

3D-DRUCK & REPARATUR

Leitfaden für den Einsatz 3D-gedruckter Ersatzteile in der Reparatur

Für Reparierende und
3D-Druck-Begeisterte

3. überarbeitete Auflage

Astrid Lorenzen & Anika Paape
#3dreparieren



3. überarbeitete Auflage Dezember 2020

Die Überarbeitung dieser Broschüre geschah in Kooperation mit dem Runden Tisch Reparatur e.V. Sie wurde gefördert durch den Verbund Offener Werkstätten e.V. und die Deutsche Postcode Lotterie.



2. überarbeitete Auflage September 2018

Diese Broschüre entstand im Rahmen des Projektes »Wiederverwendung durch Reparatur stärken – Potenziale des 3D-Drucks zur Ersatzteilbeschaffung nutzen« des SUSTAINABLE DESIGN CENTER e.V.

Das Projekt und alle Auflagen dieser Broschüre wurden gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Die Mittelbereitstellung erfolgte auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Mehr reparieren, mehr Selbstermächtigung

– mit 3D-gedruckten Ersatzteilen

Einige Inhalte dieser Auflage werden auf dem Blog von 3d-reparieren.de fortgeführt und dort gegebenenfalls auch aktualisiert. Wo das der Fall ist, findet sich ein QR-Code. So wie dieser hier, unter dem alle ergänzenden Artikel dieser Broschüre zu finden sind.



Inhalt

Einleitung 3D-Druck & Reparatur	4
Vorstellung AkteurInnen	6
Fab Labs & Makerspaces	7
Repair Cafés	8
Reparaturbetriebe	10
Stationen der 3D-Reparatur	11
3D-Druck für die Reparatur	12
1 Reparaturdiagnose	18
1.1 Kann ich das drucken?	18
1.2 Soll ich das drucken?	22
2 3D-Dateien	25
2.1 Internet-Plattformen für 3D-Dateien	26
2.2 3D-Modellieren	27
3 3D-Drucken	31
3.1 Wo kann ich drucken?	31
3.2 FDM-Drucken	33
3.3 Filamente	34
4 Nachbearbeitung	35
Fallbeispiele	36
Unternehmens- & Community-Aktivitäten	41
Unternehmensaktivitäten	42
Community-Aktivitäten	44

Aktiv werden	45
Kooperationsmodelle	46
Anwendungsfälle	52
Workshopmaterialien & Anlaufstellen finden	56
Danke	57
Anhang	58
Wie funktioniert 3D-Druck?	59
FDM-Druck im Speziellen	59
Weitere 3D-Druck-Verfahren	62
Toleranzen beim FDM-Druck	66
Sicherheit und Gesundheit	67
3D-Dateiformate	68
Slicer-Programme	69
3D/CAD-Programme	70
Filamenteigenschaften	72
Rechtsfragen	74
Politischer Kontext	77
Linkliste & Anlaufstellen	80
Bildquellen	87

Einleitung

Reparieren statt neu kaufen – Potenziale des 3D-Drucks zur Ersatzteilbeschaffung nutzen

Ressourcenverbrauch & Innovationszyklen

Was früher ein typischer Fall für die Reparatur war, landet heute immer öfter auf dem jährlich wachsenden Berg an Elektroschrott. Und die Lebenszyklen von Haushalts- und Elektrogeräten werden immer kürzer.

Hersteller bringen in immer kürzeren Abständen neue Geräte auf den Markt. Sie versprechen technische Innovationen, bieten tatsächlich aber häufig nur minimale Änderungen, beispielsweise im Styling. Dabei rücken Langlebigkeit und Reparierbarkeit beim Geräteentwurf immer weiter in den Hintergrund.

Aus ökologischer Sicht ist in den meisten Fällen eine möglichst lange Nutzungsdauer grundsätzlich vorteilhaft. Denn die Her- und Bereitstellung jedes neuen Produktes ist mit Ressourcenverbrauch verbunden, zum Beispiel für die Förderung von Rohstoffen, sowie dem Energieaufwand für Produktion und Transporte.

Die Reparatur von Geräten ist trotz ihrer ökologischen Vorteile stark rückläufig. KonsumentInnen entscheiden beim Defekt eines Gerätes auf der Basis von Kosten, Zeit- und Arbeitsaufwand direkt

zwischen Reparatur und Ersatzanschaffung. Diese Entscheidung fällt meist zugunsten eines Neukaufs aus. Reparaturaufträge an einen Handwerksbetrieb scheitern oft an den hohen Lohn- und Ersatzteilkosten. Die Heimreparatur ist Vielen zu zeitaufwendig. Dem gegenüber stehen die geringen Kosten für einen Neukauf, die jedoch nur durch die Auslagerung von Kosten für Umweltverschmutzung, Rohstoffverschwendung und der Ausbeutung von ArbeiterInnen realisierbar sind.

Ansatz & Ziel

Neben der Option einen professionellen Reparaturbetrieb zu beauftragen, haben sich vielerorts Reparatur-Initiativen und Repair Cafés etabliert, die die Reparatur auf nicht kommerzieller Ebene durch ehrenamtliche ReparateurInnen organisieren und so die Reparatur von Geräten ermöglichen, die sonst entsorgt würden.

Bei der professionellen, sowie der Reparatur im privaten Umfeld, stellt die fehlende Verfügbarkeit von Ersatzteilen häufig eine Hürde für eine erfolgreiche Reparatur dar, etwa wenn das entsprechende Ersatzteil gar nicht, nicht mehr oder nur zu überhöhten Preisen zu beschaffen ist. Bei der Beschaffung dieser fehlenden Teile kann eine Koopera-

tion von Reparierenden mit AkteurInnen aus Fab Labs und Makerspaces, als den ExpertInnen in Sachen 3D-Druck, helfen, diese Hürde zu überwinden. In vielen Fällen ist es für Know-how-TrägerInnen aus offenen Werkstätten möglich, ein benötigtes Ersatzteil mittels 3D-Druck kostengünstig und dezentral nachzuproduzieren und wenn nötig sogar umzugestalten. Diese Option der Ersatzteilbeschaffung kann Zeit und Geld sparen. Außerdem werden einige Reparaturen überhaupt erst realisierbar. Der 3D-Druck als neues Werkzeug im Werkzeugkasten der Reparatur hat das Potenzial die Wiederverwendungsquote von Elektrogeräten und Alltagsgegenständen zu steigern. Durch die Reparatur können Neuanschaffungen vermieden und wertvolle Ressourcen geschont werden.

»Die Reparatur-Revolution wird kommen, die Umwelt gibt Ressourcen nicht mehr lange in dem Umfang her, wie wir sie aktu-

ell verschwenden. Wenn die Preise [von Produkten langfristig] steigen, werden sich die VerbraucherInnen, auch die, die nicht sowieso schon bewusst leben, wieder auf die Reparatur besinnen. 3D-Druck ist hier in der Ersatzteilbeschaffung, vor allem bei älteren Geräten, bei denen der Hersteller die Produktion eingestellt hat, eine perfekte Möglichkeit Ersatzteile zu erstellen.«

Alexander Faust, 3d-loewe.de

Diese Broschüre

... soll als ein Praxisleitfaden dienen und richtet sich sowohl an Reparatur-Initiativen und Reparaturbetriebe, als auch an AkteurInnen, die im Bereich 3D-Druck aktiv sind. Ziel ist es, zu inspirieren, die Möglichkeiten und Grenzen des 3D-Drucks für die Reparatur aufzuzeigen und zur aktiven Vernetzung anzuregen. Als Ergebnis soll eine Kultur der Reparatur gefördert werden.

Viel Spaß beim Lesen wünschen ...



Astrid Lorenzen

Industriedesignerin,
Mitinitiatorin von 3d-reparieren.de,
Fab Lab Fabulous St. Pauli,
Mitgründerin FairLötet e.V.



Anika Paape

Industriedesignerin,
Mitinitiatorin von 3d-reparieren.de,
Mitgründerin RepairCafé BüzE,
Vorstand im ökoRAUSCH Think Tank e.V.

Vorstellung AkteurInnen

Wer sind die AkteurInnen?

Für wen ist die 3D-Reparatur interessant?

Wo gibt es Reparatur oder 3D-Druck-Know-how?

Fab Labs & Makerspaces

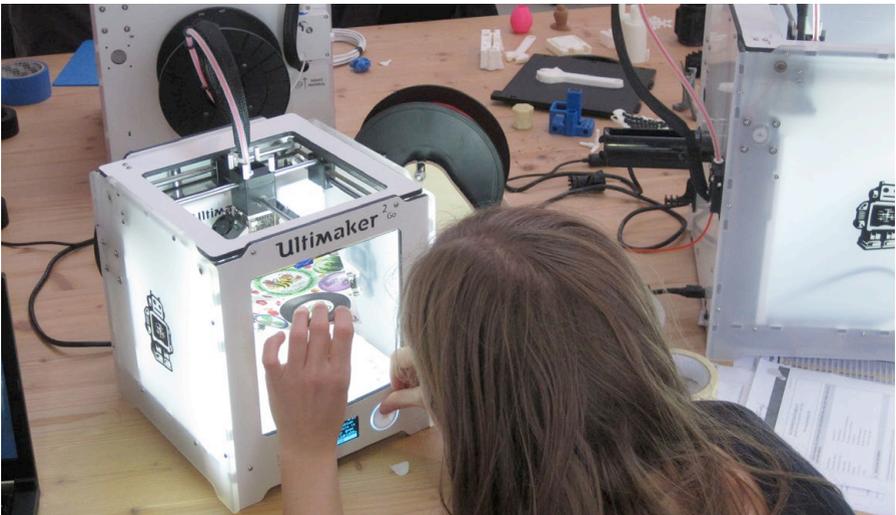
Erfindergeist und Know-how in offenen Werkstätten

Im Folgenden soll es um die Orte der MakerInnen-Bewegung gehen. Aber zunächst: wer sind diese MakerInnen?

