenen Flächen einzeln auswählen. Mehrere Flächen lassen sich gleichzeitig auswählen, indem Sie beim Auswählen der Flächen die Strg-Taste drücken.

**Abbildung 34: Neue Rechteckskizze**

Quelle: Eigene Darstellung

Es werden beide neu erstellten Skizzenelemente ausgewählt und der Befehl *Extrusion* ausgeführt. Als Maß für den Abstand soll hier 75 mm eingegeben werden (siehe Abbildung 35).

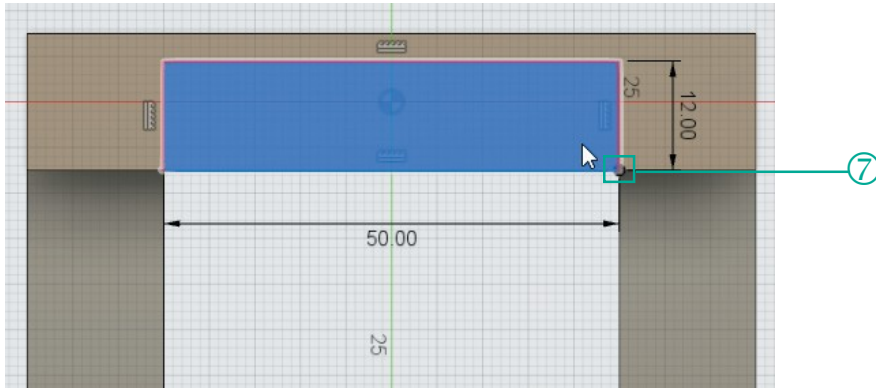
**Abbildung 35: Extrusionsbefehl (positiv)**

Quelle: Eigene Darstellung

Der fertige Grundkörper der Bodenplatte wird im Weiteren nun angepasst. Als Erstes wird die Aussparung zur Aufnahme der Trägerplatte erstellt. Wählen Sie die Oberseite des zuerst gezeichneten Rechteckes aus und führen Sie den Befehl *Skizze erstellen* aus.

Waagrecht mittig wird ein *Rechteck mit zwei Punkten* von der unteren Kante und dem Punkt ⑦ ausgehend gezeichnet (siehe Abbildung 36). Die Maße des Rechteckes betragen für die Höhe 12 mm und für die Breite 50 mm.

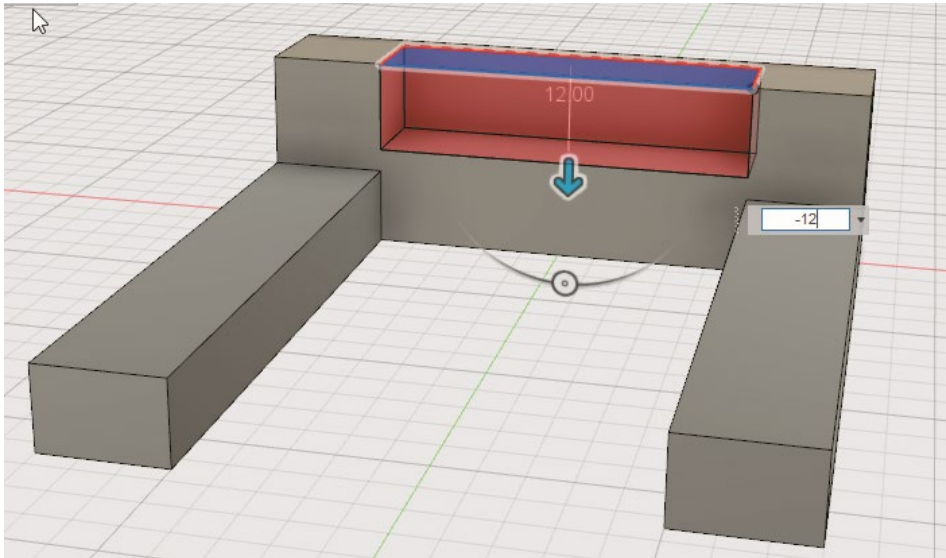
### Abbildung 36: Weitere Skizze



Quelle: Eigene Darstellung

Diese Fläche wird nun extrudiert, allerdings nicht in positive Richtung, sondern in negative Richtung, so dass von dem vorhandenen Volumenkörper Material entfernt wird (siehe Abbildung 37). Hierzu muss dem Extrusionsabstand von 12 mm ein negatives Vorzeichen zugefügt werden.

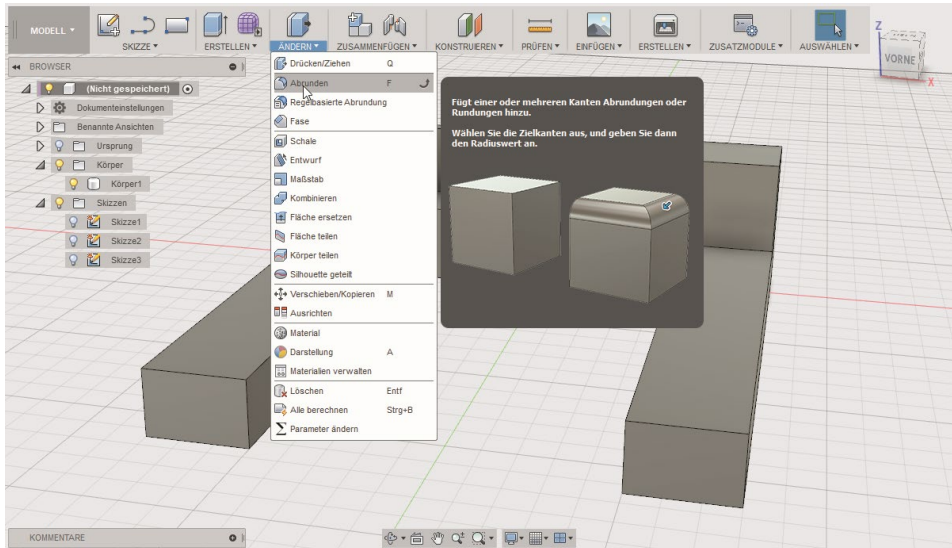


**Abbildung 37: Extrusionsbefehl (negativ)**


Quelle: Eigene Darstellung

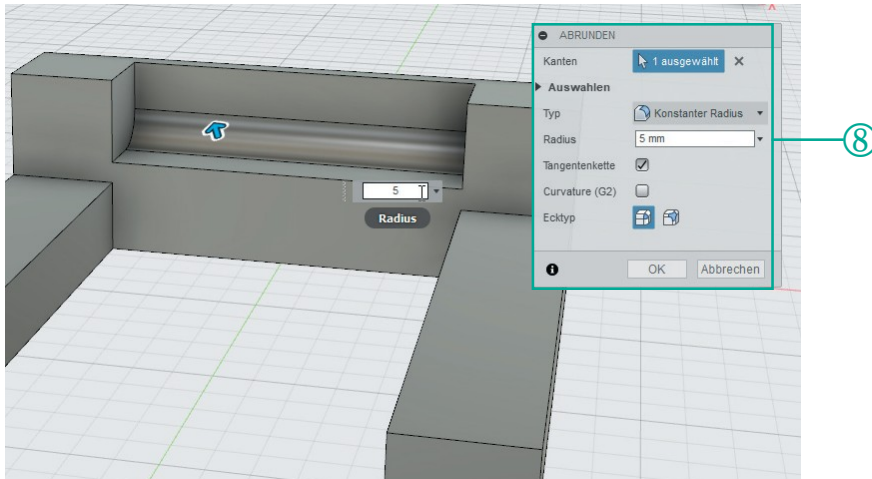
Damit sich die Trägerplatte in der Bodenplatte bewegen kann, wird die breite Kante im hinteren Bereich der Aussparung mit einer Rundung versehen.

Die anschließende Bearbeitung von Volumenkörpern kann mit den Befehlen der „Werkzeugpalette Ändern“ erfolgen. In dem vorliegenden Beispiel wählen Sie die Option *Abrunden* aus (siehe Abbildung 38).

**Abbildung 38: Rundungsbehl**

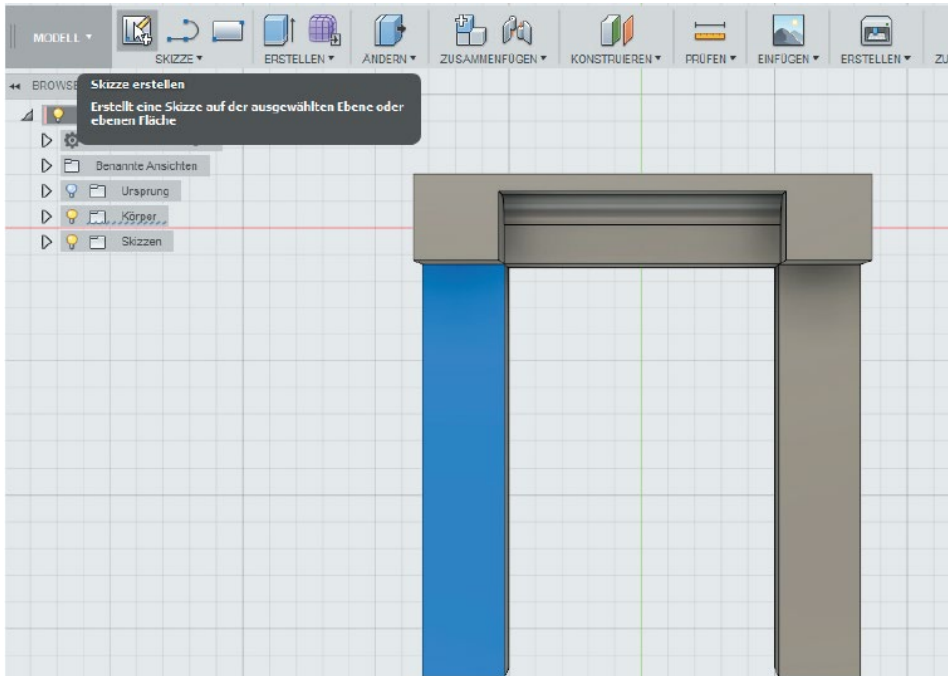
Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst wird die abzurundende Kante ausgewählt und dann der Radius von 5 mm angegeben. Dieser lässt sich zusätzlich in dem sich öffnenden Fenster  eintragen, in dem außerdem noch weitere Parameter verändert werden können, die hier aber nicht relevant sind (siehe Abbildung 39).

**Abbildung 39: Eingabe Abrundung**

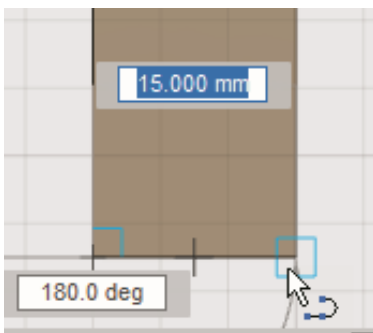
Quelle: Eigene Darstellung

Zuletzt werden die rundlichen Aussparungen für die Aufnahme der Stütze konstruiert. Hierzu muss wieder eine neue Skizze erstellt werden. Als Fläche für die Skizze wählen Sie die Draufsicht einer der beiden Füße. Jetzt benötigen Sie ein paar Hilfslinien, um die Aussparungen passend auf dem Fuß positionieren zu können (siehe Abbildung 40).

**Abbildung 40:** Skizze rundliche Aussparung

Quelle: Eigene Darstellung

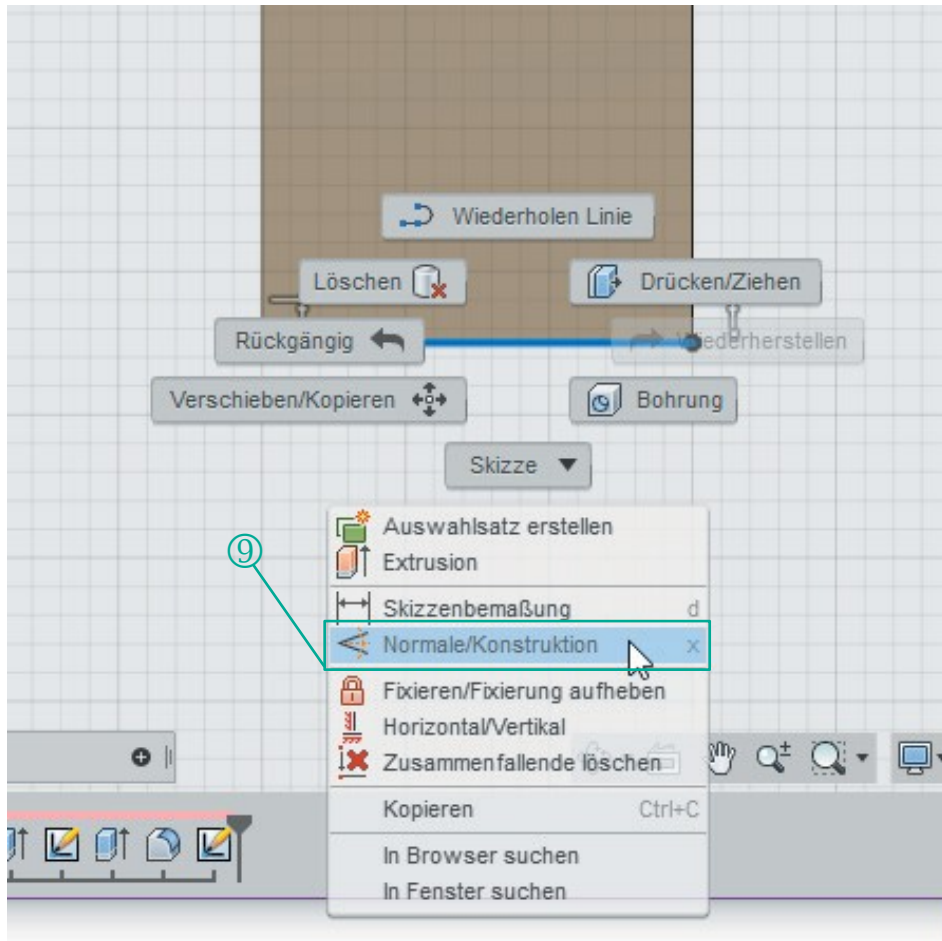
Wählen Sie unter dem Menüpunkt „Skizze“ den Befehl *Linie* und ziehen Sie eine waagerechte Linie auf die untere Kante des Fußes. Der Befehl wird durch Drücken der Enter-Taste abgeschlossen (siehe Abbildung 41).