»MakerInnen sind Menschen, die werken, gestalten, herstellen, basteln, konstruieren, fabrizieren und reparieren – von jung bis alt – im bürgerlichen, öffentlichen und privaten Sektor – als Hobby oder Beruf, um zu lernen und zu forschen – mit digitalen und analogen Werkzeugen – die ihre einzigartige historische Perspektive, gelebte Erfahrung und Vorstellung der Zukunft einbringen«

Liz Corbin, Institute of Making in London

Und wo trifft man Maker? In »Fab Labs« (fabrication laboratories), »Hackerspaces«, »Makerspaces«... ! Diese Begriffe werden oft synonym verwendet, wenn es um die Räume der Maker-Bewegung geht. Diese **offenen Werkstätten** sind mit digitalen und/oder analogen Werkzeugen ausgestattet und bieten Orte, an die jeder kommen und – fast – alles bauen kann. Es geht um Austausch. Zurzeit gibt es etwa 70 Fab Labs und Makerspaces in Deutschland und viele mehr befinden sich im Aufbau. Weltweit sind es in etwa 150 Ländern um die 2.000. Über die Ausrichtung eines Fab Labs entscheiden die Aktivitäten der



Mitglieder. Die Interessensfelder reichen von Handwerk über Elektronik, Funk, Design, Programmierung, Maschinen-Eigenbauten... bis hin zu 3D-Druck.

»The real opportunity [of fab labs] is to harness the inventive power of the world to locally design and produce solutions to local problems.«

Neil Gershenfeld, Fab Lab Pionier

Makern sind persönliche Motive aus der Do-It-Yourself-Bewegung (DIY) wichtig, etwa Teil einer Gegenkultur zum Konsum und der maschinellen Massenherstellung zu sein. Dabei arbeiten Menschen mit unterschiedlichstem Wissen zusammen an Projekten, um ihre Kenntnisse und ihr Können zu teilen und gemeinsam zu lernen.

Wende dich an Maker, besuch' ein örtliches Fab Lab, das 3D-Drucker beherbergt. Triff dort Leute mit 3D-Druck-Know-how, bei denen du deine Fragen loswerden, dich austauschen und deinen Erfahrungsschatz erweitern – und weitergeben – kannst. Wer weiß, vielleicht triffst du auf andere Reparaturwütige.

Offene Werkstätten in der eigenen Region sind gut über die Internetseite des Verbunds Offener Werkstätten offene-werkstaetten.org/werkstatt-suche zu finden.

Offene Werkstätten, Fab Labs und Co werden im Folgenden als Makerspaces zusammengefasst.

Repair Cafés

Reparatur-Initiativen, Ehrenamt mit Weltverbesserungsambitionen

»Ob Reparaturtreff, Elektronikhospital, Café Kaputt oder Repair Café: Reparatur-Initiativen stiften Menschen aus verschiedenen Einkommens- und Bildungsschichten, Altersstufen und Milieus zu umweltfreundlichem Ungehorsam an. Eine neue Form sozial-ökologischer, zivilgesellschaftlicher Bewegung legt praktisch Hand an Konsum- und Wegwerfpraxen und schraubt am Verständnis dessen, was VerbraucherInnen können, sollen und dürfen.«

Tom Hansing, Linn Quante, Ina Hemmelmann (anstiftung/Reparatur-Initiativen)

In Repair Cafés helfen Menschen mit Erfahrung, Wissen, Reparatur-Know-how oder einfach Tüftelgeist anderen, ihre kaputten Alltagsdinge aus verschiedensten Bereichen zu reparieren. Das Spektrum reicht von der Stereoanlage, die sich ständig selbst abschaltet, über die Kaffeemaschine, die nicht mehr heizt, den wackeligen Küchensstuhl, die hakende



*müssen selber losgelöst von Herstellern
Lebensdauer verlängern können.»*

Prof. Dr. Niko Paech,
Postwachstumsökonomie

Dabei sehen viele ReparateurInnen ihre Tätigkeiten durchaus auch als Bildungsauftrag an die BesucherInnen ihrer Repair Cafés und klären beispielsweise unermüdlich über die Qualitäten verschiedener Geräte auf. Sie stiften Sinn und schaffen Selbstermächtigung. Dieses Potenzial ist riesig: in den Jahren von 2014 bis 2016 hat sich die Anzahl der Repair Cafés in Deutschland verdoppelt, Stand 2020 sind es etwa 1.500!

Gangschaltung am Fahrrad, den abgebrochenen Möbelfuß bis hin zum abgerissenen Jackenknopf oder dem widerpenstigen Reißverschluss. In manchen Repair Cafés gibt es sogar ExpertInnen fürs Küchenmesserschleifen, hier und da gibt es Thementage. Das Know-how in jedem Repair Café steht und fällt mit den ReparateurInnen, die gerade vor Ort sind. Und so hat man manchmal Glück mit dem eigenen Spezialfall, manchmal muss man aber auch noch einmal wiederkommen – und manchmal kommt jede Hilfe zu spät. So oder so geht es nicht um eine gewerbliche Dienstleistung, sondern um eine ehrenamtliche Hilfe zur Selbsthilfe und Initiativen gegen das voreilige Wegwerfen und Neukaufen. Es geht um gelebte Werte: die von Dingen und die von zwischenmenschlichem Austausch und Hilfe.

»Wir müssen als Gesellschaft eine Reparaturkultur aufbauen. [...] NutzerInnen

Du hast 3D-Druck-Know-how? Dann findest du in Repair Cafés praktische Anwendungsfälle in Hülle und Fülle! – Und Menschen, die Lust haben ihr Repertoire an Reparaturfähigkeiten und -möglichkeiten zu erweitern!

In Deutschland sind die meisten Repair Cafés über das Netzwerk Reparatur-Initiativen reparatur-initiativen.de organisiert. Hier lässt sich auch herausfinden, wo in der eigenen Region das nächste Repair Café stattfindet. Internationale Repair Cafés sind auf dieser Internetseite zu finden repaircafe.org/de. Sie werden von der holländischen Stichting Repair Café betrieben.

Im Folgenden sind sämtliche Reparatur-Initiativen in dem Begriff Repair Cafés zusammengefasst.

Reparaturbetriebe

Müllverhinderer im großen Stil

Insgesamt gibt es etwa 10.000 Reparatur- und Handwerksbetriebe, Fachhändler und freie (Meister-) Werkstätten in Deutschland. Vorsichtig geschätzt sind davon rund 3.100 Reparaturbetriebe für sogenannte Weiße Ware (Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, Mikrowellen...), die 2014 gemeinsam gut 1.797.070 Geräte reparierten.

Diese Zahl macht deutlich, wie wichtig Reparaturen für die Umwelt und den Klimaschutz sind. Würden diese Geräte nicht repariert werden, fielen in Deutschland circa 25% mehr Elektroschrott an.



»Die Hersteller liefern oft keine Ersatzteile, und wenn, dann kosten sie häufig fast so viel wie das neue Gerät.«

Detlef Vangerow,
meinmacher.de

Die Reparaturbetriebe können mit jahrzehntelanger Erfahrung und Spezialwerkzeugen aufwarten. Wenn es jedoch um die Versorgung mit Ersatzteilen geht, sind sie meist auf die Hersteller angewiesen. Wenn es allerdings um den 3D-Druck als alternative Ersatzteilbeschaffung geht, gibt es nur wenige, die sich damit beschäftigt haben. Das kann viele Gründe haben. Zunächst ist der Zugang zum 3D-Druck auf den ersten Blick mit viel Wissen verbunden: Wie konstruiere ich? Was für ein 3D-Drucker ist sinnvoll? Brauche ich überhaupt einen eignen 3D-Drucker? Für welche Ersatzteile eignet sich eine 3D-Reparatur? Lässt sich aus 3D-gedruckten Ersatzteilen ein Geschäftsmodell entwickeln? All diese Unsicherheiten können Einstiegshürden sein.

Um sich einen Überblick über die Möglichkeiten zu verschaffen und ein wenig in die Praxis des 3D-Drucks reinzuschnuppern, bieten die meisten Makerspaces 3D-Druck-Einsteigerkurse an. Gelegentlich finden auch Schulungen von örtlichen Handwerkskammern statt.

Stationen der 3D-Reparatur

3D-Druck für die Reparatur

- 1 | Reparaturdiagnose**
- 2 | 3D-Dateien**
- 3 | 3D-Drucken**
- 4 | Nachbearbeitung**

3D-Druck für die Reparatur

Für welche Fälle sind 3D-gedruckte Ersatzteile sinnvoll und wie werde ich überhaupt zur 3D-Reparateurln?

Nicht selten ist ein fehlendes Ersatzteil Schuld, wenn ein Gerät weggeworfen wird – sagen wir ein Toaster, bei dem der Kunststoffhebel gebrochen ist. In diesem Fall findet sich kein Ersatzteil und auch ein Helfer im Repair Café kann wenig tun. Oft wird der Defekt notdürftig repariert und kurze Zeit später doch ein neues Gerät gekauft.

Ähnlich verhält es sich mit älteren Geräten, bei denen ein Ersatzteil nicht mehr zu besorgen ist, sich eine Reparatur aber lohnt, da diese Geräte oft langlebiger konstruiert sind. Ein weiterer typischer Fall sind abgenutzte Zahnräder, die viel beansprucht werden, wie in Brotschneidemaschinen oder Handmixern [Fallbeispiele S. 37]. All diese Geräte könnten durch Ersatzteile aus dem 3D-Drucker repariert werden. Für ReparateurlInnen könnte zusätzlich die Option interessant sein, sich eigene Werkzeuge oder Hilfsmittel für ihre Reparatur herzustellen.

Bevor sich überhaupt eine Aussage über den Defekt machen lässt, tun sich häufig Hürden auf, von denen ReparateurlInnen ein Lied singen können: So stellen sich einem verklippte, verklebte oder mit Spezialschrauben verschlossene Gehäuse in den Weg, die entweder nicht zerstörungsfrei oder gar nicht zu öffnen

sind. Hier erweisen sich die zahlreichen Reparaturanleitungen, die Mitglieder der sehr aktiven Reparier-Gemeinschaft zusammenstellen, als sehr hilfreich.

Reparaturanleitungen

Am Anfang jeder Reparatur steht die Demontage des Gerätes. Eine wichtige Hilfe, gerade bei wenig Reparatuerfahrung bieten Internet-Plattformen mit Demontage- und Reparaturanleitungen: **iFixit** Internetportal für Reparaturanleitungen und Spezialwerkzeuge (Spezialbits) für die Reparatur, sowie einer Reparatur-Community, mittlerweile gibt es dort sogar 3D-Dateien für die Ersatzteile bei den Anleitungen [Linkliste 6].

Teamhack Eine weitere Seite mit umfangreichen Reparaturanleitungen und einem aktiven Forum [Linkliste 7].

Youtube Hier tummeln sich ReparateurlInnen aus der ganzen Welt, die hilfreiche Videos bspw. für Demontageanleitungen zur Verfügung stellen und teilweise zu ganz interessanten Reparatur-Lösungen kommen [Linkliste 92].

Electro Tanya Ungarisches Internetportal für Betriebsanleitungen und einem aktiven Forum. Nicht vom Ungarisch abschrecken lassen, die Seite kann auch auf Englisch umgestellt werden

und über die Suche lässt sich dennoch erstaunlich viel finden [[Linkliste 8](#)].

»This site helps you to save the Earth from electronic waste! Share your knowledge to improve humanity evolution!«

Elektro Tanya

Ersatzteilbeschaffung

Wenn sich nun eine Aussage über die defekte Komponente machen lässt, stellt sich die Frage, ob diese selbst repariert werden kann oder ein Ersatz gefunden werden muss. In den allermeisten Fällen ist letzteres der Fall. Auch hier bieten sich wieder einige Hürden:

Wie genau finde ich eigentlich das passende Ersatzteil? Ist es überhaupt verfügbar? Und wenn nicht, könnte ich es kurzer Hand selbst produzieren? Die letzte Frage soll unter [[1.1 Kann ich das drucken? S. 18](#)] beantwortet werden.

Wenn es schon produzierte Ersatzteile gibt, die beim Hersteller liegen und zu erschwinglichen Preisen verfügbar sind, ist es aus Ressourcensicht meist sinnvoller – häufig auch die schnellste Lösung – erst diese zu nutzen.

Um jedoch ein Ersatzteil bestellen zu können, ist die genaue Kenntnis über Gerätnummer/Typenschild/Seriennummer/PNC Nummer/Modellbezeichnung absolut notwendig. Vielfach wird der Fehler gemacht nur mit der Blendenbezeichnung oder der Bezeichnung auf dem Cover der Bedienungsanleitung zu bestellen. Dies führt in aller Regel zu

Fehlbestellungen. Die Typenbezeichnungen sind beispielsweise auf der Unter- oder Rückseite oder im Innenraum des Gerätes zu finden. Hier sei die sehr umfangreiche Linkliste für den Bezug von Ersatzteilen der anstiftung empfohlen [[Linkliste 15](#)].

Ersatzteile die für den 3D-Druck interessant sind

[Bilder siehe folgende Seite]

Ist also ein **Ersatzteil** nicht mehr oder nur unter unangemessenem Aufwand oder überteuert zu bekommen, lohnt es sich eine 3D-Reparatur in Erwägung zu ziehen. Neben Teilen, die schlicht kaputt gehen, kommen beispielsweise in Frage: **Verschleißteile** wie Zahnräder oder Hebel [[Bilder 1–4](#)], **Verlustteile** wie Klips oder Deckel [[Bilder 7, 8](#)], **Zubehörteile** wie Düsenaufsätze für Staubsaugerrohre oder von Werk her **unterdimensionierte** oder nicht schlaue konstruierte Komponenten [[Bilder 2,9](#)], die gegebenenfalls mit einem 3D-gedruckten Ersatzteil besser gelöst werden können.

Wie nun der Weg vom defekten Ersatzteil zum 3D-gedruckten Ersatzteil im Detail aussehen und wie die 3D-Reparatur Einzug in die Praxis von Reparatur-Initiativen und Makerspaces erhalten kann, wird auf den Seiten dieser Broschüre beleuchtet.

Reparatur

- 1 3D-gedruckte Rolle für die Bodenbürste eines Staubsaugers
- 2 Gebrochene Halterung eines Klappstisches ersetzt durch eine 3D-gedruckte
- 3 Stufenreglerknopf für Toaster
- 4 3D-gedrucktes Antriebszahnrad (grau) für Handmixergetriebe

Hybride

- 5 integrierte Mutter für Gewinde
- 6 3D-gedruckte Rolle, kugelgelagert mit Gummierung aus Fahrradschlauch

Verlustteile

- 7 | 8 Wie Batteriefachdeckel oder Klipp am Autoschlüssel

Verbessern

- 9 Redesign des Einrasthakens eines Fahrradkorbsystems, der Original einrasthaken war zu kurz für den Überstand des Fahrradsattels



1



2



3



4



5

Eine 3D-Reparatur macht besonders Sinn, wenn ...

- das Originalersatzteil (OET) unverhältnismäßig teuer ist.
- das OET gar nicht (mehr) verfügbar ist, etwa weil das Gerät zu alt ist.
- das OET nur als Teil einer größeren Komponente oder eines großen Gehäuses erhältlich ist.
- das OET vom Hersteller nicht zur Verfügung gestellt, sondern nur an ausgewählte Partner verkauft wird.
- eine Funktionsverbesserung des Bauteils gewünscht wird.
- ein individuelles Ersatzteil, wie ein Gehäuseteil, ersetzt werden soll.
- ein Hilfsmittel für die Reparatur, wie eine Halterung, benötigt wird.

Ungeeignet sind jedoch Teile, die ...

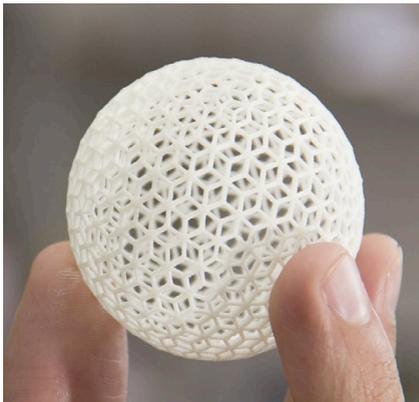
- größer als etwa 25 x 25 x 25 cm sind.
- die ganz besonders schlagzäh und/oder abriebbeständig sein sollen (die meisten Metallteile).
- besonders biegsam sein müssen (z.B. Blattfedern).
- sehr temperaturbeständig sein müssen (über 70°C; außer ABS-ähnliche Filamente).
- glasklar sein sollen.
- eine besonders glatte Oberfläche haben sollen.
- sicherheitsrelevant sind (z.B. Bremsen).
- 100%-ig lebensmittelecht sein müssen.
- sehr filigran und gleichzeitig stabil sein müssen (z.B. Sprungfedern).



In der Fertigung per 3D-Druck sind Konstruktionen und Teilegeometrien möglich, die konventionelle Fertigungsverfahren nicht bieten. Andererseits bringt sie auch fertigungsbedingte Eigenheiten oder Hürden mit sich. Hier eine kurze Übersicht der Vor- und Nachteile des 3D-Drucks:

Vorteile des 3D-Drucks

- Im 3D-Druck sind Bauteile realisierbar, die im Spritzguss nicht aus einem Stück zu fertigen sind.
- Für Kleinserien, Einzelteile oder sehr komplexe Teile ist der 3D-Druck eine günstige Möglichkeit.
- Die geringen Anschaffungs- und Betriebskosten insbesondere von FDM-Druckern ermöglichen Privatleuten und KleinunternehmerInnen die kostengünstige Herstellung eigener Produkte.
- Kosten für den Formbau entfallen.
- Durch eine Neukonstruktion von Teilen in Leichtbauweise kann Material eingespart werden.
- Es können ineinander greifende oder eingeschlossene Teile in einem Vorgang gedruckt werden.



Nachteile des 3D-Drucks

- Die Produktionszeiten im Vergleich zum klassischen Spritzgussverfahren sind deutlich länger.
- Mittels Spritzguss sind in der Großserie sehr günstige Kunststoffteile möglich.
- Bei den meisten 3D-Druck-Verfahren ist eine Nachbearbeitung (Entfernen von Stützgeometrie) nötig.
- Mit Ausnahme von Stereolithografie und Material Jetting (PolyJet) sind Schichtrillen sichtbar.
- Die Stabilität hat eine Grundanfälligkeit in Z-Richtung (Vertikale, mit Ausnahme von SLA).

Mehr Informationen zu den 3D-Druck-Verfahren siehe [\[Anhang Wie funktioniert 3D-Druck? S. 59\]](#).

links filigrane pulvergedruckte Form
unten sichtbare Schichtrillen bei FDM-Druck



Stationen der 3D-Reparatur



1 | Reparaturdiagnose

Ist mein Teil ein Fall für eine 3D-Reparatur?

Bei einem defekten Gerät wird ein kaputtes Ersatzteil als Fehlerquelle erkannt. Nicht selten gehen Teile wie Schalter, Verbindungsteile oder Zahnräder kaputt, die sich gut durch ein 3D-gedrucktes Ersatzteil ersetzen lassen. Nach eigener Recherche wäre das im Schnitt bei jeder Repair-Veranstaltung etwa einmal der Fall.

In der Reparaturdiagnose soll im ersten Teil zunächst die Frage nach der technischen Machbarkeit beantwortet werden und schließlich in [\[1.2 Soll ich](#)

[das drucken? S. 22\]](#) die Frage danach, bei welchen Anwendungsfällen ein 3D-Druck für ein Ersatzteil auch Sinn ergibt.