**Abbildung 41:** Skizzenmaße rundliche Aussparungen

Quelle: Eigene Darstellung

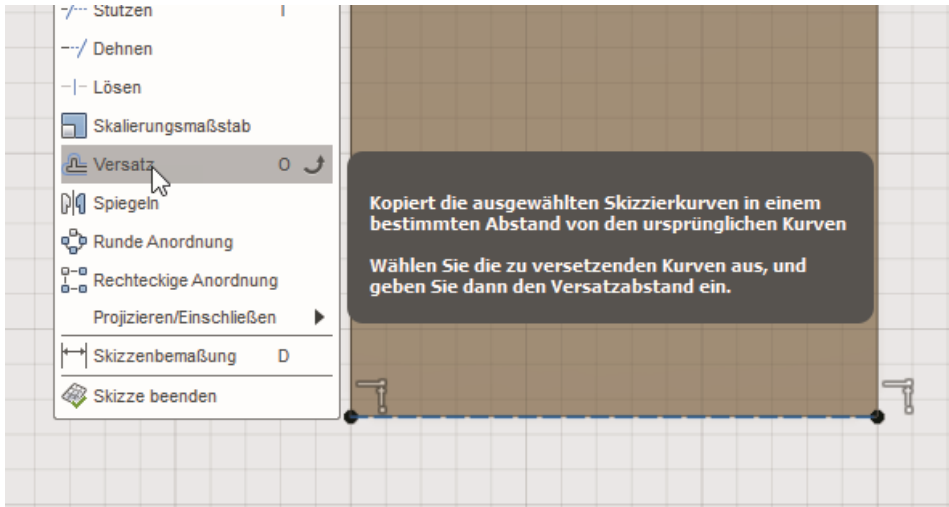
Die gezeichnete Linie wird in eine Konstruktionslinie umgewandelt, indem diese mit der linken Maustaste angeklickt und über die rechte Maustaste in dem sich öffnenden Kontextmenü die Option *Normale/Konstruktion* ausgewählt wird ⑨ (siehe Abbildung 42).

**Abbildung 42:** Konstruktionslinie

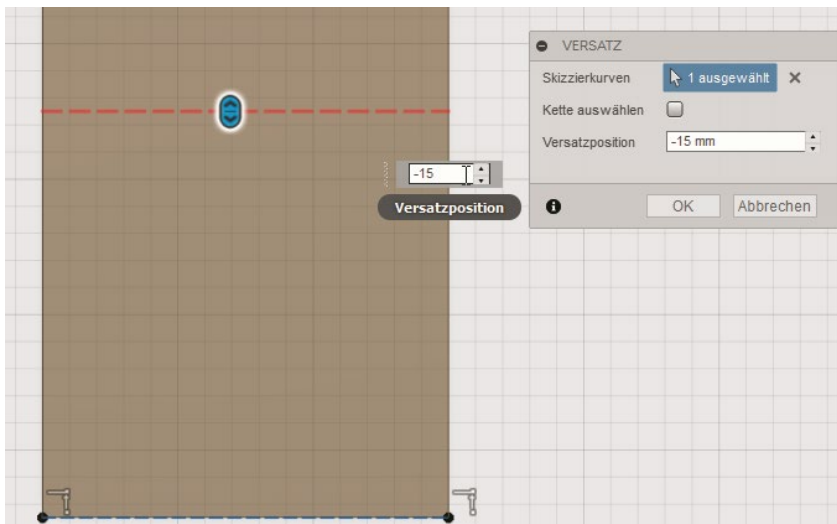


Quelle: Eigene Darstellung

Die vorher durchgezogene Linie wandelt sich in eine gestrichelte Linie um. Im nächsten Schritt wird eine Kopie dieser Linie in einem Abstand von 15 mm oberhalb dieser erstellt. Hierzu wählen Sie aus dem „Werkzeugkasten Skizze“ den Befehl *Versatz* aus (siehe Abbildung 43).

**Abbildung 43:** Versatzbefehl

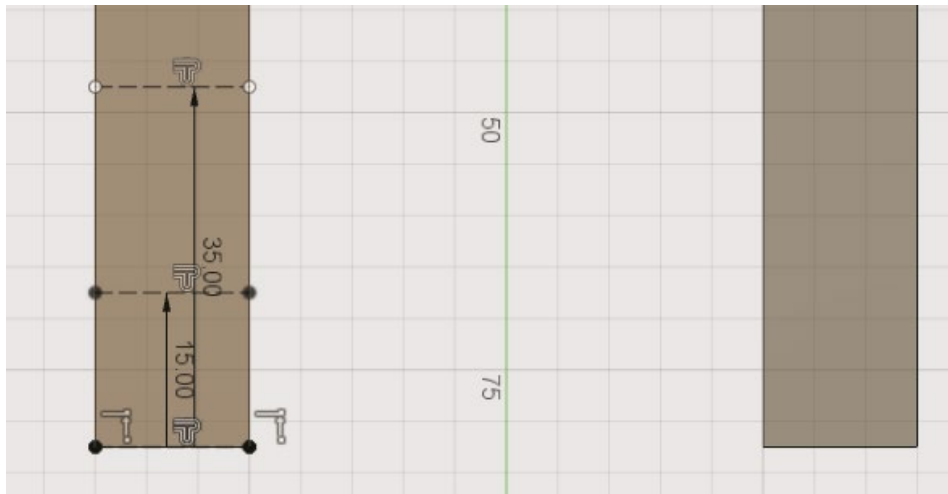
Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 44:** Versatzbefehl (Eingabe)

Quelle: Eigene Darstellung

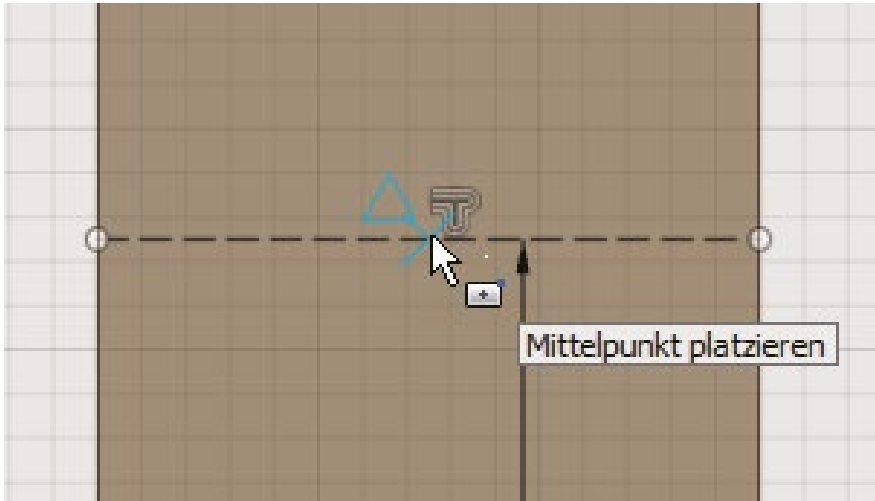
Als Versatzposition wird das Maß von  $-15$  mm angegeben, wobei hier auf das negative Vorzeichen zu achten ist, da der Versatz entgegen der positiven Y-Richtung vorgenommen wird (siehe Abbildung 44). Dieselbe erste Linie wird anschließend noch einmal um 35 mm nach oben versetzt (siehe Abbildung 45).

**Abbildung 45: Versatzbefehl (Maße)**



Quelle: Eigene Darstellung

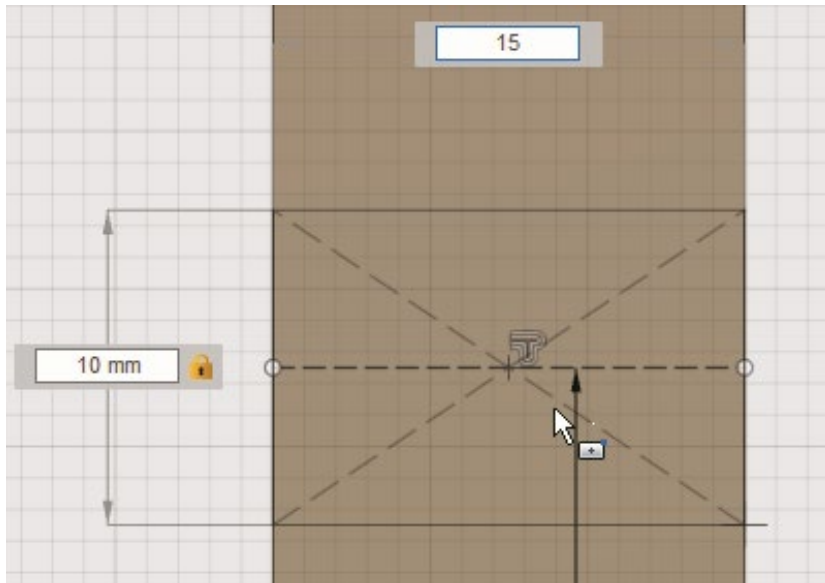
Diese beiden versetzten Hilfslinien werden nun verwendet, um die Mitte der nun zu zeichnenden Rechtecke zu finden. Die ursprüngliche Linie auf der unteren Kante kann gelöscht werden (Anklicken und Drücken der Entf-Taste). Wählen Sie unter dem „Werkzeugkasten Skizze“ den Befehl *Mittelpunkt, Rechteck*. Um den Mittelpunkt des Rechteckes auf der Mitte der Hilfslinie zu setzen, fahren Sie mit dem Mauszeiger über die Linie, bis ein blaues Kreuz und ein blaues Dreieck erscheint (siehe Abbildung 46).

**Abbildung 46: Mittelpunktswahl**

Quelle: Eigene Darstellung

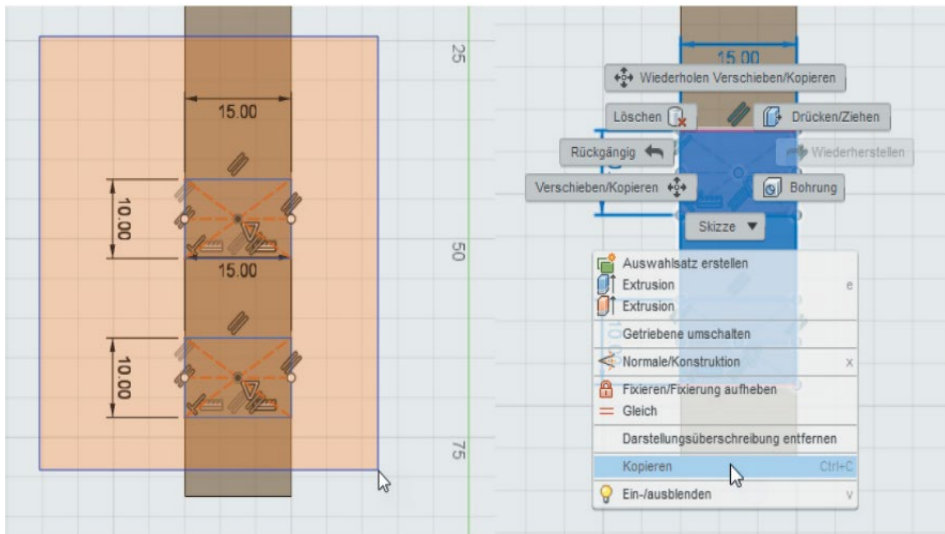
Dort setzen Sie den ersten Mausklick. Als Maße geben Sie dann 10 mm für die Höhe und 15 mm für die Breite an. Ein weiteres Rechteck skizzieren Sie anschließend auf der zweiten versetzten Hilfslinie (siehe Abbildung 47).



**Abbildung 47:** Skizze Rechteck

Quelle: Eigene Darstellung

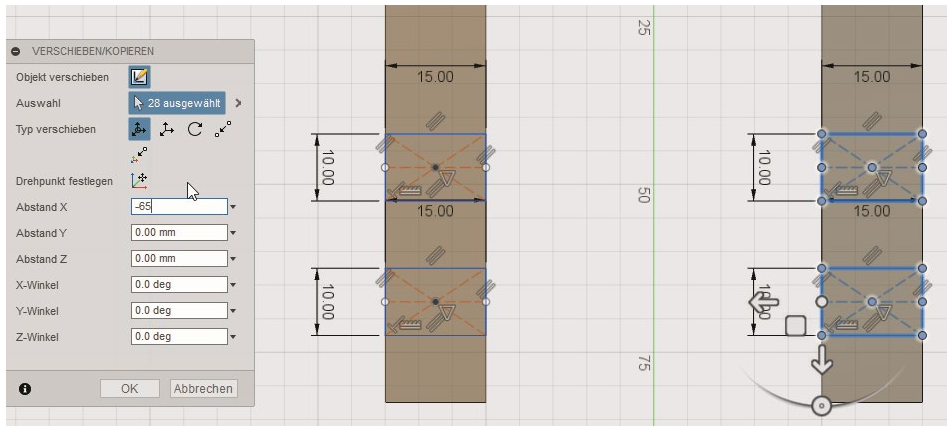
Diese beiden Rechtecke werden im nächsten Schritt auf den rechten Fuß der Bodenplatte kopiert. Hierzu werden die Rechtecke mit einem von oben links nach unten rechts aufgezogenen Auswahlfenster markiert. Im Kontextmenü wird der Befehl *Kopieren* ausgewählt (siehe Abbildung 48). Durch das Klicken außerhalb des markierten Bereiches wird die Auswahl aufgehoben.

**Abbildung 48:** Skizzenauswahl

Quelle: Eigene Darstellung

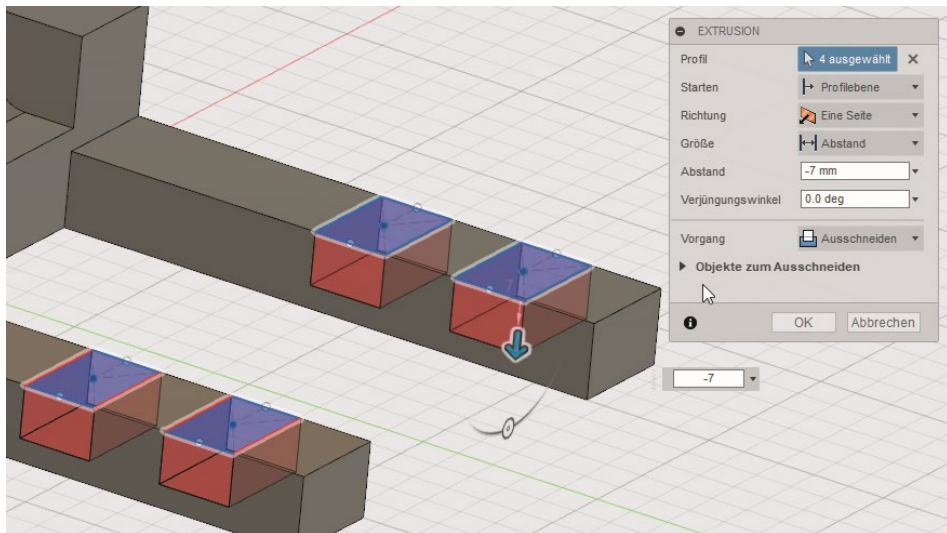
Über das Kontextmenü (rechte Maustaste) wählen Sie anschließend den Befehl *Einfügen* aus. Es öffnet sich ein Fenster, in dem nun die Position der kopierten Elemente genau angeben werden kann. In diesem Fall soll der X-Abstand  $-65$  mm betragen (siehe Abbildung 49). Bestätigen der Eingabe durch Drücken des *OK*-Buttons beendet den Befehl. Die gezeichneten Rechtecksskizzen werden nun in negative Richtung extrudiert. Dazu werden mit gedrückter *Strg*-Taste alle Rechtecke markiert und der Befehl *Extrusion* gewählt. Als Extrusionstiefe wird  $-7$  mm angegeben (siehe Abbildung 50).