Da FDM-Drucker am besten für viele zugänglich und flexibel in der Anwendung sind, bieten sich Kunststoffersatzteile besonders für eine 3D-Reparatur an. Bei Reparaturen abseits von Kunststoff lohnt sich ein Blick auf das Angebot von Dienstleistern, die auch Sinter-Verfahren für beispielsweise Metalldrucke anbieten [\[Anhang FDM-Druck S. 61\]](#), [\[3.1 Wo kann ich drucken? S. 31\]](#).

1.1 Kann ich das drucken?

Für Laien kann es manchmal schwierig einzuschätzen sein, ob sich ein Ersatzteil für den 3D-Druck eignet. Neben der Verfügbarkeit einer 3D-Datei sind es auch technische Grenzen des 3D-Drucks, die entscheidend sind.

Sowohl die Fertigungsmethoden, als auch die verwendeten Materialien sind im Moment noch auf sehr unterschiedlichem Niveau und entwickeln sich ständig weiter, sodass oft von Fall zu Fall entschieden werden muss. Als Anhaltspunkte für die technische Machbarkeit

sind hier ein paar Fragen aufgeführt, deren Beantwortung hilfreich ist, um zu einem Ob und einem Wie zu kommen.

Welches Fertigungsverfahren passt zu meinem Projekt?

Auf den folgenden zwei Seiten findet sich eine Übersicht zur Verfahrenswahl nach Funktionalität des zu druckenden Ersatzteils. Für weitere Übersichten zur Verfahrenswahl siehe [\[Linkliste 28–30\]](#) und zur Materialwahl [\[Anhang Filamenteigenschaften S. 72\]](#).

Wie stabil muss mein Teil sein? Ist es vielleicht sicherheitsrelevant?

Aus Kunststoff gedruckte Teile stehen Spritzgussteilen in puncto Stabilität erfahrungsgemäß etwas nach. Auch bei einem gedruckten Ersatzteil, das ein Metallteil ersetzen soll, ist Vorsicht geboten. Gegebenenfalls muss die Geometrie des gedruckten Teils massiver ausfallen, als die des Originalteils. Hierbei sollte darauf geachtet werden, ob im Gehäuseinnenraum des Gerätes genug Platz für ein massiveres Teil ist.

Gerade für sicherheitsrelevante Funktionsteile [[Fallbeispiel S. 37](#)] sollte darauf geachtet werden, dass die Kräfte, die in Z-Richtung aufgenommen werden können, nicht zu groß sind. Gegebenenfalls sollte auf ein anderes Fertigungsverfahren, wie das Laser-Sintern (SLM), gesetzt werden. Auch hier ist zu beachten, dass beispielsweise Metall gesinter-te Teile nicht immer dieselbe Stabilität aufweisen wie ein Metallgussteil, auch hier vor allem in der Z-Richtung.

Kommt mein Ersatzteil mit Lebensmitteln in Kontakt?

Es gibt lebensmittelechte Filamente und Verfahren. Beim FDM ist jedoch eine Zertifizierung nicht möglich. Grund dafür sind Verunreinigungen, die beim Druck selbst auftreten können, und die feinen Rillen in der Objektoberfläche, die schwer zu säubern sind.

Welche Dimensionen hat mein Teil?

Die Ausmaße des Teils dürfen die des Drucker-Bauraums nicht überschreiten.

Gegebenenfalls kann das Teil so konstruiert werden, dass es in mehreren Teilen gedruckt werden kann.

Wie filigran/detailliert ist mein Teil?

Das verfügbare Verfahren muss die Ansprüche an die Detailgenauigkeit erfüllen [[Übersicht folgende Seite](#)]. Beim sehr detailgenauen Stereolithografie-Verfahren wird der Druck ungenauer, je größer das Teil ist. Daher ist es vor allem für kleine, filigrane Teile geeignet.

Wie anspruchsvoll ist die Geometrie?

Für Überhänge ab circa 60° Neigung und größere Löcher werden im FDM-Verfahren Stützstrukturen/Stützgeometrien gedruckt [[2.2 3D-Modellieren S. 27](#)], die später entfernt werden müssen [[4. Nachbearbeitung S. 35](#)]. Ansonsten ist vieles möglich!

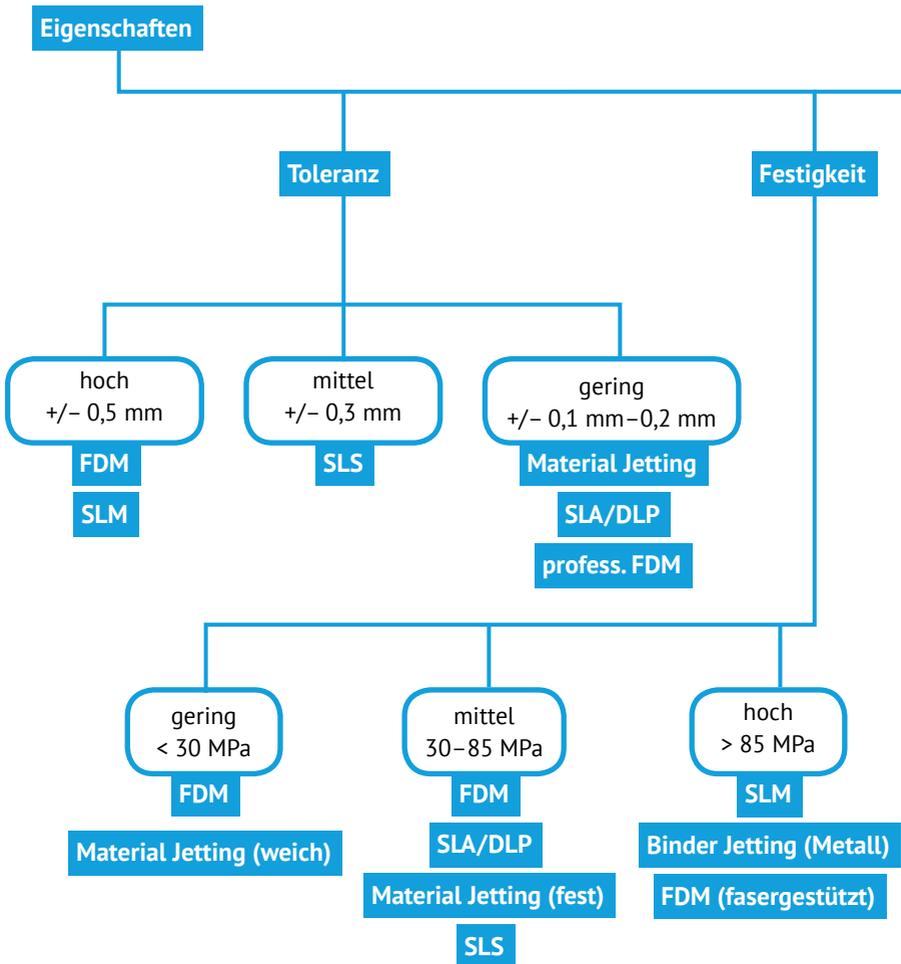


bionische (an der Natur orientierte) Geometrie, per SLA / Stereolithografie gefertigt

Verfahrenswahl nach Funktionalität

Toleranz: Die Abweichungen durch die Auflösung des Gerätes, also die Genauigkeit in XYZ-Richtung. Weitere Abweichungen können durch Materialeigenschaften entstehen [Filamenteigenschaften S. 72] sowie durch

den Export der 3D-Datei, was wichtig für bewegliche Bauteile ist. **Festigkeit:** Steht für die Zugfestigkeit als eine physikalische Vergleichsgröße. Sie bezeichnet die maximale mechanische Zugspannung, die das gedruckte Teil aushält.



Legende

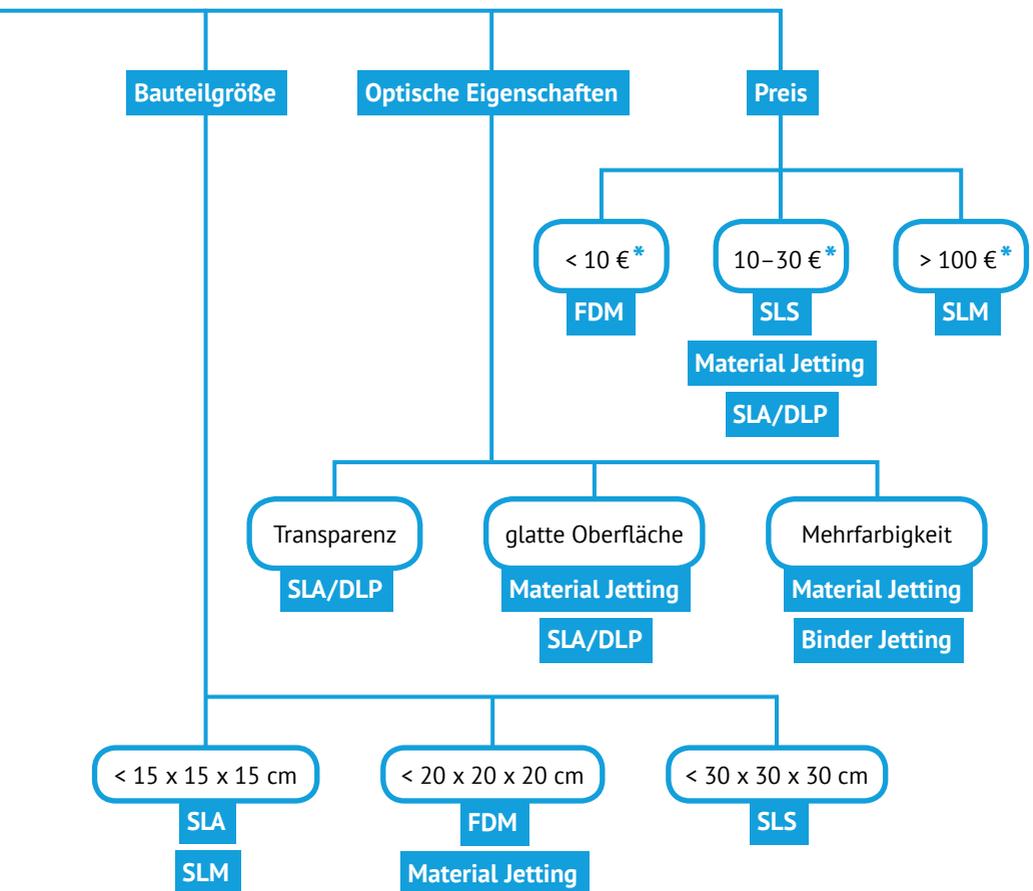
FDM Fused Deposition Modeling/Schmelzschichtverfahren

DLP/SLA Digital Light Processing/Stereolithographie

SLS Selective Laser Sintering / Selektives Laser Sintern

SLM Selective Laser Melting / Selektives Laserschmelzen (Metalldruck)

* Preis für etwa 3 cm³ 3D-gedruckten Volumenkörper



Welche Ansprüche an die Optik/Haptik muss mein Teil erfüllen?

Glatte Oberflächen oder flächige Transparenz wie beim Spritzguss oder Extrudieren von Kunststoffen werden im 3D-Druck noch nicht erreicht [4.

[Nachbearbeitung S. 35](#)]. Die Oberflächenqualität wird stark durch die Wahl der Schichtdicke (besonders bei FDM) bestimmt oder auch die Wahl des Druckverfahrens (siehe Übersicht vorige Seite: glatte Oberfläche mit SLA).

1.2 Soll ich das drucken?

Nachdem die technische Machbarkeit festgestellt wurde, stellt sich die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, das Ersatzteil 3D zu drucken oder ob nicht doch auf den Kauf des Ersatzteils oder gar des ganzen Gerätes ausgewichen werden sollte. Oder ist doch ein anderes Fertigungsverfahren besser geeignet?

[Anwendungsfall 1 S. 52]

Zeitlicher Aufwand

Zeitsensitive Aspekte der 3D-Reparatur sind vor allem das Anfertigen oder Beschaffen der 3D-Dateien, die Druckzeiten, gegebenenfalls die Lieferung und die Nachbearbeitung. Hier fällt besonders ersteres ins Gewicht.

Die Suche nach der 3D-Datei auf einer Plattform kann schnell gehen, kann aber auch langwierig sein und erfolglos bleiben. Wird selbst modelliert, kommt es auf die Komplexität des Bauteils und die Fähigkeiten der/des Modellierenden an. Beim eigenen 3D-Druck muss Zeit für die

Einstellung von Drucker und Filament sowie eventuell Testdrucke einkalkuliert werden. Die Druckzeit selbst hängt von der Größe und Komplexität des Bauteils sowie der Druckqualität ab [[Anhang Slicer-Programme S. 69](#)]. Für große Teile kann ein Druck schon mal 20 Stunden und mehr dauern. Bei Dienstleistern ist, je nach Verfahren und Auslastung, mit einer Produktionszeit von drei bis sieben Tagen zu rechnen. Dazu kommt der Versand, gegebenenfalls aus dem Ausland. Schneller geht es meist bei gemeinschaftlichen 3D-Druck-Dienstleistern, sogenannten 3D-Hubs. Dort ist es möglich, einen Anbieter aus der Region auszuwählen, der häufig schneller liefert. Im besten Falle ist sogar eine persönliche Abholung möglich [[3.1 Wo kann ich drucken? S. 31](#)].

Wirtschaftlicher Aufwand

Was den Preis für einen 3D-Druck angeht, gibt es große Unterschiede zwischen 3D-Druckdienstleistern, gemeinschaftlichen 3D-Hubs oder dem Druck

in einem offenen Makerspace – in dieser Reihenfolge von teurer zu preiswert. Die Anschaffung eines eigenen 3D-Druckers lohnt sich in den meisten Fällen nicht, da bei der 3D-Reparatur so unterschiedliche Anwendungsfälle vorkommen, dass unterschiedliche Materialien und Verfahren nötig sind. Außerdem ist für die reibungslose Bedienung des Gerätes viel Erfahrung nötig.

Ressourcenverbrauch

Reparieren ist in vielen Fällen nicht nur ökonomisch und sozial sinnvoll, sondern auch hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs. Wenn also die Alternative zu einer Reparatur per 3D-gedrucktem Ersatzteil die Neuanschaffung eines Gerätes bedeutet, ist der Nachdruck eines Bauteils in der Regel immer günstiger.

Das Potenzial der Ressourcenschonung des 3D-Drucks liegt auf der Hand. Durch die Produktion vor Ort und nach Bedarf werden Transportwege sowie Lagerhaltung minimiert und Überproduktion vermieden. Im Vergleich zu abtragenden Verfahren (subtraktiven) wie dem Fräsen, fallen beim 3D-Druck keine Späne an, also ist weniger Material nötig. Dazu kommt die Möglichkeit, an der Natur orientierte (bionische) Geometrien zu drucken, die durch ihre effiziente Konstruktion noch mehr Material einsparen, stärker belastbar sind und auch während der Nutzung, beispielsweise in Flugzeugen, zu Treibstoffeinsparungen führen

können. Vergleicht man die Herstellung eines 3D-gedruckten Ersatzteils mit der eines Originalersatzteils per Spritzguss, einem typischen Produktionsverfahren, so ist tendenziell der 3D-Druck energieaufwendiger. In unseren [\[Fallbeispiele S. 36\]](#) ist er, je nach eingesetzter Spritzgussanlage, um den Faktor 10 höher. Für viele Anlagen gilt, je kleiner das Bauteil ist, desto geringer ist der Unterschied im Energieverbrauch im Produktionsprozess. Was den Materialverbrauch angeht, liegt der 3D-Druck jedoch deutlich vorne, da es die Möglichkeit gibt, durch die Reduktion der Modellfüllung leichter zu drucken bei gleicher Stabilität [\[Maßnahmen zur Ressourcenschonung beim FDM-Druck S. 33\]](#). Das fällt gegenüber dem Stromverbrauch stärker ins Gewicht.

Beispiel Plattenspieler Ersatzteil, siehe [\[Fallbeispiel S. 40\]](#): Energieverbrauch, bemessen am Gewicht: 0,001075 - 0,01935 kWh bei einer Spritzgussanlage und 0,0375 kWh beim 3D-Druck auf einem Ultimaker. Material-Verbrauch: 1,6 g (– 27 % im Vergleich zum Spritzgussteil aus 2,15 g Vollmaterial).

In vielen Fällen ist es sinnvoll, ein Ersatzteil am Verwendungsort zu drucken. Allerdings ergibt es keinen Sinn, überall wo ein Ersatzteil benötigt wird, einen 3D-Drucker anzuschaffen und zu betreiben. Dafür gibt es lokale Makerspaces oder Dienstleister [\[3D-Hubs & 3D-Druck-Dienstleister S. 32\]](#). Bei der Beauftragung von internationalen Dienstleistern fällt der Vorteil der Transportwegeinsparung weg.

Ein Nachteil aus Ressourcenperspektive ist die hohe Anzahl an Fehlgedrucken, die gerade im nicht professionellen Bereich üblich ist. Ursachen sind oft, dass Material und Drucker nicht optimal eingestellt sind und jedes 3D-Modell neue Herausforderungen bietet [[Maßnahmen zur Ressourcenschonung beim FDM-Druck S. 33](#)] [[Linkliste 22](#)].

Aus Ressourcensicht macht es in der Regel immer Sinn, zu reparieren statt wegzuschmeißen und neu zu kaufen.

Nach einer Untersuchung der Stiftung Warentest lohnt sich eine Reparatur von Haushaltsgeräten aus Ressourcensicht öfter als für den Geldbeutel [[Linkliste 22](#)]. Bei ressourcenaufwendigen und teuren Geräten wie einem Kaffeevollautomaten lohnt sich eine Reparatur auch preislich. Hier gehen oft Teile am Bohnen- oder Wasserbehälter kaputt, die meist auch 3D-gedruckt werden können.

Ob der 3D-Druck, was den Ressourcenverbrauch angeht, im Vergleich zu einem konventionell gefertigten Ersatzteil sinnvoller ist, hängt von den jeweiligen Geräten, den eingesetzten Verfahren und Materialien sowie den Lieferwegen und den Nutzungen ab, sodass hier im Grunde keine generelle Aussage getroffen werden kann [[Linkliste 99](#)].

Alternative Verfahren

Bei Teilen, die eine extrudierte 2D-Skizze darstellen, lohnt sich ein Blick auf einfachere Fertigungsmethoden als 3D-Druck.

Alternativen am Beispiel Zahnrad

Gerade Zahnräder müssen oft besonders exakt gefertigt sein, da sie passgenau zu einem Gegenstück Kraft übertragen.

1. Einsatz einer computergesteuerten Fräse, die das Modell Schicht für Schicht aus dem massiven Material herausarbeitet. Schnell lässt sich so ein Zahnrad aus Metall oder Kunststoffplatte (z.B. POM: Polyoxymethylen) fertigen – den Zugang zu einer Fräse vorausgesetzt (Makerspaces).
2. Um die Vorteile der Genauigkeit der Fräse mit der Formfreiheit eines 3D-Druckers zu verbinden, gibt es die Möglichkeit einen gefrästen Zahnkranz mit einem gedruckten Verbindungselement zu kombinieren.
3. Ein Lasercutter erzeugt ebenfalls exakte Umrisse. Aus Kunststoffplatten (z.B. Acryl) lassen sich so einfache Zahnräder sehr schnell herstellen.

2 | 3D-Dateien

Herunterladen oder selbst modellieren?