**Abbildung 49: Skizze verschieben, kopieren, spiegeln**



Quelle: Eigene Darstellung

**Abbildung 50: Extrusionsbefehl**

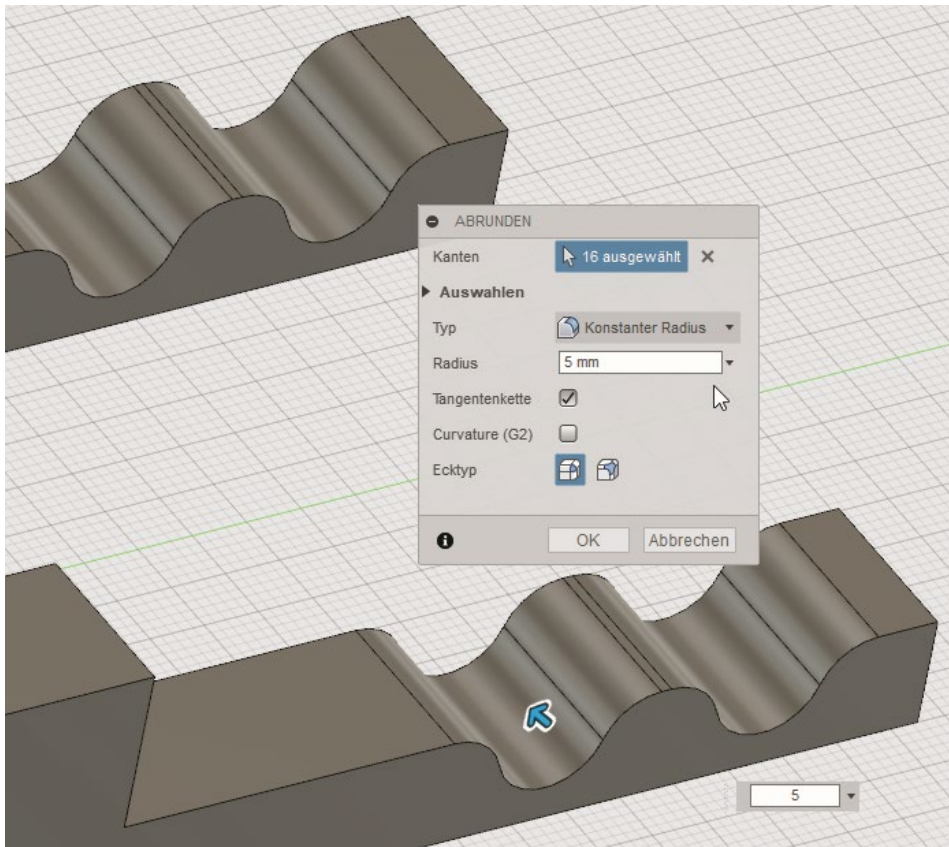


Quelle: Eigene Darstellung

Der letzte Schritt besteht nun darin die Kanten der Aussparungen abzurunden. Hierzu wählen Sie aus der „Werkzeugpalette Ändern“ den Befehl Abrunden und wählen alle Kanten der vier rechteckigen Aussparungen mit gedrückter Strg-

Taste aus. Hierzu muss das Modell ggf. gedreht werden. Als Radius für die Ab-  
rundung geben Sie 5 mm an (siehe Abbildung 51).

### Abbildung 51: Abrundung der Aussparungen



Quelle: Eigene Darstellung

## 7.2 Modellierung der Stütze

In Abbildung 52 und Abbildung 53 sind das CAD-Modell und eine technische Zeichnung der Stütze dargestellt.

### Abbildung 52: CAD-Modell – Stütze



Quelle: Eigene Darstellung

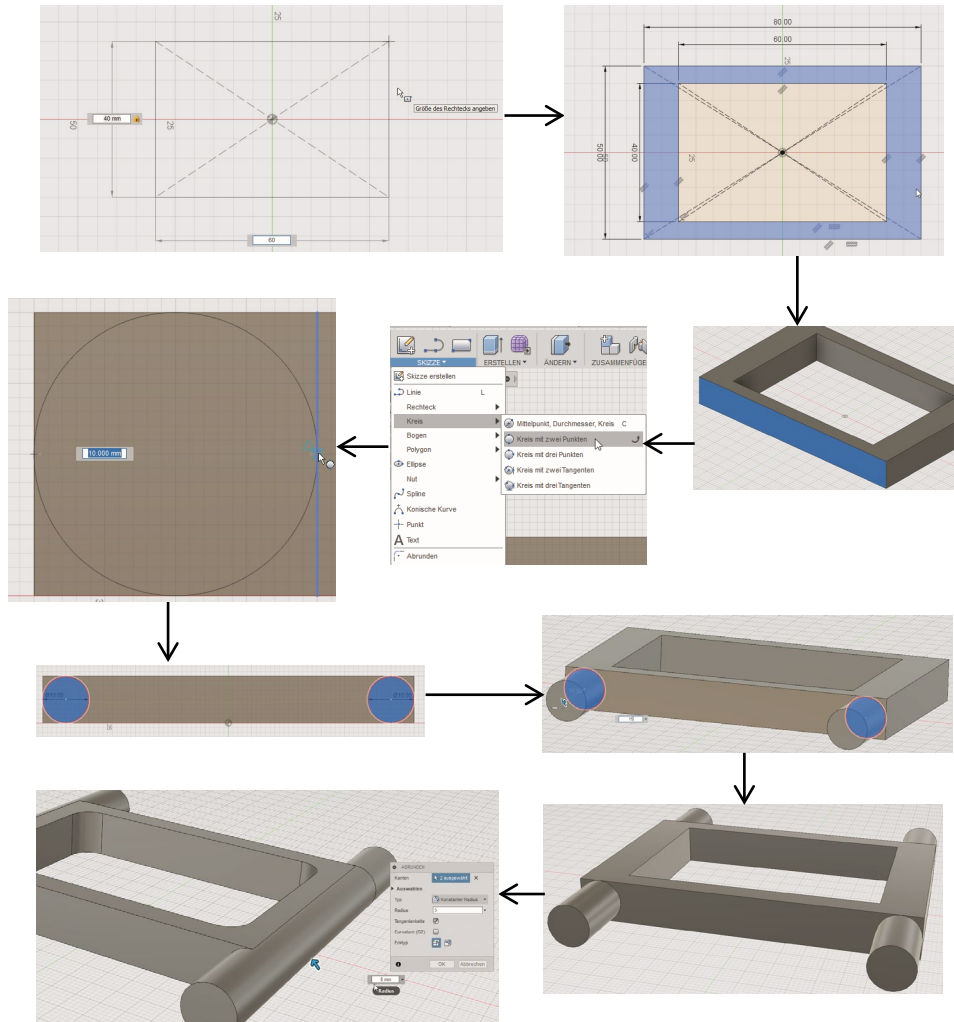


Legen Sie in Fusion 360™ eine neue Konstruktion an. Das können Sie entweder über den Befehl *Menü Datei* oder Sie klicken auf das + neben den Reitern der bereits geöffneten Dateien. Der erste Schritt der Konstruktion besteht wieder darin, eine neue Skizze zu erstellen. Als Ebene wird zunächst die X-Y-Ebene ausgewählt. Als erstes Skizzenelement wählen Sie unter *Skizze/Rechteck* den Befehl *Mittelpunkt, Rechteck* aus. Als Mittelpunkt können Sie den Koordinatenursprung angeben. Die Maße für das erste Rechteck betragen für die Höhe 40 mm und für die Breite 60 mm. Anschließend wird ein zweites Rechteck gezeichnet (Befehl *Mittelpunkt, Rechteck*), dessen Mittelpunkt mit dem des ersten Rechteckes übereinstimmt. Die Maße für das zweite Rechteck lauten für die Höhe 50 mm und für die Breite 80 mm. Diese Skizze kann nun extruiert werden. Dazu wählen Sie den durch die beiden Rechtecke entstehenden Rahmen an (in nebenstehender Abbildung blau markiert) und führen den Befehl *Extrusion* in der „Werkzeugpalette Erstellen“ aus. Als Abstand wird für die Extrusion 10 mm angegeben. Der rechteckigen Grundstruktur werden in dem nächsten Schritt zylinderförmige Elemente hinzugefügt. Wählen Sie dazu die äußere lange Rechteckseite aus und erstellen darauf eine neue Skizze. Als Skizzenelement wird nun der Befehl *Kreis mit zwei Punkten* ausgeführt. Als erster Punkt des Kreises wird der Mittelpunkt der linken Körperkante gewählt (Es ist darauf zu achten, dass neben dem Mauszeiger ein kleines Dreieck erscheint, das den Mittelpunkt der Kante symbolisiert). Mit dem Mauszeiger fahren Sie dann orthogonal nach rechts, bis entweder das Maß von 10 mm erreicht ist, oder Sie geben den Durchmesser von 10 mm direkt ein, müssen aber auch hier darauf achten, dass sich der Mauszeiger auf einer orthogonalen Linie rechts von dem ersten Kreispunkt befindet. Ein gleich großer Kreis wird dann auf der anderen Rechteckseite gezeichnet. Beide Kreise werden anschließend mit gedrückter Strg-Taste markiert und dann extruiert. Als Maß für den Extrusionsabstand wird 15 mm angegeben.

Dieselben Schritte werden auf der gegenüberliegenden Rechteckseite wiederholt, sodass aus dem rechteckigen Grundkörper insgesamt vier zylindrische Volumenkörper herausragen.

Im letzten Schritt werden nur noch ein paar Körperkanten abgerundet. Sowohl die Kanten des inneren Rechteckes, als auch die oberen und unteren Kanten auf der rechten und linken Seite des Bauteils werden mit einem Radius von 5 mm abgerundet. Der gesamte Konstruktionsablauf für die Stütze ist in Abbildung 54 grob dargestellt.

**Abbildung 54: Konstruktionsablauf der Stütze**



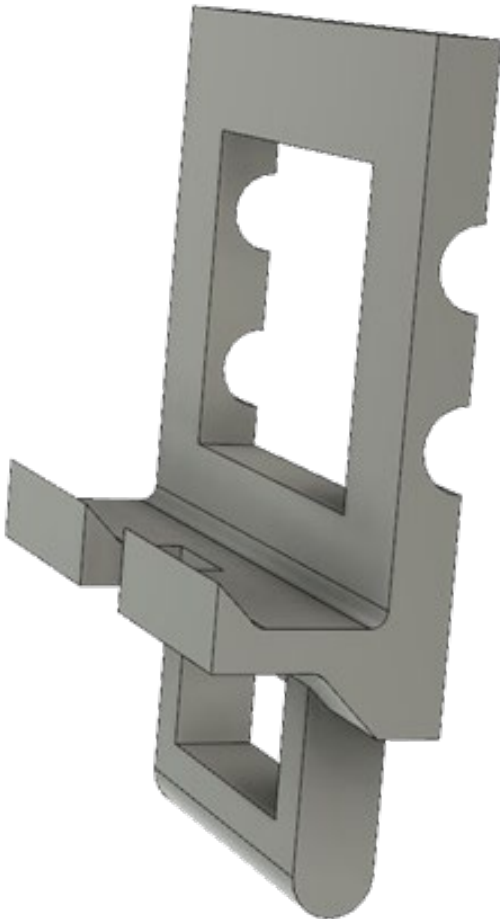
Quelle: Eigene Darstellung



### 7.3 Modellierung der Trägerplatte

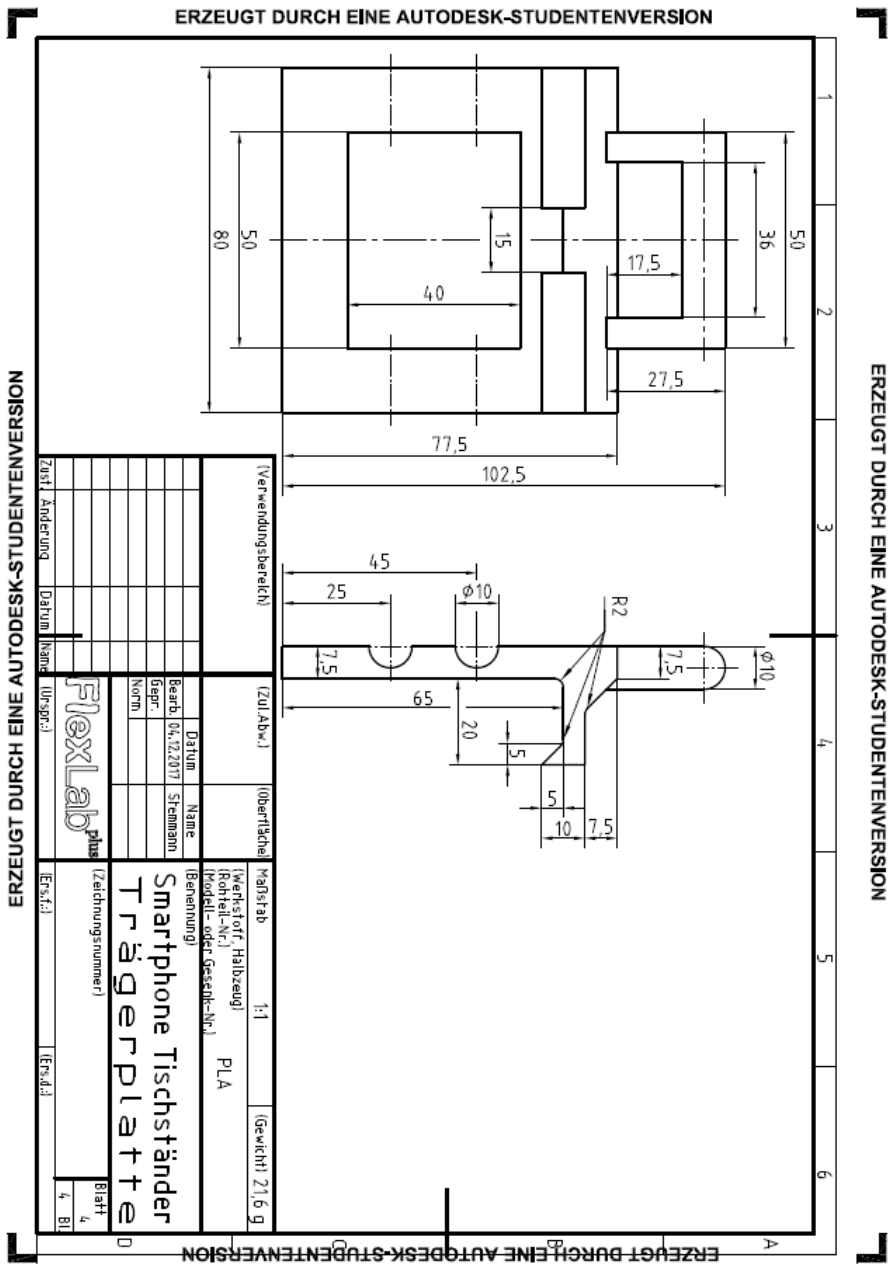
In Abbildung 55 und Abbildung 56 sind das CAD-Modell und eine technische Zeichnung der Stütze dargestellt.

**Abbildung 55:** CAD-Modell – Trägerplatte



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 56: Technische Zeichnung – Trägerplatte



Quelle: Eigene Darstellung

Die Erstellung der Trägerplatte beginnt in einer neuen Fusion 360™-Konstruktion mit einer 2D-Skizze. Als Ebene für die Skizze kann wieder die X-Y-Ebene ausgewählt werden. Mit dem Skizzenelement *Linie* wird zunächst der in der folgenden Abbildung dargestellte Linienzug mit den entsprechenden Maßen gezeichnet. Beim Schließen des Linienzuges erkennt Fusion 360™ eine geschlossene Fläche, die im nächsten Schritt angepasst und dann extruiert wird.

Mit dem Befehl *Versatz* wird die obere Kante des linken Absatzes um  $-7,5$  mm (nach oben) versetzt. Der neu entstandene Schnittpunkt dient als Anfangspunkt für eine Linie, deren Endpunkt die links unten liegende Kante ist. Im Anschluss wird die eben versetzte Linie wieder gelöscht, da diese nur als Hilfslinie für das Finden des entsprechenden Schnittpunktes diente. Zudem werden die Linien der ursprünglichen Körperkontur an der neuen schrägen Linie gestutzt. Der letzte Schritt der Bearbeitung der 2D-Skizze ist das Abrunden dreier Kanten mit einem Radius von 2 mm. Hierzu wird unter der „Werkzeugpalette Ändern“ der Befehl *Abrunden* ausgewählt und dann die mit ①, ②, ③ gekennzeichneten Kanten gewählt (siehe Abbildung 57). Diese 2D-Skizze wird nun in einen 3D-Körper umgewandelt. Der Extrusionsabstand beträgt dabei 80 mm. Die weiteren Anpassungen erfolgen an den nun entstandenen Volumenkörpern. Die erste Anpassung ist eine rechteckige Aussparung auf der Trägerplatte, um beim Drucken des Bauteils Zeit und Material zu sparen. Für die Anpassung muss eine neue Skizze auf der oberen Bauteilfläche erstellt werden (Fläche auswählen und den Befehl *Skizze erstellen* wählen). Um die zu zeichnende Rechteckskizze genau zu positionieren, wird zunächst eine Hilfslinie benötigt, deren Abstand von der unteren Flächenkante 35 mm beträgt. Also wählen Sie diese Kante aus und führen dann den Befehl *Versatz* aus und geben einen Versatzabstand von  $-35$  mm an. Im Folgenden wird ein Rechteck eingezeichnet, dessen Mittelpunkt genau auf der Mitte der eben versetzten Linie liegt. Als Befehl eignet sich hierzu *Mittelpunkt*, *Rechteck*. Die Breite des Rechteckes ist 50 mm und die Höhe 40 mm. Nachdem das Rechteck gezeichnet ist, kann die Hilfslinie wieder gelöscht werden. Um aus der Rechteckskizze eine Aussparung zu generieren, wählen Sie das Rechteck aus und führen den Befehl *Extrusion* unter der „Werkzeugpalette Erstellen“ aus. Als Extrusionsabstand wird das Maß  $-7,5$  mm angegeben (auf das negative Vorzeichen ist zu achten). Eine weitere Anpassung sind die runden Aussparungen, die zur Aufnahme der Stütze dienen. Die dazu benötigte Skizze soll auf der seitlichen Körperfläche (④) neu angelegt werden (siehe Abbildung 57). Um die Position der zu zeichnenden Kreise genau zu bestimmen, werden wieder Hilfslinien benötigt. Die erste Linie soll parallel zur rechten Flächenkante

in einem Abstand von 25 mm und die zweite Linie ebenfalls parallel zur rechten Flächenkante in einem Abstand von 45 mm verlaufen. Realisiert werden kann das durch zweimaliges Versetzen der rechten Flächenkante mit den genannten Versatzabständen (beide haben ein negatives Vorzeichen). Der Schnittpunkt der vertikalen Linien mit der unteren Flächenkante bildet auch gleichzeitig den Mittelpunkt für die nun zu zeichnenden Kreise, die je einen Durchmesser von 10 mm aufweisen. Im nächsten Schritt werden die unteren Halbkreise mit dem Befehl *Stutzen* aus der „Werkzeugpalette Skizze“ gekürzt. Die beiden vorher eingezeichneten Hilfslinien können zudem wieder gelöscht werden. Die von Fusion 360™ dann erkannten Flächen werden markiert und mit einem Abstand von -80 mm extruiert.

Die nächste Anpassung, die vorgenommen werden muss, ist die für das Anschließen eines Ladekabels benötigte Aussparung. Als Fläche für die Erstellung der neuen Skizze wählen Sie die oben liegende schmale Fläche. Es soll ein Rechteck eingezeichnet werden, dessen Position wieder mit einer Hilfslinie genau bestimmt werden kann. Dazu zeichnen Sie eine Linie, die mittig parallel zu den langen Seiten der bestehenden Fläche verläuft. Der Mittelpunkt dieser Hilfslinie stellt den Mittelpunkt des einzuziehenden Rechteckes dar. Als Befehl wählen Sie *Mittelpunkt, Rechteck*. Die Höhe des Rechteckes beträgt 10 mm und die Breite 15 mm. Die Hilfslinie wird im Anschluss wieder gelöscht.

Danach wird die erstellte Fläche ausgewählt und extruiert, wobei der Extrusionsabstand von 12 mm ein negatives Vorzeichen erhält.

Die letzte vorzunehmende Änderung betrifft das Verbindungsstück zur Bodenplatte. Diese Anpassung ist nicht ganz einfach, weil zur Erstellung der Skizze keine bereits vorhandene Fläche gewählt werden kann, sondern zunächst eine Konstruktionsebene erstellt werden muss. Diese Ebene soll in einem Abstand von 10 mm von der X-Y-Ebene erstellt werden. Bevor die neue Skizze erstellt wird, erstellen Sie die neue Ebene, indem Sie den Befehl *Versatzebene* aus dem „Werkzeugkasten Konstruieren“ ausführen. Dann wählen Sie die Ebene aus, die Sie versetzen möchten, und geben als Versatzabstand -10 mm an. Fusion 360™ erstellt eine neue Ebene, die nun den bereits vorhandenen Volumenkörper schneidet. Damit die neue Zeichnung genau an dem bereits vorhandenen Körper ansetzt, muss nun wieder eine Hilfslinie erstellt werden. In diesem Fall ist das aber kein einfaches Skizzenelement, sondern eine Achse, die durch den Schnittpunkt der beiden Ebenen gebildet wird. Der Befehl lautet *Achse durch zwei Punkte* und ist im „Werkzeugkasten Konstruieren“ zu finden. Nachdem die neue Konstruktionsebene ausgewählt wurde und die Ebene, die

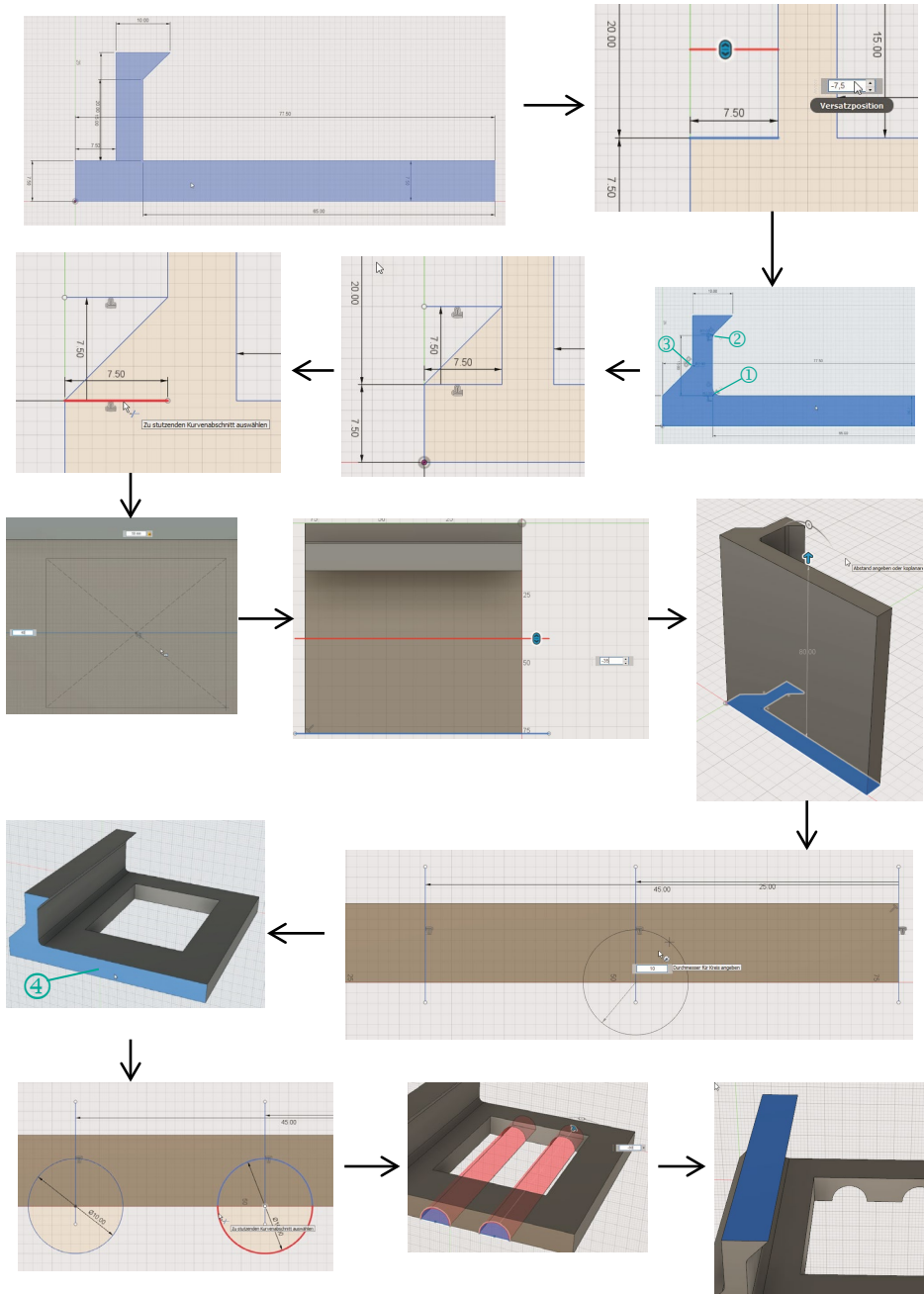
von der Konstruktionsebene geschnitten wird, zeichnet Fusion 360™ die entsprechende Linie ein. Nun kann eine neue Skizze erstellt werden. Als Fläche wählen Sie die neue Konstruktionsebene. Auf dieser Ebene wird die in Abbildung 57 gezeigte Skizze erstellt. Bei der Erstellung der Skizze ist darauf zu achten, dass die vertikalen Linien auf der linken Seite genau auf der neu konstruierten Achse liegen.

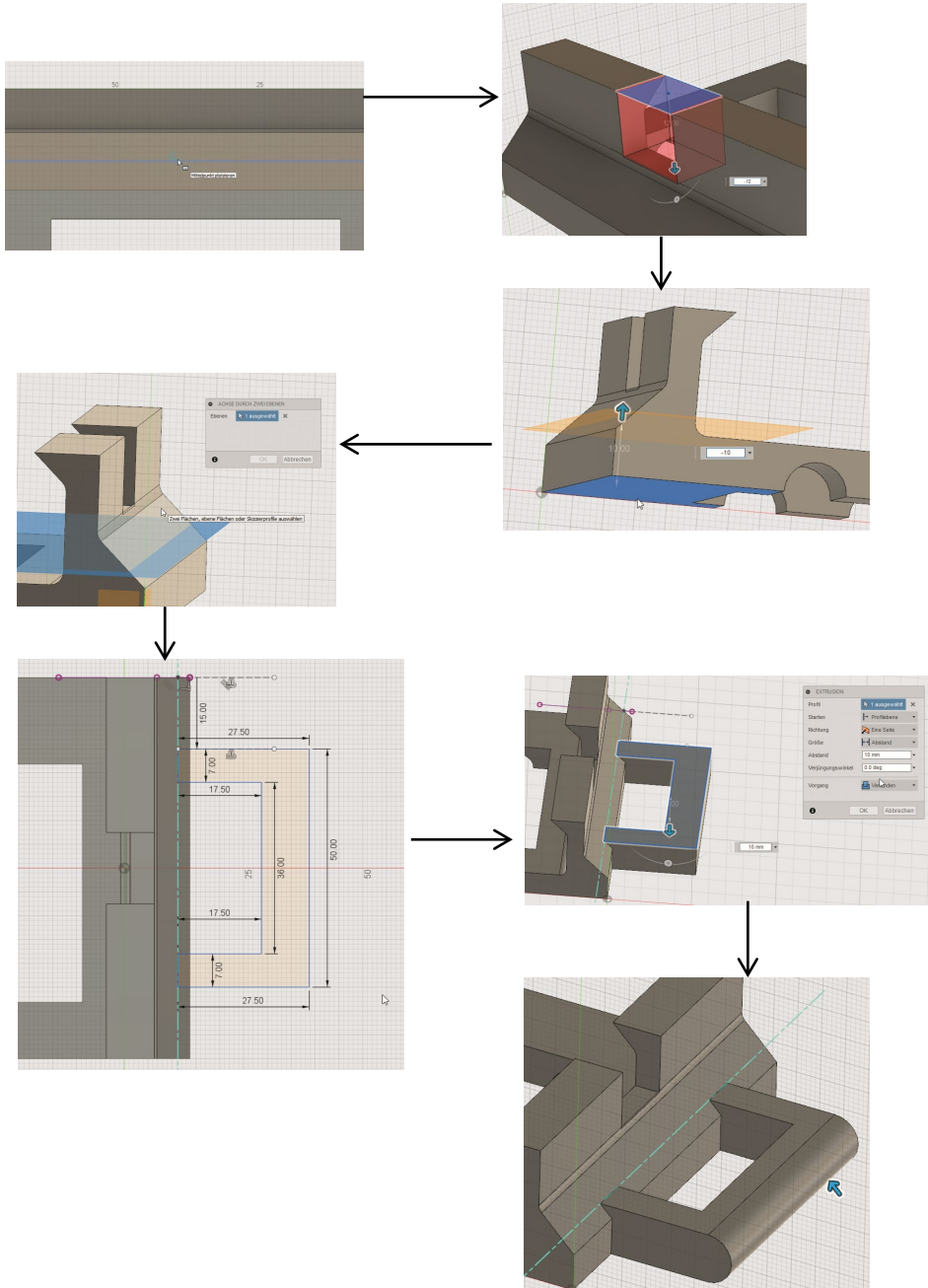
Im nächsten Schritt wird diese 2D-Skizze durch den Befehl *Extrusion* in einen 3D-Körper umgewandelt. Der Extrusionsabstand beträgt 10 mm. Falls Fusion 360™ statt einem neuen Körper den bestehenden Körper ausschneiden will, muss in dem sich öffnenden Fenster als Vorgang *Verbinden* gewählt werden.

Durch den Befehl *Abrunden* in der „Werkzeugpalette Ändern“ werden im letzten Schritt die obere und untere rechte Kante mit einem Radius von 5 mm abgerundet.

Der gesamte Konstruktionsablauf für die Trägerplatte ist in Abbildung 57 grob dargestellt.