Die Voraussetzung für jeden 3D-Druck ist ein 3D/CAD-Modell, also eine 3D-Datei (Computer Aided Design, rechnerunterstütztes Konstruieren). Hier führen verschiedene Wege zum Ziel:

1. Auf **Internet-Plattformen** werden fertige 3D-Dateien zum Download angeboten. Dort könnte das benötigte Teil schon einmal von jemandem modelliert und für andere zur Verfügung gestellt worden sein [[Linkliste 31-42](#)].
2. Das Teil kann in einem **3D/CAD-Programm** nachkonstruiert werden. Voraussetzung ist, dass die Maße des Bauteils bekannt sind oder etwa von einem baugleichen Teil abgenommen werden können. Manchmal liegt eine technische Zeichnung vor oder es handelt sich um ein Standardbauteil, das sich in der Teilebibliothek eines 3D-Programms oder einem 3D-Normteile-Katalog [[Linkliste 68-71](#)] findet.
3. Mit einem **3D-Scan** kann eine 3D-Datei eines bestehenden Teils erstellt werden. Die so erzeugte Datei muss dann noch in einem 3D-Programm bearbeitet werden, damit sie 3D-druckfähig ist. Dafür ist viel Know-how nötig. Das Scannen von komplexen Funktionsteilen ist bisher nur mit teuren Industriegeräten möglich.

Fazit: Etwas Glück ist nötig, um ein passendes Ersatzteil auf einer Internet-Plattform zu finden. Bei Dateien, die von dort heruntergeladen werden, sind die Konstruktionsfertigkeiten des Erstellers unbekannt und es muss darauf vertraut werden, dass beim Download keine Urheberrechte verletzt wurden. Der Vorteil des Selbst-Modellierens ist, dass man individuelle Teile herstellen kann. Nachteil ist, dass 3D/CAD-Kenntnisse vorhanden sein müssen. **Das Nachbereiten eines Scans ist fast immer kompliziert.**

Außerdem: Es kann nicht schaden, **bei Herstellern direkt Original-3D-Dateien anzufragen**. Selbst bei einer Absage hat man den Bedarf kommuniziert und unterstützt im besten Falle politische Forderungen an Reparierbarkeit [[Anhang Politischer Kontext S. 77](#)].

Es gibt einige Möglichkeiten Hilfe beim 3D-Modellieren zu erhalten: Online-Angebote für Modellieranfragen (beispielsweise [3d-reparieren.de/#matchmaking](#)), soziale Plattformen, Internet-Foren oder die ExpertInnen-Kategorie »3D-Reparatur - frag mich!« der Reparatur-Initiativen. [[Linkliste 16, 17, 64-67](#)].

2.1 Internet-Plattformen für 3D-Dateien

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Plattformen, die verschiedenste 3D-Dateien anbieten. Die Bandbreite der meist von einer Community hochgeladenen 3D-Dateien ist riesig.

Die Auswahl bei der weltweit größten 3D-Dateien-Plattform **Thingiverse** reicht von Werkzeugen, Kunst, Haushaltsgegenständen über 3D-Figuren von Charakteren aus Film/Gaming bis zu Schmuck. Professionelle Portale für KonstrukteurInnen, wie die **B2B Part Community**, bieten 3D-Dateien vieler Teile aus Zuliefererkatalogen an [\[Linkliste 31-42\]](#).

Die größten Hürden der meisten dieser Plattformen sind die Zugänglichkeit, die Durchsuchbarkeit und die Qualität der Dateien: Viele sind ausschließlich Englisch, die Qualität der Druckdaten schwankt sehr, häufig macht die unterschiedlich gute Verschlagwortung/Bezeichnung der Dateien den Unterschied darin, das zu finden, was gesucht wird. Oder es sind branchenspezifische Kenntnisse der Produktbezeichnung nötig.

Mit dem Fokus auf 3D-Dateien von Ersatzteilen sollen hier zwei Plattformen hervorgehoben werden.

MMyMiniFactory
myminifactory.com ist eine kuratierte, Community-basierte 3D-Plattform. Das bedeutet, die 3D-Dateien werden von

den NutzerInnen der Plattform zur Verfügung gestellt UND von myminifactory auf ihre **Qualität geprüft**. Außerdem gibt es eine Extra-Kategorie für »**Ersatzteile**« und zurzeit sogar eine Anfrageoption für die **kostenlose Modellierung von Ersatzteilen** [\[Linkliste 67\]](#). Die Seite bietet zwar eine deutsche Menüführung, die Bezeichnungen der Dateien selbst sind wegen der weltweiten Community meist Englisch.



happy 3D happy3d.fr ist eine ganz besondere

Plattform in der Szene – **ausschließlich für Ersatzteile!** Sie ist unter der Schirmherrschaft des französischen Elektronik- und Haushaltsgeräteherstellers Boulanger entstanden. Auch diese Seite ist kuratiert: Jedes hochgeladene Teil wird auf **Druckbarkeit geprüft**. Durch den direkten Draht zu Boulanger handelt es sich bei den meisten der verfügbaren 3D-Dateien um die Original-CAD-Dateien, die auch für die Produktion des Originalteils verwendet wurden. Diese Dateien aus erster Hand sind qualitativ natürlich unschlagbar. Darüber hinaus ist happy3D der Community gegenüber offen und auf der Plattform finden sich auch 3D-Ersatzteil-Dateien von fremden Herstellern. Eine weitere Besonderheit ist die Zusammenarbeit von happy3D mit »**Freelabster**«, der Plattform für meist lokale 3D-Druck-Dienstleister [\[Linkliste 35, 72-75\]](#).

2.2 3D-Modellieren



Nachmodellieren

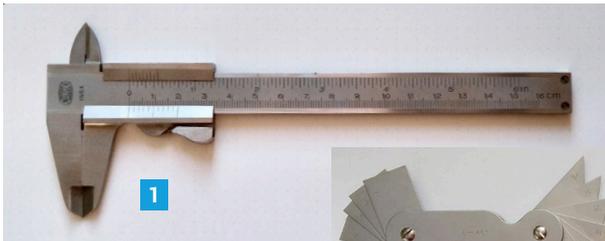
Liegt ein physisches Referenzteil vor, soll nun eine digitale Kopie dessen angefertigt werden (Reverse Engineering: umgekehrt entwickeln). Ist diese einmal erstellt, lässt sie sich jederzeit wieder für den Druck verwenden. Wie originalgetreu dieser Nachbau sein muss, hängt von den Schnittstellen ab, an die das Teil im Gerät verbaut werden soll.

1. Teil ausmessen, ggf. sogar vorher zusammenkleben
2. 2D-Skizze in 3D-Programm erstellen
3. 2D-Skizze zu 3D-Teil extrudieren

Ohne Referenzteil muss im 3D-Programm mit 2D-Skizzen aus Grundformen und Funktionsgeometrien wie Bohrlöcher oder Nuten gestartet werden.

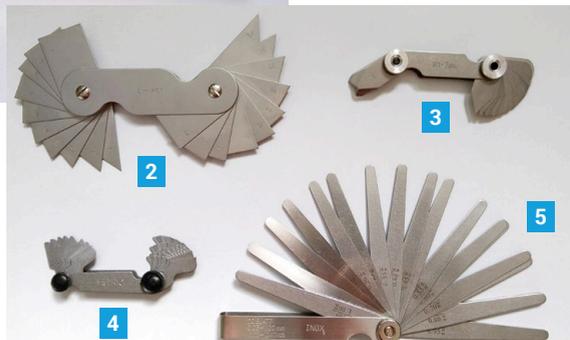
Toleranzen

Faktoren, die zu Abweichungen vom 3D-Druck gegenüber der 3D-Datei führen können, sind Messungenauigkeiten, die Genauigkeit des Druckverfahrens oder das Schrumpfen des Druckmaterials. Die jeweiligen Abweichungen addieren sich. Beim Modellieren sollten daher gewisse Toleranzen einkalkuliert werden, um Fehldrucke zu vermeiden [[Anhang Toleranzen beim FDM-Druck S. 66](#)] [[Linkliste 89, 90](#)].



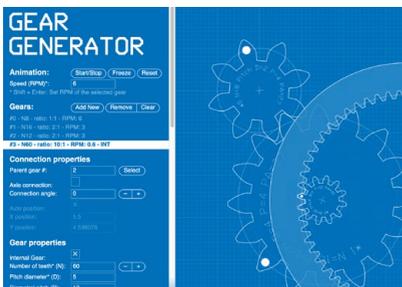
Nützliche Konstruktionshelfer für das Abnehmen von Maßen

- 1 Messschieber
- 2 Winkellehre
- 3 Radienlehre
- 4 Gewindelehre
- 5 Fühlerlehre (zum Abnehmen von Spaltmaßen)



Tipps für die Konstruktion

- Große Objekte oder Teile mit filigranen Elementen können **in mehreren Teilen** gedruckt und anschließend verbunden (gesteckt, verschraubt, geklippt, verklebt) werden.
- Ist nur die Funktion gefordert, weniger die Optik, lassen sich die Ausgangsteile grob auf ihren **funktionalen Bereich** reduziert nachmodellieren.
- Ein Foto oder ein **2D-Scan** von etwa einem klassischen Fotokopierer kann als Basis für eine 2D-Zeichnung dienen, das in ein 3D-Programm importiert und dort nachgezeichnet wird.
- In vielen Programmen gibt es **fertige Grundkörper**, die als Ausgangspunkt verwendet werden können.
- Für Zahnräder und auch einige andere generische Bauteile gibt es **CAD-Konfiguratoren**, die das Modellieren erleichtern. [Linkliste 57–60] In einigen 3D-Programmen, wie Fusion 360, sind sie integriert, für andere wie TinkerCad oder Sketch-Up gibt es Plugins.