**Abbildung 57: Konstruktionsablauf der Trägerplatte**



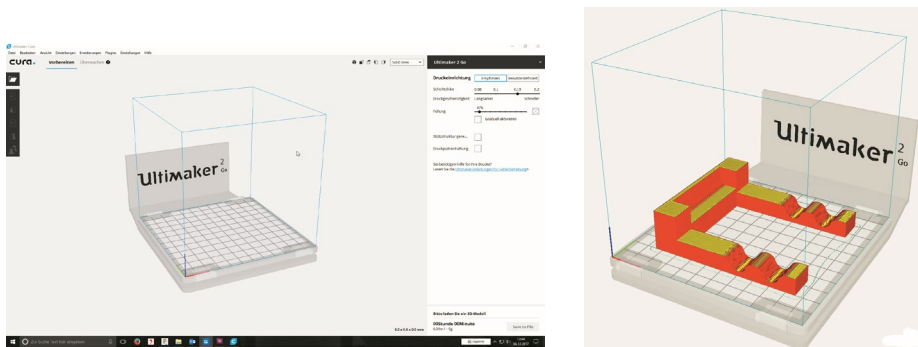


Quelle: Eigene Darstellung

## 7.4 Beispiel Slicen: neigungsverstellbarer Tischständer für Smartphones

Um die mit einer 3D-Software erstellten Modelle mit einem 3D-Drucker ausdrucken zu können, müssen die Dateien für den Druck aufbereitet werden. Das 3D-Modell wird dabei in Schichten aufgeteilt, die die einzelnen Drucklagen repräsentieren, die der Drucker später auf das Druckbett aufträgt. Dieser Prozess wird auch Slicen genannt. Auf Basis des Slicingprozesses wird ein Steuercode (auch bekannt als G-Code) erstellt, der u. a. den Druckkopf steuert. Dieser wird dann auf eine SD-Karte gespeichert, die von dem Drucker gelesen wird.

**Abbildung 58:** Benutzeroberfläche von Cura

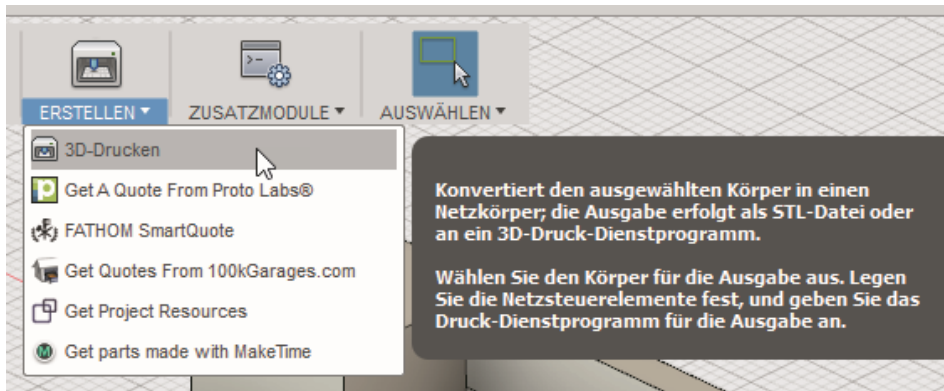


Quelle: Eigene Darstellung

Die folgende Beschreibung für das Erstellen des Steuercodes erfolgt anhand der Slicing-Software Cura (Version 3.1.0) (siehe Abbildung 58). Dabei handelt es sich um eine kostenfreie Software, die insbesondere die 3D-Drucker von Ultimaker unterstützt, aber auch viele andere.

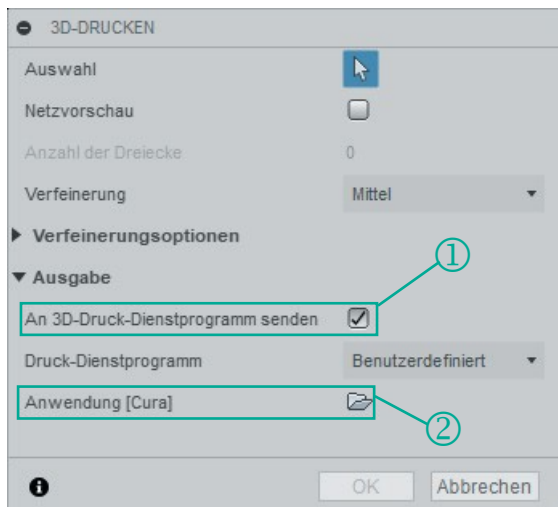
Um ein mit Fusion 360™ erstelltes 3D-Modell in Cura zu öffnen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die einfachste Möglichkeit bietet sich an, wenn auf dem Rechner, auf dem Fusion 360™ installiert ist, auch Cura installiert ist. In diesem Fall öffnen Sie das gewünschte Fusion 360™-Modell und wählen den Befehl *3D-Drucken* unter der „Werkzeugpalette Erstellen“ (siehe Abbildung 59). Es öffnet sich ein neues Fenster, in dem Sie zum einen angeben können, welches Bauteil gedruckt werden soll, und zum anderen, mit welcher Slicing-Software das Modell geöffnet werden soll.



**Abbildung 59: Auswahlwerkzeug 3D-Drucken in Fusion 360™**

Quelle: Eigene Darstellung

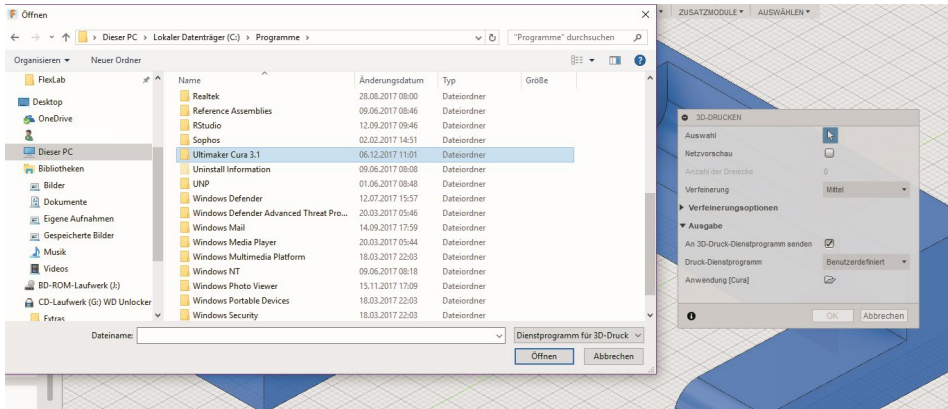
Wenn das Bauteil ausgewählt wurde, erscheint es in Fusion 360™ blau eingefärbt. Wenn das Modell direkt mit Cura geöffnet werden soll, muss das Häkchen der Option *An 3D-Druck-Dienstprogramm senden* ① gesetzt werden. Unter dem Punkt *Anwendung* ② muss angegeben werden, mit welchem Slicing-Programm das Fusion 360™-Modell geöffnet werden soll (siehe Abbildung 60).

**Abbildung 60: Auswahlwerkzeug 3D-Drucken für Cura**

Quelle: Eigene Darstellung

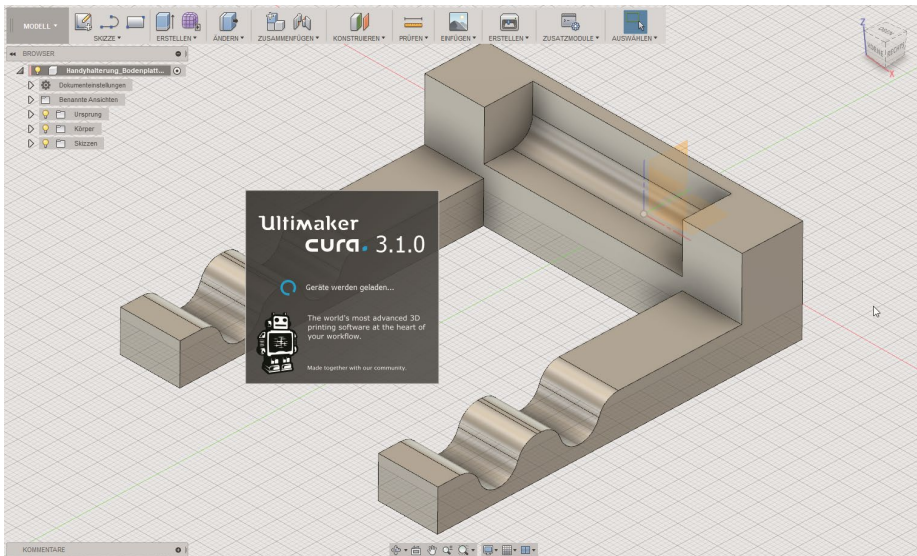
Dazu klicken Sie auf das rechts zu sehende Datei-Symbol und wählen dort die sich meist unter dem Ordner C:/Programme/Cura befindliche Anwendung Cura aus (siehe Abbildung 61). Sobald die benötigten Informationen vollständig vorliegen, lässt sich der Ok-Button drücken und das Modell wird in Cura geöffnet (siehe Abbildung 62).

### Abbildung 61: Auswahl der Software Cura



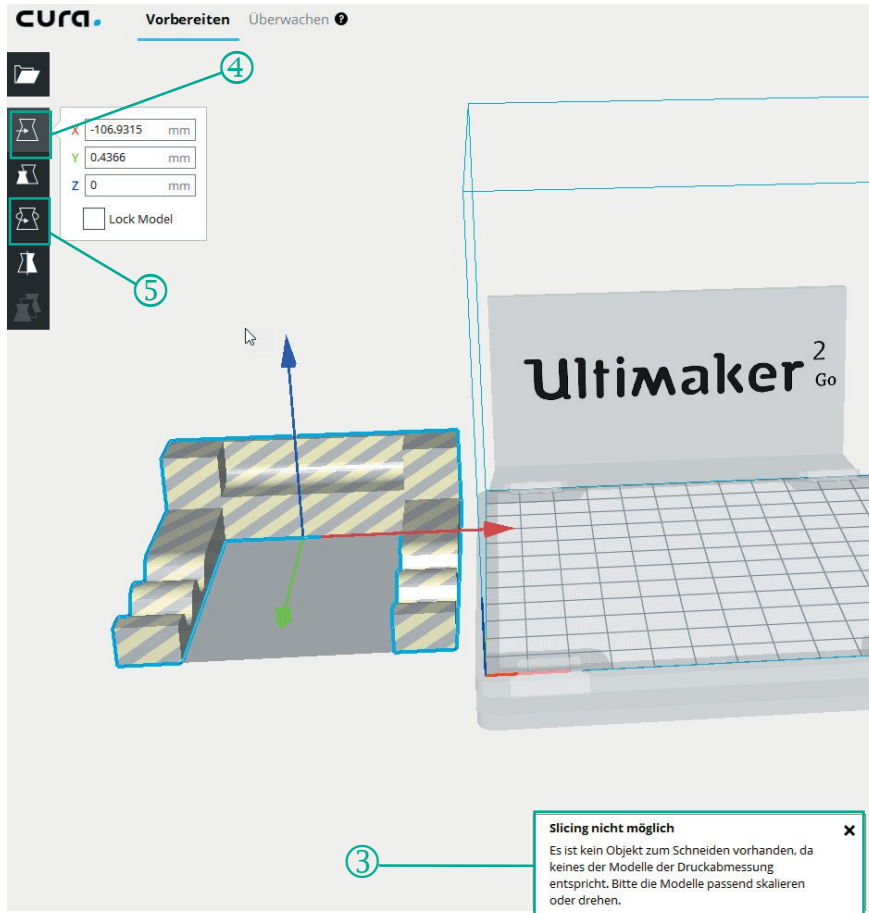
Quelle: Eigene Darstellung

Falls sich Cura nicht auf dem Rechner befindet, auf dem mit Fusion 360™ gearbeitet wurde, muss die Fusion 360™-Datei zunächst in eine Datei mit der Endung .stl abgespeichert werden. Dazu müssen Sie das Häkchen unter ⓘ entfernen und anschließend auf *Ok* drücken (siehe Abbildung 60). Es öffnet sich zur Angabe des Dateinamens und -ortes ein Fenster. Als Dateityp wird STL-Dateien (\*.stl) stehen gelassen. Diese Datei kann dann auf einem mobilen Datenträger an einen Rechner mit Cura geöffnet werden.

**Abbildung 62:** Cura Startbildschirm

Quelle: Eigene Darstellung

Um eine STL-Datei (oder andere unterstützte Dateiformate) in Cura zu öffnen, wird zunächst das Programm gestartet. Durch Klicken auf *Datei öffnen* lässt sich die gewünschte Datei auswählen und das dort enthaltene Objekt wird meist neben dem Druckraum platziert. Es erscheint zunächst die Meldung, dass Slicing nicht möglich sei ③ (siehe Abbildung 63). Nun muss das zu druckende Objekt so verschoben, gedreht oder skaliert werden, dass es in den Druckraum passt. Dazu wählen Sie das anzupassende Objekt an und klicken auf den entsprechenden Befehl im linken Menü. Mit dem Befehl *Schieben* ④ lässt sich das Bauteil entweder mit der Maus in den Druckraum ziehen oder es werden die entsprechenden Koordinaten angegeben.

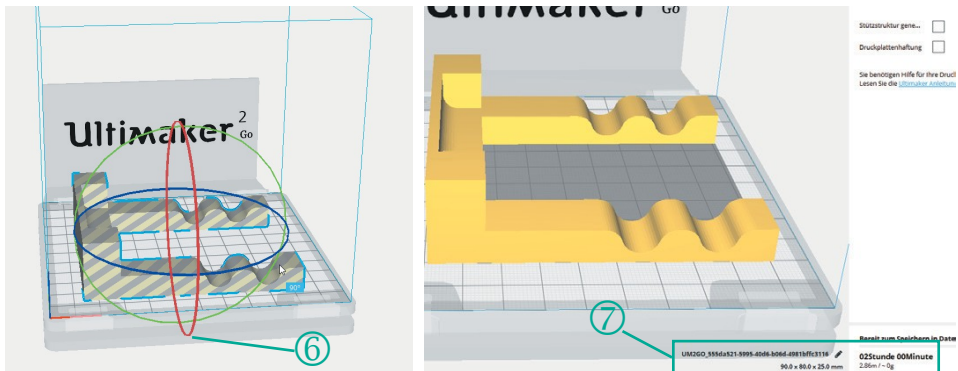
**Abbildung 63: Modellplatzierung in Cura I**

Quelle: Eigene Darstellung

Oftmals muss das Bauteil aber auch gedreht werden, damit es in den Druckraum passt oder damit es optimal gedruckt werden kann. Wird der Befehl *Drehen* ⑤ gewählt, lässt sich das eingefügte Objekt durch Anfassen und Ziehen an drei Orbitalen ⑥ in 15°-Schritten drehen (mit gedrückter Umschalttaste erfolgt das Drehen in 1°-Schritten) (siehe Abbildung 64). Sobald das Bauteil im Druckraum so positioniert ist, dass es sich drucken lässt, färbt Cura es gelb ein und es erscheinen genauere Angaben zum Druckauftrag ⑦, wie die Dauer und Materialmenge. Da das richtige Positionieren am Anfang etwas Fingerspitzengefühl erfordert, ist es hilfreich, die Ansicht des Druckraums verändern zu können. Entweder wählen

Sie hierzu zwischen schon vordefinierten Ansichten oder bewegen die Maus mit gleichzeitig gedrückter rechter Maustaste (siehe Abbildung 65).