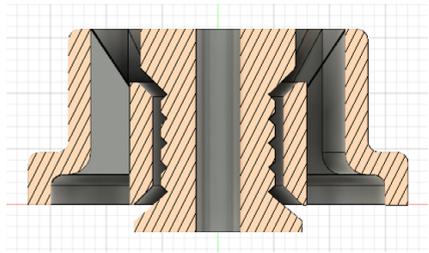
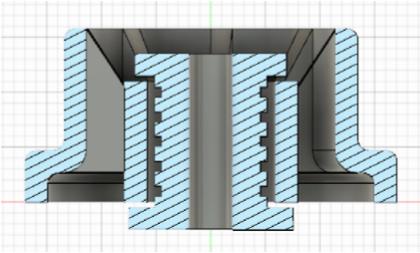


- Für besondere Eigenschaften kann ein Ersatzteil aus einer **Kombination** aus einem Standardteil und einem 3D-gedruckten Teil aufgebaut werden. Zum Beispiel kann ein Gewinde durch eine Stahlmutter mit einem gedruckten Teil verbunden werden, indem sie in das Teil eingelassen wird [Bild 5 S. 14]. Oder es wird ein O-Ring für gummierte Partien nach dem Druck in eine passende Nut eingelegt [Bild unten].



Unterschiedliche Konstruktionsweisen für verschiedene 3D-Druck-Verfahren

[Bilder rechts oben] Es ist hilfreich sich schon beim Konstruieren im Klaren über das gewünschte Druckverfahren zu sein. Die Geschirrspülmaschinenrolle [Fallbeispiel S. 37] ist für das Pulverdruckverfahren [Anhang 3D-Druck-Verfahren, Binder Jetting S. 62] konstruiert, bei dem Überhänge keine Rolle spielen. Soll dieselbe Datei per FDM gedruckt werden, würden die Überhänge mit Stützgeometrien aufgefüllt und ließen sich nach dem Druck durch die ineinandergreifende Konstruktion nicht mehr entfernen. Mit wenigen Anpassungen lässt sich die Rolle dennoch problemlos



Konstruktion der Lauffläche der Innenrolle für verschiedene 3D-Druck-Verfahren
links für Pulverdruck mit 90° Fugen, **rechts** angepasst für FDM-Druck mit 45° Schrägen

auf einem FDM-Drucker drucken: Hinter-scheidungen von 90° Winkeln wurden in 45° Schrägen umkonstruiert, die ohne Stützgeometrien auskommen. Alternativ können Stützstrukturen auch als Teil der Konstruktion beim Design schon mit modelliert werden [\[Linkliste 61\]](#).

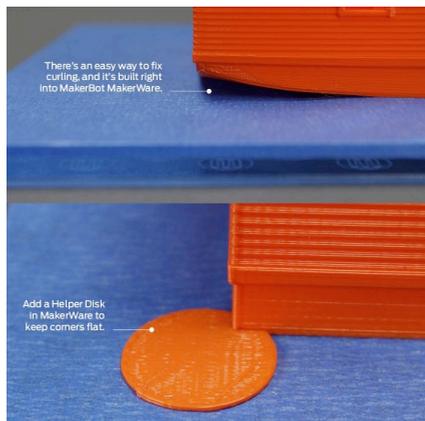
Exportieren für den Druck

Damit der 3D-Drucker die erstellte Datei auch drucken kann:

- Die konstruierten Modelle müssen eine geschlossene Oberfläche besitzen.
- Die Datei muss in einem druckbaren Format vorliegen: STL, OBJ, PLY, STEP, 3DMF, G-Code, G, X3D, teilweise sogar Bilddateien (JPEG, Gif, PNG)...
- Das Druckobjekt weist eine geringere Stabilität in der Z-Achse auf, bei Säulen o. Ä. den Druck ggf. anders ausrichten.
- Dünne, ausladende Elemente, wie die Zinken einer Gabel, neigen zum Verzie-

hen (Warping). Um dem vorzubeugen, kann eine »Opferform« ergänzt werden, die nach dem Druck entfernt wird. Diese würde zum Beispiel die Enden der Zinken verbinden und Kontakt zur Druckplatte haben [\[Bild unten\]](#).

Bei Problemen beim Druck siehe ausführliche »Troubleshooting Guides«
[\[Linkliste 95-97\]](#).



Warping Verziehen des Druckobjektes, häufig aufgrund unregelmäßigen Abkühlens mit der Folge, dass es sich am Rand vom Boden löst. Hier gelöst durch eine sog. Helper Disk.

3D-Daten teilen

Das am häufigsten auf 3D-Plattformen zu findende Dateiformat ist (noch) das STL-Format: Dieses Format ist ein Dinosaurier unter den CAD-Dateiformaten und – da es kein Volumenmodell enthält, sondern nur dessen Oberfläche in Form von vielen kleinen Dreiecken beschreibt – nicht gut geeignet, um Veränderungen daran vorzunehmen.

STEP-Formate hingegen speichern Volumenmodelle ab und lassen sich besser weiterverarbeiten.

Ein weiteres 3D-Dateiformat, das einen Blick wert ist, ist das 3MF-Format. Es ist ein relativ neuer Standard, der von mehreren Partnern aus der Industrie für additive Verfahren entwickelt wurde und open source zur Verfügung steht. Er ist noch nicht sehr verbreitet, sollte aber in Zukunft an Bedeutung gewinnen und dann auch von den meisten 3D/CAD-Programmen gut bearbeitbar sein [\[Anhang 3D-Dateiformate S. 68\]](#) [\[Linkliste 66\]](#).

Wenn du ein Ersatzteil selbst modelliert hast, stelle es doch auf einer Teileplattform mit den entsprechenden Schlagworten auch anderen zur Verfügung! Achte dabei darauf, dass du keine Rechte Dritter verletzt. [\[Anhang Rechtsfragen S. 74\]](#) Wenn es dir recht ist, dass andere dein Modell für ihre Zwecke anpassen, teile dein Ersatzteil auch in einem leicht bearbeitbaren Dateiformat.

3 | 3D-Drucken

Brauche ich einen eigenen 3D-Drucker?

Eine Entscheidungshilfe, welches 3D-Druck-Fertigungsverfahren für den jeweiligen Fall sinnvoll ist, gibt es unter [\[1.1 Kann ich das drucken? S. 18\]](#). Bei der Entscheidung darüber, wo die 3D-Datei gedruckt werden soll, sollte aus Ressourcensicht nach Möglichkeit ein

gemeinschaftlich genutzter 3D-Drucker in einem Makerspace oder ein lokaler 3D-Druck-Anbieter von einer Hub-Plattform gewählt werden. Sollte ein exotisches Verfahren oder Material nötig werden, ist ein großer 3D-Druck-Dienstleister meist die einzige Alternative.

3.1 Wo kann ich drucken?

Makerspaces

Die Ausstattung der Makerspaces variiert stark. Meist gibt es mindestens einen FDM-Drucker. Immer öfter finden sich dort auch SLA-Geräte, ob als Eigenbau oder Einsteigermodell. Einige Makerspaces, die öffentlich oder privat gefördert sind, beispielsweise weil sie an eine Uni angegliedert sind, können mit einer professionellen Ausstattung aufwarten.

Ob du eine Einführung oder »nur mal eben« ein Teil ausdrucken möchtest, tritt am besten persönlich in Kontakt. Bedenke: Makerspaces und Fab Labs sind keine Dienstleister. MakerInnen, die dich dort unterstützen, machen das meist unentgeltlich in ihrer Freizeit.

Mittlerweile gibt es in der ein oder anderen Stadtbibliothek 3D-Drucker, die Interessierten zur Verfügung stehen. Um die Geräte eigenständig bedienen zu dürfen, ist in vielen Makerspaces eine Mitgliedschaft und ein Einführungskurs nötig. Die Regelungen sind unterschiedlich, ebenso die Art der Abrechnung. Für den 3D-Druck selbst berechnen Makerspaces meist einen recht moderaten Preis. Beispielsweise kann pro verbrauchtem Material (z.B. 0,30 ct/cm³, inkl. laufender Kosten), pro Druckzeit (3 €/Stunde) oder auf Spendenbasis abgerechnet werden oder der Verbrauch des Druckers wird auf alle Mitglieder umgelegt. [\[Nächstgelegenen Makerspace finden: Linkliste 1–3\]](#). Ein großer Vorteil bei Makerspaces ist, dass hier die 3D-Druck-Community mit Know-how vor Ort ist und der 3D-Druck als Pro-

zess gegenseitigen Lernens stattfindet. Neben dem Druck kann sich auch über Konstruktion und Verbesserungen ausgetauscht werden.

3D-Hubs & 3D-Druck-Dienstleister

Die Anzahl der 3D-Druck-Dienstleister auf dem Markt wächst stetig [[Linkliste 72–80](#)]. Hier sollen exemplarisch einige vorgestellt werden.

Freelabster ist ein sogenannter **3D-Hub**: eine Plattform zur Vermittlung lokaler 3D-Druck-Dienstleister. Hier können sich kleine und mittlere gewerbliche 3D-Druckende anmelden, die ihre Leistung anbieten und Teil der Community werden möchten. Die 3D-Drucker werden oft in den heimischen vier Wänden betrieben. Das Schöne an einer gemeinschaftlichen Plattform ist die persönliche Komponente: Nach dem Hochladen der 3D-Datei und den Angaben zum gewünschten Material, werden die Daten automatisch auf Fehler getestet. Dann melden sich meist nach kurzer Zeit AnbieterInnen, die einem den 3D-Druck des Modells zu ihren Konditionen (Druck- und Versandkosten, Lieferzeit) anbieten. Dabei kann es vorkommen, dass die ExpertInnen einem aufgrund ihrer Erfahrung ein anderes Material oder Druckverfahren vorschlagen.

Weitere Plattformen, die ein Netzwerk von kleinen 3D-Druck-Dienstleistern bieten, sind **3D Hubs** und **MakeXYZ**.