**Abbildung 64:** Modellplatzierung in Cura II

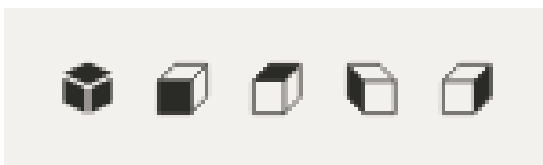


Quelle: Eigene Darstellung

Im nächsten Schritt werden in Cura die Eigenschaften eingestellt, mit denen der Drucker das Objekt drucken soll. Die Einstellungsmöglichkeiten sind in Cura dabei so groß, dass hier nur die wichtigsten besprochen werden können.

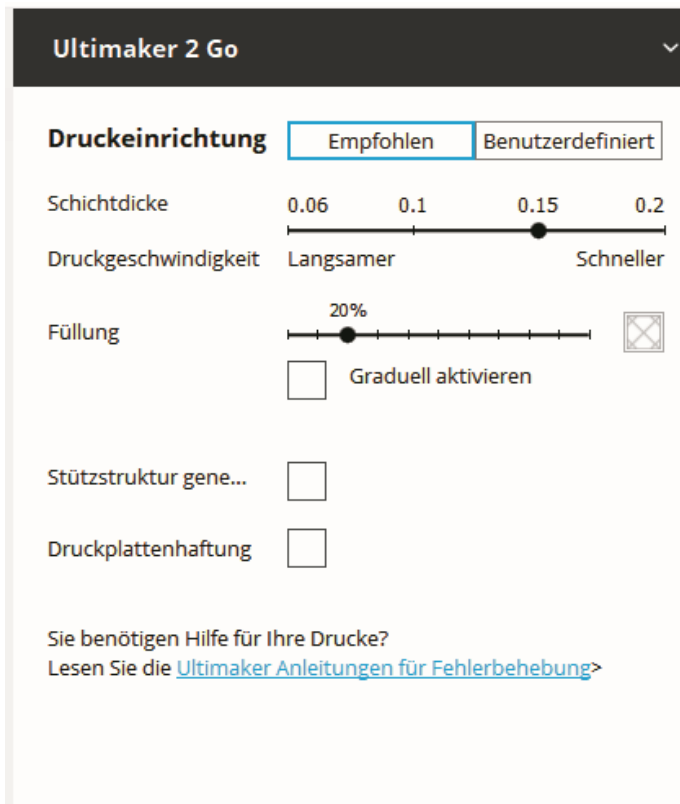
Standardmäßig definiert Cura bereits ein paar wenige Druckeinstellungen vor, die unter *Druckeinrichtung Empfohlen* hinterlegt sind (Abbildung 66). Hier lässt sich nur die Schichtdicke und die Füllung des Volumenkörpers variieren sowie anwählen, ob eine Stützstruktur generiert und/oder die Druckplattenhaftung erhöht werden soll.

**Abbildung 65:** Definierte Ansichten in Cura



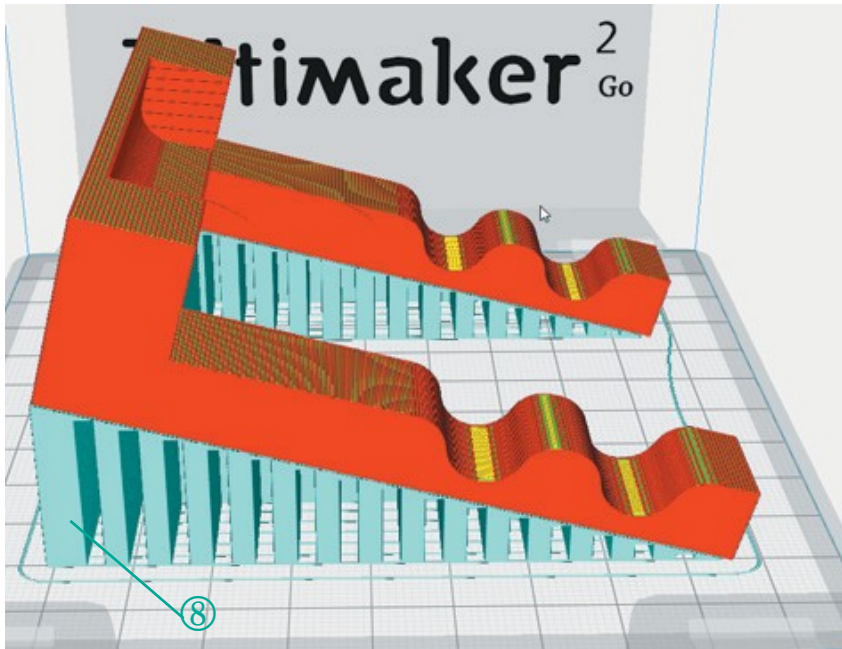
Quelle: Eigene Darstellung

Je geringer der Wert für die Schichtdicke ist, desto höher ist zwar die Auflösung, allerdings nehmen damit auch die Anzahl der zu druckenden Schichten und die Druckdauer zu.

**Abbildung 66:** Druckeinrichtung in Cura

Quelle: Eigene Darstellung

In diesem Beispiel wird das Innere des Bauteils mit einer Gitterstruktur gefüllt. 20 % Füllung ist die Standardeinstellung, die für die meisten Objekte ausreicht. Je mehr Füllung gedruckt wird, desto fester wird das Objekt, aber umso länger dauert auch der Druck. Weist das Modell außerdem starke Schrägen oder sonstige Überhänge (also Bereiche, die über andere herausragen) auf, sodass der Drucker nicht auf einer vorhandenen Schicht drucken kann (und somit in der Luft drucken würde), benötigt das Modell eine Stützstruktur ⑧ (siehe Abbildung 67).

**Abbildung 67:** Darstellung von Stützstruktur

Quelle: Eigene Darstellung

Hierbei handelt es sich um Material, das in Form von Stützen unter dem Überhang gedruckt wird, um diesen abzustützen. Diese Stützstruktur muss nach dem Druck von dem eigentlichen Bauteil wieder abgebrochen werden. Oftmals kann durch die richtige Positionierung des Modells in dem Druckraum auch ohne eine Stützstruktur gedruckt werden. Eine mangelnde Haftung der ersten Schicht auf dem Druckbett ist das häufigste Problem beim 3D-Drucken. Hierzu bietet Cura an, eine flache Schicht um oder unter das Bauteil zu drucken, die allerdings ebenfalls anschließend zu entfernen ist. Hierzu wird das Häkchen bei *Druckplattenhaftung* gesetzt.

Mit den folgenden Einstellungen lassen sich für das Drucken der Bauteile des neigungsverstellbaren Tischständers für Smartphones gute Ergebnisse erzielen:

- Schichtdicke: 0,15 mm
- Füllung: 20 % (Graduell aktivieren: nein)
- keine Stützstruktur
- keine Druckplattenhaftung

Für fortgeschrittene oder experimentierfreudige Nutzer bietet Cura neben diesen voreingestellten Druckprofilen auch die Möglichkeit, benutzerdefinierte Einstellungen vorzunehmen (siehe Abbildung 68). So lassen sich die Qualität, das Gehäuse, die Füllung, das Material, die Geschwindigkeit und weitere Druckparameter gezielt einstellen.



**Abbildung 68:** Benutzerdefinierte Druckeinrichtung

**Ultimaker 2 Go** ▾

**Druckeinrichtung** Empfohlen **Benutzerdefiniert**

Profil: Low Quality - 0.15mm ★ ▾

Suchen...

**Qualität** ▾

Schichtdicke	🔗	0.15	mm
Dicke der ersten Schicht	🔗	0.3	mm
Linienbreite		0.4	mm
Breite der Wandlinien		0.4	mm
Breite der äußeren Wandlinien		0.4	mm
Breite der inneren Wandlinien		0.4	mm
Breite der oberen/unteren Linie		0.4	mm
Breite der Fülllinien		0.4	mm
Skirt-/Brim-Linienbreite		0.4	mm

**Gehäuse** <

**Füllung** <

**Material** <

**Geschwindigkeit** <

**Bewegungen** <

**Kühlung** <

**Stützstruktur** <

**Druckplattenhaftung** <

**Netzreparaturen** <

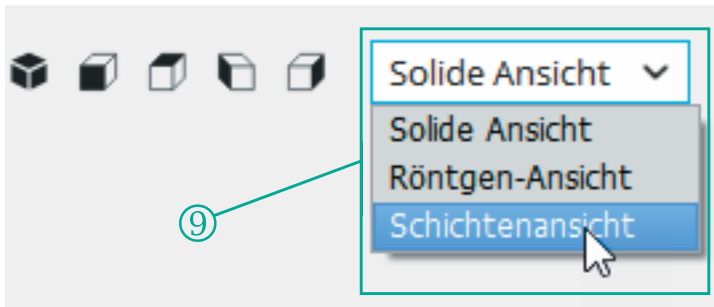
**Sonderfunktionen** <

**Experimentell** <

Quelle: Eigene Darstellung

Sind alle Druckeinstellungen ausgewählt, so kann die Vorschau für das Slicen angezeigt werden. Hier wird ersichtlich, wie viele Schichten gedruckt werden und wie sich die Bewegungen des Druckerkopfes in einer Simulation abspielen. Für diese Vorschau muss als Ansicht die Option *Schichtenansicht* ⑨ gewählt werden (siehe Abbildung 69). Cura zeigt die zu druckenden Schichten des Druckobjektes in Abhängigkeit von dem Linientyp in verschiedenen Farben an.


**Abbildung 69:** Auswahl der Schichtenansicht



Quelle: Eigene Darstellung

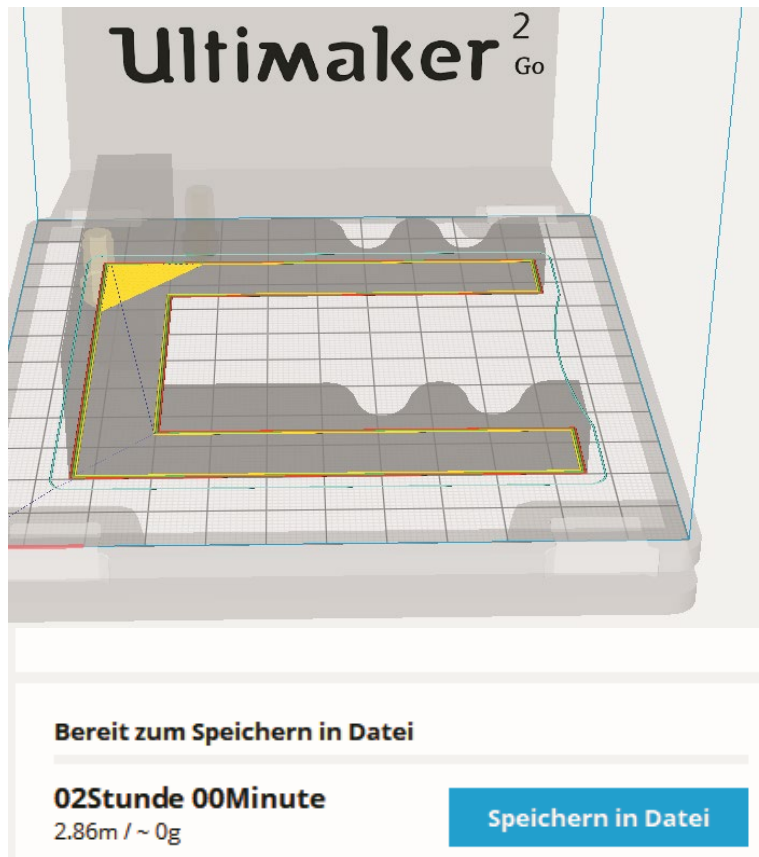
**Abbildung 70:** Auswahlmöglichkeiten in der Schichtenansicht

Quelle: Eigene Darstellung

Mit der rechten Leiste  ist es möglich, gezielt einzelne Schichten anzeigen zu lassen (siehe Abbildung 70). Durch Drücken des *Play*-Buttons der oberen Leiste startet eine Simulation, in der die berechnete Bewegung des Druckerkopfes simuliert wird.

Wenn alle gewünschten Parameter angepasst wurden, muss die G-Code-Datei auf die SD-Karte des 3D-Druckers gespeichert werden. Dazu wird der Button *Speichern in Datei* ausgewählt und als Speicherort die SD-Karte (siehe Abbildung 71). Ein aussagekräftiger Dateiname hilft, die Datei auf der Karte wiederzufinden, wenn sie im Drucker steckt.

**Abbildung 71:** Speichern der G-Code-Datei



Quelle: Eigene Darstellung

## 8 Troubleshooting

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den häufigsten Problemen, die im Zusammenhang mit der Verwendung des 3D-Druckers und der 3D-Software auftreten können, und gibt Tipps, wie Sie diese vermeiden oder zu mindestens verringern können.

### 8.1 Software-Internetproblem

Die Verwendung der 3D-Software Fusion 360™ von Autodesk® erfordert die in Tabelle 2 dargestellten Computervoraussetzungen:

**Tabelle 2:** Computervoraussetzungen

System requirements for Autodesk Fusion 360	
Operating System	Apple® macOS™ High Sierra v10.13; Apple® macOS™ Sierra v10.12; Mac® OS® X v10.11.x (El Capitan) Note: Mac OS X v10.10.x (Yosemite) is not supported.  Microsoft® Windows® 7 SP1, Windows 8.1, or Windows 10 (64-bit only)
CPU Type	64-bit processor (32-bit not supported)
Memory	3GB RAM (4GB or more recommended)
Graphics Card	512MB GDDR RAM or more, except Intel GMA X3100 cards
Disk Space	~2.5 GB
Pointing Device	Microsoft-compliant mouse, Apple Mouse, Magic Mouse, MacBook Pro trackpad
Internet	A DSL internet connection or faster

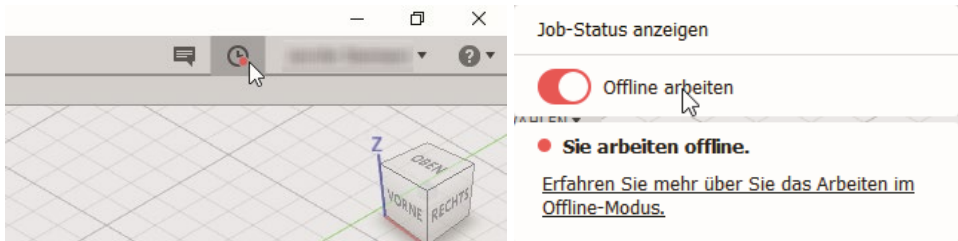
Quelle: Eigene Darstellung

Der Laptop, der in dem FlexLab-Zubehörkoffer enthalten ist, erfüllt die genannten Hardware-Anforderungen. Fusion 360™ ist auf diesem Laptop zudem bereits installiert. Um das Programm nutzen zu können, müssen Sie bzw. die Anwenderinnen und Anwendern sich mit ihrem Autodesk®-Account anmelden. Im Kapitel 3 ist erwähnt, wie Sie einen solchen Account erstellen. Für die Anmeldung mit diesem Account wird ein Internetzugang zwingend benötigt.

Für den Fall, dass Ihre Internetverbindung sehr langsam oder instabil ist und es während der Nutzung von Fusion 360™ zu Störungen kommt, können Sie das Programm auch offline nutzen. Dazu klicken Sie in der geöffneten Fusion 360™

Anwendung auf *Job-Status* und stellen den Schalter auf *Offline arbeiten* (siehe Abbildung 72).

**Abbildung 72:** Offline arbeiten mit Fusion 360™



Quelle: Eigene Darstellung

Sie können im Offline-Modus an Ihren Modellen arbeiten und diese auch im Zwischenspeicher abspeichern, allerdings werden die gespeicherten Modelle nicht mit der Cloud synchronisiert. Das bedeutet, dass Sie in diesem Fall nicht so einfach an einem anderen Rechner die Modellbearbeitung fortführen können. Um auch im Offline-Modus Dateien auf einem anderen Rechner weiterbearbeiten zu können, gehen Sie wie folgt vor:

1. Wählen Sie in der Anwendungsleiste *Datei/Exportieren* aus.
2. Geben Sie der Datei einen Namen und wählen Sie den Speicherort für Ihre Datei aus. Die Datei die Fusion 360™ erstellt, hat die Endung \*.f3d.
3. Um diese Datei wieder (ggf. an einem anderen Rechner, wenn Sie als Speicherort ein externes Laufwerk ausgewählt haben) zu öffnen, klicken Sie in der Anwendungsleiste auf Datei und wählen dann die Option *Neue Konstruktion aus Datei*. Gehen Sie zu dem Speicherort und öffnen die gewünschte \*.f3d-Datei.

## 8.2 3D-Drucker

Probleme, die während des Druckens auftreten, sind sehr vielfältig, können aber oft auf wenige Ursachen zurückgeführt werden. Im Folgenden werden zunächst die sichtbaren Problemfälle und ihre möglichen Ursachen beschrieben und dann die nötigen Schritte zur Problembeseitigung.

### 8.2.1 Materialschrumpfung

Während das Filament die Düse des Druckers passiert, wird es aufgeschmolzen. Durch die dafür benötigte Erwärmung dehnt sich das Material zunächst aus. Sobald das Material die Düse verlassen hat, kühlt es sich wieder ab und zieht sich zusammen (siehe Abbildung 73). Somit kann es passieren, dass die Ist-Maße des Druckobjektes von den Sollmaßen der Druckdatei abweichen. Diese Schrumpfrate beträgt bei PLA bis zu 1,5 %. Werden also Objekte gedruckt, die anschließend gefügt werden sollen, führt diese Schrumpfung dazu, dass die Objekte nicht passen. Ein 50 mm breit konstruiertes Bauteil kann somit gedruckt nur 49,25 mm breit sein oder ein 5 mm großer Ausschnitt ist dann nur 4,925 mm groß. Da die Schrumpfung prozentual ist, wirkt sie sich bei größeren Maßen absolut gesehen stärker aus als bei kleinen. Da sich diese Schrumpfung nicht verhindern lässt, sollte sie bei passgenauen Bauteilen direkt in die Konstruktion einberechnet werden (vgl. Rattat 2016, S. 216). Um die genaue materialabhängige Schrumpfrate herauszufinden, sind entsprechende Vorversuche nötig, bei denen die Differenz zwischen dem Soll- und dem Ist-Maß ermittelt werden kann.

Neben den möglichen Maßabweichungen stellt das sogenannte Warping eine weitere Auswirkung der Materialschrumpfung dar (siehe Abbildung 73 und Abbildung 74). Darunter wird das Verziehen der Objektform aufgrund unterschiedlich schneller Materialabkühlung verstanden. Sehr häufig wird dieser Effekt an hochgezogenen oder gewölbten Ecken und Rändern des Objektes sichtbar. Ursache sind die Zugkräfte, die entstehen, wenn eine Schicht auf eine bereits abgekühlte und nicht mehr schrumpfende Schicht gedruckt wird. Die obere Schicht kühlt ab und wird zusammengezogen. Da sie mit der darunterliegenden Schicht verbunden ist, entstehen Zugkräfte nach innen, die, wenn diese entgegengesetzt gerichteten Haftkräfte nicht groß genug sind, dazu beitragen, dass die untere Schicht angehoben wird.

Der Warping-Effekt wird insbesondere durch das zu schnelle Abkühlen der Schichten begünstigt. Das passiert, wenn der Drucker in einem kalten Zimmer oder in Zugluft steht. Eine Möglichkeit, Warping zu vermeiden, ist demnach ein geeigneter Aufstellungsort für den Drucker sowie das Herabsetzen der Geschwindigkeit der Lüfter. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Haftkräfte zwischen der ersten Schicht und dem Druckbett zu erhöhen, damit sich die erste Schicht nicht so einfach nach oben anheben kann. Hierfür gibt es verschiedene Optionen, wie die Präparation der Platte mit einem Klebeband oder das

Drucken einer Schicht um oder unter das Modell (vgl. Qualitäts- und Unterstützungsagentur - Landesinstitut für Schule des Landes NRW, S. 57). Diese Optionen werden im nächsten Abschnitt näher erläutert.

**Abbildung 73:** Warping verursachende Zugkräfte beim 3D-Drucken



Quelle: Rattat 2016, S. 218

### 8.2.2 Material haftet nicht an der Konstruktionsplatte

Die erste Schicht, die direkt auf die Konstruktionsplatte gedruckt wird, ist sehr wichtig. Eine ungenügende Haftung führt dazu, dass sich das Material im Laufe des Druckes von der Platte löst und der Druck dann verworfen und neu gestartet werden muss. Der Druck der ersten Schicht ist allerdings auch der problematischste. Folgende Faktoren können zu Problemen bei der Haftung der ersten Druckschicht auf der Konstruktionsplatte führen:

- Unzureichende Haftung des Untergrundes,
- Abstand zwischen Düse und Untergrund falsch eingestellt,
- Druckgeschwindigkeit zu hoch.

Die Haftung der Konstruktionsplatte lässt sich erhöhen, indem Sie mit dem blauen Klebeband, das dem FlexLab Zubehörkoffer beiliegt, die Konstruktionsplatte bekleben. Eine genaue Anleitung dazu finden Sie in Kapitel 2.4. Ist die Platte bereits mit einer Schicht des blauen Klebebandes versehen, prüfen Sie, ob diese Schicht unbeschädigt und sauber ist. Die Haftung der Konstruktionsplatte lässt sich noch weiter erhöhen, wenn Sie mit dem beiliegenden Klebestift eine Schicht Kleber unmittelbar vor dem Druck auf das blaue Klebeband auftragen.

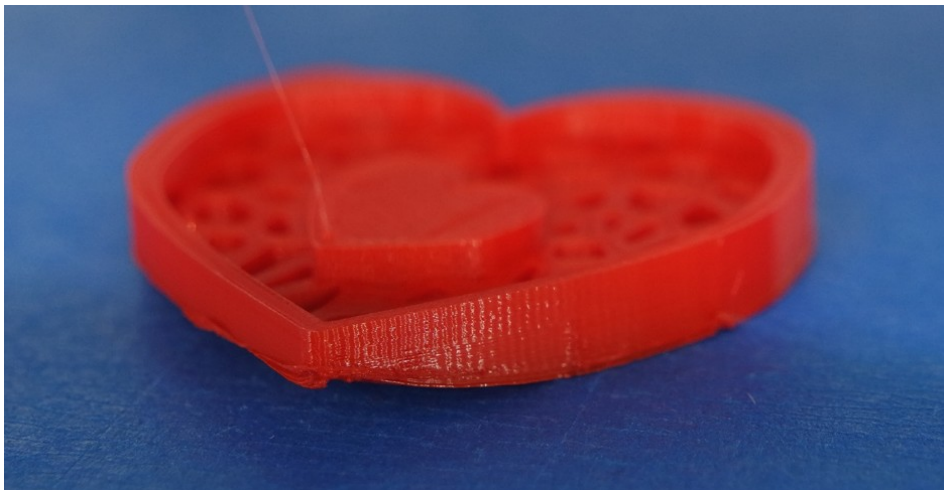
Falls diese Maßnahmen noch nicht ausreichen (kann bei Objekten mit einer geringen Auflagefläche der Fall sein), so lässt sich die Haftung auf dem Drucktisch weiter verbessern, indem für das Druckobjekt zunächst ein Fundament (engl. raft) mit einer größeren Auflagefläche gedruckt wird oder ein Rand aus einer oder mehreren Bahnen um das Werkstück herum gedruckt wird. Solche sogenannten Hilfsstrukturen (support) lassen sich in der Slicingsoftware Cura vorab genau konfigurieren.



Eine ausreichende Haftung wird jedoch auch durch eine sorgfältig ausgerichtete Konstruktionsplatte erreicht. Für eine zu geringe Haftung ist meist ein zu großer Abstand zwischen der Düse und der Platte verantwortlich. Das Material wird dabei nicht von der Düse an die Platte gedrückt und kann so auch nicht an ihr haften bleiben (vgl. Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule des Landes NRW, S. 57). Verringern Sie den Abstand zwischen der Düse und der Konstruktionsplatte entsprechend. Achten Sie aber unbedingt darauf, dass der Abstand nicht zu gering wird, da ansonsten andere Probleme (wie eine verstopfte Düse) auftreten können. In Kapitel 2.4 finden Sie außerdem eine genaue Anleitung für das Ausrichten der Konstruktionsplatte.

Die letzte zu nennende Optimierungsmaßnahme, die in der Regel aber zuerst angewandt werden sollte, ist das Herabsetzen der Druckgeschwindigkeit für die erste Schicht. Verringern Sie diesen Parameter auf einen Wert von ungefähr 50 % und zwar noch bevor der Drucker mit dem Druck der ersten Schicht beginnt. Nachdem die erste Schicht gedruckt wurde, kann die Geschwindigkeit wieder auf 100 % gesetzt werden. Im Kapitel 2.5 erfahren Sie, wie Sie die Druckparameter ändern können.

**Abbildung 74: Warping**



Quelle: Eigene Darstellung

### 8.2.3 Materiallücken

Gelegentlich kann es passieren, dass beim Drucken in der horizontalen Ebene Lücken beim Druck entstehen, die so aussehen, als hätte der Drucker an diesen Stellen das Filament vergessen (siehe Abbildung 75). Diese Fehlerart wird Skipped Layer genannt. Ursache für solche Lücken ist das unzureichende Herausdrücken des Filaments aus der Düse (under extrusion genannt). Kommt zu wenig Material aus der Düse, liegt das daran, dass entweder nicht genug Material in den Schmelzraum gelangt oder nicht genug aus diesem herauskommt. Hierfür gibt es wiederum mehrere Gründe.

Einer der Gründe ist eine zu kalte Düse, sodass das Filament nicht ausreichend aufgeschmolzen wird. Die optimale Schmelztemperatur ist materialabhängig und wird in der Regel von den Herstellern auf der Filamentrolle angegeben. Über die Druckparameter kann die Düsentemperatur noch während des Druckes angepasst werden (Beschreibung in Kapitel 2).

Ein weiterer Grund kann in der Materialzuführung liegen. Das Rädchen in der Vorschubeinheit presst sich an das Filament und durch die Drehung des Rädchens (angetrieben durch einen Motor) wird das Filament durch das Filamentführungsrohr zur Düse transportiert. Wenn nun das Filament auf der Filamentrolle zu eng aufgewickelt ist oder sich verknotet hat, dann ist die Reibung zu hoch und die Anpresskraft des Rädchens in der Vorschubeinheit reicht nicht aus, um das Filament weiter zu transportieren. Es sollte also immer darauf geachtet werden, dass das Filament gut von der Rolle ablaufen kann. Wenn das Filament aufgrund seiner Lagerung zu viel Luftfeuchtigkeit aufgenommen hat und dadurch weich geworden ist, kann die Vorschubeinheit ebenfalls zu wenig Kraft übertragen. Einmal ausgepacktes Filament sollte also schnellstmöglich aufgebraucht und feuchtigkeitsgeschützt aufbewahrt werden. Mit der Zeit kann aber auch das Rädchen der Materialzuführeinheit verschmutzen oder verschleifen und somit keine Reibung an dem Filament erzeugen. Ein weiterer Grund dafür, dass nicht genügend Material zur Düse transportiert wird, ist die Wahl des falschen Filamentdurchmessers für den Druck. Die Slicingsoftware berechnet basierend auf den Filamentdurchmesser den entsprechenden Materialvorschub. Wurde hier mit einem Filamentdurchmesser von 3 mm gerechnet, aber ein nur ein Durchmesser von 2,8 mm verwendet, wird permanent mit zu wenig Material gedruckt.

Wenn zwar ausreichend Material zur Düse transportiert wird, aus dieser aber dennoch zu wenig herauskommt, liegt das meistens an einer verstopften Düse. In der Ultimaker 2 Go Bedienungsanleitung (s. Ultimaker 2015) erfahren Sie, wie

Sie in einem solchen Fall vorgehen. Eine häufig verstopfte Düse hat ihre Ursache meist in einem zu geringen Abstand zwischen der Düse und der Konstruktionsplatte. Das aufgeschmolzene Filament hat kaum Platz, um herausgedrückt zu werden, und verstopft die Düse.

Denkbar ist aber auch, dass die Druckgeschwindigkeit zu hoch gewählt wurde und die Düse die benötigte Materialmenge in der erforderlichen Zeit nicht schmelzen kann (vgl. Rattat 2016, S. 223).

**Abbildung 75:** Skipped Layer



Quelle: Eigene Darstellung

#### **8.2.4 Es kommt wenig oder kein Material aus der Düse**

Wenn überhaupt kein Filament aus der Düse kommt, kann das an den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Gründen liegen, aber auch daran, dass das Filament an einer Stelle gebrochen ist und demnach kein neues Filament nachgeführt werden kann. Wenn das Filament tatsächlich an einer Stelle gebrochen ist,

brechen Sie Ihren Druck ab und folgen Sie den Schritten, die nötig sind, um das Filament zu wechseln (Kapitel 2.6).

### **8.2.5 Stromausfall**

Wenn der Strom ausfällt oder jemand aus Versehen den Stecker zieht, lässt sich ein bereits begonnener Druck nicht fortsetzen, da sich der Drucker die Position, an der er vor dem Stromausfall war, nicht „merken“ kann. Wenn der Drucker wieder eingeschaltet ist, bringen Sie die Konstruktionsplatte wieder auf ihre Ausgangsposition, um das bereits gedruckte Material entfernen zu können. Hierzu wählen Sie im Menü *Maintance/Advanced* auf *Lower Buildplate*. Entfernen Sie vorhandenes Material von der Platte und starten den Druck anschließend neu.

### **8.2.6 Filament reicht nicht mehr für den Druck**

Für den Fall, dass das Filament für den bereits begonnenen Druck nicht ausreicht, kann es während des Druckes gewechselt werden. Gehen Sie dabei wie in Kapitel 2.6 beschrieben vor. Dieses Vorgehen ist allerdings nur möglich, wenn Sie die Filamentknappheit noch bemerken. Ist das Filament bereits aufgebraucht, müssen Sie den Druck abbrechen und nach dem Laden von neuem Filament erneut starten.

## **8.3 Weitere Probleme**

Für alle weiteren hier nicht beschriebenen Problemfälle können Sie unter den folgenden Links Lösungen suchen:

- <https://support.3dverkstan.se/article/23-a-visual-ultimaker-troubleshooting-guide>
- <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>
- [http://reprap.org/wiki/Print\\_Troubleshooting\\_Pictorial\\_Guide](http://reprap.org/wiki/Print_Troubleshooting_Pictorial_Guide)

## 9 Weiterführende Informationen

Die folgenden Informationen aus Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 stellen eine Übersicht gängiger 3D-Software, Slicing-Software und Internetlinks, wo Sie beispielsweise 3D-Objekte downloaden können, dar.

### 9.1 Weitere 3D-Software

Die hier aufgelisteten Software-Beispiele stellen nur eine Auswahl dar.

**Tabelle 3:** 3D-Softwareauswahl

Name	Hersteller/Programmierer	Ausrichtung	Preisniveau	Plattform
Sculpting (Bildhauerei-Lösungen)				
Leopoly	Leonar3Do International Inc.	Einsteiger	Freemium	browserbasiert
Sculpt GL	Stéphane Ginier	Fortgeschrittene	kostenlos, Open Source	browserbasiert
Sculptris	Pixologic Inc.	Fortgeschrittene	kostenlos	Windows & MacOS
ZBrush	Pixologic Inc.	Profis	circa \$ 800	Windows & MacOS
Design (Freiform-3D-Modellierung)				
Blender	Stichting Blender Foundation	Fortgeschrittene bis Profis	kostenlos, Open Source	Windows, MacOS, Linux
3ds Max	3ds Max	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
Maya	Autodesk Inc.	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
Cinema 4D	Cinema 4D	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows

Konstruktion (3D-CAD-Lösungen)				
Tinkercad	Autodesk Inc.	Einsteiger	Freemium	browserbasiert
Sketch Up Make	Trimble Navigation Ltd.	Einsteiger bis Fortgeschrittene	kostenlos	Windows & Mac OS
Free CAD	FreeCad Community	Fortgeschrittene	kostenlos, Open Source	Windows, Mac OS, Linux
DesignSpark Mechanical	Electrocomponents plc	Einsteiger bis Fortgeschrittene	kostenlos	Windows
Rhinoceros	Robert McNeel & Associates	Fortgeschrittene bis Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows, Mac OS
Inventor	Autodesk Inc.	Fortgeschrittene bis Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
SolidWorks	Dassault Systèmes	Fortgeschrittene bis Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
Creo	PTC Inc.	Fortgeschrittene bis Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
Solid Edge	Siemens Industry Software GmbH & Co. KG	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
NX	Siemens Industry Software GmbH & Co. KG	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows & Mac OS
CATIA	Dassault Systèmes	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows
Solid Edge Edition für Schule und Studium	Siemens PLM Software	Aufsteiger und Fortgeschrittene	Für Schüler und Studenten kostenlos	Windows
OpenSCAD	Marius Kintel	Fortgeschrittene	Open Source	Windows, Mac OS & Linux
BlocksCAD	BlocksCAD	Einsteiger	Hinführung zu OpenSCAD	browserbasiert

Netfabb	Autodesk	Fortgeschrittene	Für Schüler und Studenten kostenlos	Windows
Meshmixer	Autodesk,	Fortgeschrittene	kostenfrei	Windows, Mac OS
MeshLab	Visual Computing Lab ISTI-CNR	Fortgeschrittene	Open Source	Windows, Mac OS, Linux
<b>Konstruktion (3D-CAD-Lösungen mit Schwerpunkt Architektur)</b>				
Sketch Up Pro	Trimble Navigation Ltd.	Einsteiger bis Fortgeschrittene	ca. \$ 600	Windows & Mac OS
ARCHI CAD	GRAPHISOFT SE	Fortgeschrittene bis Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows & Mac OS
Revit	Autodesk Inc.	Profis	hochpreisig, diverse Versionen	Windows

Quelle: Eigene Darstellung

## 9.2 Slicing-Software

Die hier aufgelisteten Software-Beispiele stellen nur eine Auswahl dar.

**Tabelle 4:** Slicing-Softwareauswahl

Name	Hersteller/ Programmierer	Ausrichtung	Preisniveau	Plattform
Slic3r	Leonar3Do International Inc.	Fortgeschrittene	kostenlos	Windows, Mac OS und Linux
Repetier-host	Firma Hot-World	Fortgeschrittene	kostenlos	Windows, Mac OS und Linux
Cura	Ultimaker	Einsteiger und Fortgeschrittene	kostenlos	Windows, Mac OS und Linux

Quelle: Eigene Darstellung

### 9.3 Internetlinks

Beispiele für Content-Plattformen/Online-Datenbanken für 3D-Modelle:

**Tabelle 5:** Internetlinks

Name	Webseite
3dDinge	<a href="https://www.3ddinge.de/3d-modelle/">https://www.3ddinge.de/3d-modelle/</a>
3D-Warehouse	<a href="https://3dwarehouse.sketchup.com">https://3dwarehouse.sketchup.com</a>
Blendswap	<a href="http://www.blendswap.com/">http://www.blendswap.com/</a>
Endless Forms	<a href="http://endlessforms.com/">http://endlessforms.com/</a>
Free3D	<a href="https://free3d.com/">https://free3d.com/</a>
Freebie 3D Models	<a href="http://tf3dm.com/3d-models">http://tf3dm.com/3d-models</a>
Grabcad	<a href="https://grabcad.com/">https://grabcad.com/</a>
M3D	<a href="https://printm3d.com/downloads">https://printm3d.com/downloads</a>
Pinshape	<a href="https://pinshape.com">https://pinshape.com</a>
Sketchfab	<a href="https://sketchfab.com/">https://sketchfab.com/</a>
Thingiverse	<a href="http://www.thingiverse.com/">http://www.thingiverse.com/</a>
Tinkerccad	<a href="https://www.tinkercad.com/things">https://www.tinkercad.com/things</a>
Traceparts	<a href="http://www.traceparts.com/de/">http://www.traceparts.com/de/</a>
Turbosquid	<a href="http://www.turbosquid.com/">http://www.turbosquid.com/</a>
Viewshape	<a href="https://viewshape.com/">https://viewshape.com/</a>
YouMagine	<a href="https://www.youmagine.com/">https://www.youmagine.com/</a>

Quelle: Eigene Darstellung



## Literaturverzeichnis

- Baldinger, Matthias (2014): Digitales Ersatzteilmanagement mittels 3D-Druck. Ein Einstieg in die Thematik. In: Hubert Biedermann (Hg.): Instandhaltung im Wandel. Industrie 4.0 - Herausforderungen und Lösungen ; 28. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media, S. 97-107.
- Bauer, Dominik; Borchers, Kirsten; Burkert, Torsten; Ciric, Dean; Cooper, Frank; Ensthaler, Jürgen et al. (2016): Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren. 1. Auflage. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Bauernhansl, Thomas (2014): Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 5-35.
- Becker, Klaus-Detlev (2015): Arbeit in der Industrie 4.0 - Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 23-29.
- Berger, Uwe; Hartmann, Andreas; Schmid, Dietmar (2013): Additive Fertigungsverfahren. Rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing. 1. Aufl. Haan-Gruiten: Verl. Europa Lehrmittel.
- Bochum, Ulrich (2015): Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf „Industrie 4.0“. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 31-44.
- Breuninger, Jannis; Becker, Ralf; Wolf, Andreas; Rommel, Steve; Verl, Alexander (2013): Generative Fertigung mit Kunststoffen. Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fastermann, Petra (2012): 3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt. Berlin, Heidelberg: Springer (X.media.press).
- Fastermann, Petra (2014): 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. Berlin: Springer Vieweg (Technik im Fokus).
- Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann (2007): Zum Geleit. In: Hans-Jörg Bullinger und Michael ten Hompel (Hg.): Internet der Dinge. [www.internet-der-dinge.de](http://www.internet-der-dinge.de). Berlin, Heidelberg: Springer, XVIII-XXII.

- FOM Hochschule für Oekonomie & Management (2018): FlexLab<sup>plus</sup> Mobiles Experimentierset zum Themenfeld: Neue Produktionsmethoden. Essen.
- Friedewald, Michael; Raabe, Oliver; Georgieff, Peter; Koch, Daniel J.; Neuhäuser, Peter (2010): Ubiquitäres Computing. Das „Internet der Dinge“ - Grundlagen, Anwendungen, Folgen. Berlin: ed. sigma.
- Gebhardt, Andreas (2014): 3D-Drucken. Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM). München: Hanser.
- Gebhardt, Andreas (2016): Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser.
- Gieseke, Matthias; Albrecht, Daniel; Nölke, Christian; Kaieler, Stefan; Suttman, Oliver; Overmeyer, Ludger (2016): Laserbasierte Technologien. In: Roland Lachmayer, Rene Bastian Lippert und Thomas Fahlbusch (Hg.): 3D-Druck beleuchtet. Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 19-30.
- Gorecky, Dominic; Schmitt, Mathias; Loskyll, Matthias (2014): Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 525-542.
- Hagl, Richard (2015): Das 3D-Druck-Kompendium. Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 89-98.
- Horsch, Florian (2014): 3D-Druck für alle. Der Do-it-yourself-Guide. 2., aktualisierte u. erw. Aufl. München: Hanser.
- Lüder, Arndt (2014): Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 493-507.
- Mathur, Sunita; Weiß, Johannes Michael (2014): Werte durch Wartung. Wie Industrie 4.0 die Instandhaltung verändert und zum Mehrwerttreiber im Unter-

- nehmen wird. In: Hubert Biedermann (Hg.): Instandhaltung im Wandel. Industrie 4.0 - Herausforderungen und Lösungen; 28. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media, S. 143-153.
- Putzinger, Raimund (2016): Das digitalisierte Unternehmen. Zeit für eine neue Managementperspektive. Wien: facultas.
- Rattat, Christian (2016): 3D-Druck für Anspruchsvolle. Mit dem Ultimaker perfekte Werkstücke erstellen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH.
- Roth, Armin (2016): Industrie 4.0 - Hype oder Revolution? In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 1-15.
- Schließmann, Alexander (2017): iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel (Hg.): Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Allgemeine Grundlagen. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 171-200.
- Schlund, Sebastian (2014): Industrie 4.0 - Herausforderungen und Handlungsfelder in der industriellen Produktion. In: Hubert Biedermann (Hg.): Instandhaltung im Wandel. Industrie 4.0 - Herausforderungen und Lösungen; 28. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media, S. 9-22.
- Sendler, Ulrich (2013): Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Siepmann, David (2016): Industrie 4.0 - Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 17-34.
- Szukitsch, Friedrich (2014): Instandhaltung 4.0 aus Sicht der IT - Wo die Reise hingeht. In: Hubert Biedermann (Hg.): Instandhaltung im Wandel. Industrie 4.0 - Herausforderungen und Lösungen; 28. Instandhaltungsforum. Köln: TÜV Media, S. 109-117.
- Ultimaker (2015): Ultimaker<sup>2</sup> Go – The Mighty Mini 3D Printer. User Manual V2.1. Utrecht.

**Internetquellen**

Johnston, Sam (o.J.): CC BY-SA 3.0 unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cloud\\_computing.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cloud_computing.svg) (Zugriff am 04.03.2020)

Filimonova, Guzaliia (2018): Internet of Things unter: <https://www.istockphoto.com/de/vektor/internet-der-dinge-gm918091260-252557968> (Zugriff am 04.03.2020)

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Technik unter: [https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/105/KLP\\_GOSt\\_Technik.pdf](https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/105/KLP_GOSt_Technik.pdf) (Zugriff am 04.03.2020)

Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule des Landes NRW: 3-D-Druck in der Schule. Informationen und Orientierung für den Einstieg in den Unterricht. Online verfügbar unter [http://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/Faecher\\_Seiten/faecheruebergreifend/3D-Druck\\_in\\_der\\_Schule.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/upload/Faecher_Seiten/faecheruebergreifend/3D-Druck_in_der_Schule.pdf) (Zugriff am 04.03.2020)

**Folgende Bände sind bisher in dieser Reihe erschienen:**

**Band 1 (2019)**

Berlak, Joachim / Dietert, Tilko / Götz, Knuth / Kullmer, Gunter / Schafran, Tommy  
Ausgewählte Verfahren zur Optimierung des Ressourceneinsatzes und Flexibilisierung in der Fertigung

ISSN 2628-605X (Print) – ISSN 2628-8184 (eBook)

ISBN 978-3-89275-091-8 (Print) – ISBN 978-3-89275-092-5 (eBook)

ISBN (Print) 978-3-89275-131-1

ISSN (Print) 2628-605X

ISBN (eBook) 978-3-89275-132-8

ISSN (eBook) 2628-8184



Institute of Automation &  
Industrial Management  
FOM University of Applied Sciences

## FOM Hochschule

## iaim

FOM. Die Hochschule. Für Berufstätige.

Die mit bundesweit über 54.000 Studierenden größte private Hochschule Deutschlands führt seit 1993 Studiengänge für Berufstätige durch, die einen staatlich und international anerkannten Hochschulabschluss (Bachelor/Master) erlangen wollen.

Die FOM ist der anwendungsorientierten Forschung verpflichtet und verfolgt das Ziel, adaptionsfähige Lösungen für betriebliche bzw. wirtschaftsnahe oder gesellschaftliche Problemstellungen zu generieren. Dabei spielt die Verzahnung von Forschung und Lehre eine große Rolle: Kongruent zu den Masterprogrammen sind Institute und KompetenzCentren gegründet worden. Sie geben der Hochschule ein fachliches Profil und eröffnen sowohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als auch engagierten Studierenden die Gelegenheit, sich aktiv in den Forschungsdiskurs einzubringen.

Weitere Informationen finden Sie unter [fom.de](http://fom.de)

Das iaim ist ein Forschungsinstitut für die Bereiche Technologie, Ingenieurwissenschaften sowie Industrie- und Produktionsmanagement. Gemeinsam mit seinen Partnern erarbeitet es wissenschaftlich fundierte sowie anwendungsbezogene, innovative Lösungen – dazu zählen z. B.:

- die organisatorisch durchdachte Umsetzung von Industrie 4.0- und Smart Factory-Lösungen,
- die intelligente Vernetzung von Maschinen, Produkten, Infrastrukturen und Menschen in Wertschöpfungsketten und -netzwerken,
- die Einbindung additiver Fertigungsverfahren,
- die Gestaltung von Mensch-Maschine-Interaktionen bei der Nutzung von Robotersystemen
- sowie die Förderung einer zielgruppengerechten Qualifizierung im Bereich zukunftsorientierter Ingenieurwissenschaften.

Im Rahmen von Konferenzbeiträgen, wissenschaftlichen Publikationen, Forschungsvorhaben und Verbundprojekten unterstützt das iaim die Integration technologischer und technologiegetriebener Neuerungen in der unternehmerischen Praxis sowie der Bildung. Gefördert wird auch die wissenschaftliche Weiterentwicklung von Hochschulangehörigen und Kooperationspartnern.

Weitere Informationen finden Sie unter [fom-iaim.de](http://fom-iaim.de)



Im Forschungsblog werden unter dem Titel „FOM forscht“ Beiträge und Interviews rund um aktuelle Forschungsthemen und -aktivitäten der FOM Hochschule veröffentlicht.

Besuchen Sie den Blog unter [fom-blog.de](http://fom-blog.de)