Shapeways und **i.materialise** zählen zu den großen 3D-Druck-Dienstleistern, die eine umfangreiche Palette an Materialien und Verfahren anbieten. Nach dem Hochladen wird die 3D-Datei zunächst automatisch auf Druckbarkeit geprüft und eine Preisvorschau angezeigt. Bei Shapeways wird die Datei vor dem 3D-Druck zusätzlich manuell geprüft. Beide liefern, wie auch einige Hubs, eine umfangreiche Wissensbasis mit Materialbeschreibungen und Datenblättern, Videos von Fertigungsprozessen und hilfreiche Infos zum Konstruieren für den 3D-Druck. Beispielsweise finden sich dort Angaben zur Bauraumgröße des jeweiligen Druckers, Mindestwandstärken, Toleranzen und vieles mehr. Beide Internetseiten bieten Tutorials, die einem dabei helfen, sich an die Technologie heranzutasten. Darüber hinaus kann der eigene Entwurf anderen in einem Shop zum Kauf angeboten werden oder jemand für einen 3D-Konstruktionsauftrag engagiert werden. Eine Besonderheit bei Shapeways ist, dass die Materialien nach ihren Eigenschaften bezeichnet sind: hinter »Strong & Flexible Plastic« verbirgt sich beispielsweise ein Nylon, hinter »Frosted Detail« ein Acryl.

i.materialise sitzt in Belgien, Shapeways ist ein amerikanisches Unternehmen mit Standorten in den USA und Eindhoven, von wo aus die 3D-Modelle innerhalb Europas verschickt werden.

Qualitätssicherung

Der Vorteil größerer 3D-Druck-Dienstleister ist der Datencheck, der hilft

Fehlgedruckte zu reduzieren. Bei 3D-Hubs, die keinen manuellen Datencheck bieten, kann das Feedback der jeweiligen 3D-Druck-Dienstleister eine gute Orientierung bieten. Neben der Frage nach der Qualität der Druckdaten (s. 2.1 Internet-Plattformen), stellt sich die Frage nach der Qualitätssicherung auch beim 3D-Druck. Größere Anbieter

sichern die Qualität in den Abläufen durch Personal und einen professionellen Maschinenpark. Bei den Hub-AnbieterInnen und den Makerspaces geht es vor allem um Erfahrungen, die sie mit ihren Geräten gesammelt haben. Denn für viele gilt: die, die ihre Geräte am besten kennen, erzielen auch die besten Druckergebnisse.

3.2 FDM-Drucken

Nachdem eine 3D-Datei vorliegt, soll sie per **FDM-Verfahren** gedruckt werden [Anhang FDM-Druck im Speziellen S. 59]. Dafür wird die druckbare Datei in ein **Slicer-Programm** geladen [Anhang Slicer-Programme S. 69]. Dort wird das 3D-Modell in X-, Y- und Z-Koordinaten umgewandelt und daraus die übereinander gestapelten Bahnen generiert. Auch

Einstellungen zu Schichtdicke, Füllung, Füllungsmuster, Stützmaterial... werden im Slicer-Programm festgelegt. Diese Informationen über die Koordinaten der Schichten und Druckparameter werden in das sogenannte **G-Code-Format** exportiert, per Datenträger (SD-Karte/USB-Stick) oder Netzwerk an den 3D-Drucker übertragen und der Druck gestartet.

Maßnahmen zur Ressourcenschonung beim FDM-Druck

- Filamente mit niedrigerem Schmelzpunkt einsetzen.
- Durch andere Ausrichtung im Bauraum weniger Stützmaterial verbrauchen.
- Fehlgedruckte reduzieren durch sorgfältiges Vorbereiten der 3D-Datei [2.2 3D-Modellieren S. 27] und Testberichte von Anderen berücksichtigen.
- Bei größeren Teilen kann Material gespart werden, indem im Slicer Bereiche mit weniger Füllung festgelegt werden. Die Stabilität bleibt erhalten, wenn die äußere Wandstärke minimal erhöht wird.
- Auf recycelbares und biobasiertes Filament achten: Verbundmaterialien wie Carbon-Compounds lassen sich besonders schlecht recyceln.
- Abfallmaterial von Fehlgedruckten sortenrein sammeln. In einigen Labs wird Filament recycelt, auch wenn dabei durch Verschmutzung nicht die Qualität des Ausgangsmaterials erreicht wird.

Stromspar-Tipps vom Profi

- Ein mit Aerogel isoliertes Druckbett kann Temperaturen bis zu circa 60°C am Druckbett fast ohne Stromverbrauch halten.
- Den Druckkopf mit Silikon und Steinwolle gegen Wärmeverlust isolieren.

Quelle: A. Faust, von 3d-loewe.de



Filamentpalette von 3dk.berlin

3.3 Filamente



Die Vielfalt der Filamente wächst stetig. Um das für das eigene Projekt passende Filament für den FDM-Drucker zu finden, können die Übersichtstabellen von Filamentanbietern hilfreich sein. Dort werden die Filamente in den verschiedensten Materialeigenschaften verglichen [[Anhang Filamenteigenschaften S. 72](#)] [[Linkliste 81–86](#)].

Worin sich Filamente unterscheiden

- **Stabilität**, Dichte, **Flexibilität**
- Beständigkeit/**Härte**

- **Formbeständigkeit**
- **Schrumpfen**
- **Zuverlässigkeit** beim Druck
- **Nachbearbeitung** möglich
- Lebensmittelechtheit
- **Glastemperatur** (bei der ein Polymer in gummiartigen Zustand übergeht)
- Oberfläche, Durchmesser, Farben

Gängige Filament-Kunststoffe (Thermoplaste)

- **PLA (Polymilchsäure)**: bio-basiert, Verpackungen
- **ABS**: Standardkunststoff Haushaltswaren
- **PETG (PET, PETT)**: Wasserflaschen
- **TPU, TPE, TPC**: gummiartig
- **Nylon (Polyamid)**: Textilfasern
- **PC (Polycarbonate)**: Glasersatz, CDs

Neuere Filamente

sind **holzartige**, **keramische**, **sandsteinartige**, **elektrisch** leitfähige, **biobasierte** aus nachwachsenden Rohstoffen wie **Holzabfällen**, **kompostierbare**, **Compounds** mit Carbon- oder Glasfasern.

4 | Nachbearbeitung

Welche Möglichkeiten habe ich beim Finishing?

Viele 3D-gedruckte Objekte weisen Schichtrillen auf, die je nach Material, Schichtdicke und Düsendurchmesser unterschiedlich stark ausfallen. Bei Überhängen oder Löchern werden oft Stützgeometrien mitgedruckt, die nach dem Druck entfernt werden müssen.

Stützgeometrien entfernen

- mit Cutter/Zange/Skalpell
- Tipp: wasserlösliches oder poröses Filament für Stützkonstruktion verwenden, dafür sind zwei Extruder nötig.

Oberfläche bearbeiten

- Möglichkeiten: Polieren/Schleifen/Füllen/Lackieren/Beflocken/Bedrucken/Strahlen/Bedampfen/Galvanisieren → Materialeigenschaften beachten! Es gibt Filamente, die extra fürs Schleifen geeignet sind.
- Schichtrillen glätten, mit Schleifpapier oder einem Handschleifer
- Schichtrillen auffüllen: mit Spachtel/Sprühfüller/Lack, Kompatibilität im Datenblatt des Filaments prüfen
- Schichtrillen von ABS (! funktioniert nur bei ABS) können über Aceton-Dampf geglättet werden. **Dämpfe nicht einatmen!**
- Manche ModelleurInnen glätten Schichtrillen mit Epoxidharz. Laut Eigenangabe gibt es zwar Harze auf dem Markt, die keine flüchtigen organi-

schen Stoffe wie Phthalate oder Phosphate enthalten. Dennoch soll an dieser Stelle keine Empfehlung für diese Anwendung ausgesprochen werden.

Möglichkeiten der Weiterbearbeitung

- Bohren, Fräsen, Kleben, Schmieren (bei beweglichen Teilen)... Auch hier lohnt sich ein Blick auf das Datenblatt des Materials.

Ersatzteil einbauen

Der Nachteil der on-demand Produktion ist, dass Ersatzteile nicht vorgehalten werden müssen und ein zweiter Termin entweder beim Repair Café oder beim Kunden nötig ist, falls beim Einbau des neuen Ersatzteils Hilfe benötigt wird, vor allem bei kritischen Geräten. Obwohl es sich für Reparaturbetriebe sicher lohnen kann, für schlecht verfügbare aber trotzdem häufig gebauchte Teile eine Kleinserie zu drucken und auf Lager zu haben [\[Anwendungsfall 2 S. 54\]](#).



Mit Aceton bedampftes ABS-Teil

FALLBEISPIEL

Rolle für Geschirrkorb einer Spülmaschine

Modell: passend für eine Vielzahl an Geschirrspüler-Modellen

Fall: Diese Rolle war nach einer unachtsamen Handhabung gebrochen.

Originalersatzteil: Diese Rollen sind meist nur im Set erhältlich.

3D-Reparatur: An diesem Beispiel ließ sich perfekt ein Fertigungsmerkmal demonstrieren, das den 3D-Druck maßgeblich von anderen unterscheidet: die Möglichkeit, ineinandergreifende Funktionsteile in einem Schritt zu produzieren. Zu Testzwecken wurde das Teil selbst konstruiert, ist aber in verschiedensten Varianten auch auf Plattformen wie thingiverse.com oder myminifactory.com zu finden.

Schwierigkeit Konstruktion: mittel

Dauer Konstruktion: 1 h

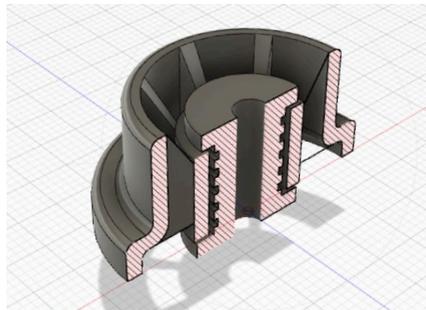
Anforderungen ans Material: wasserfest, chemikalienbeständig, hitzebeständig bis 65 °C

Materialwahl: Bezeichnung beim 3D-Druck-Dienstleister Shapeways »Strong & Flexible Plastics« (Nylon), »dishwasher safe, not watertight, not recyclable, and not food safe, heatproof to 80 °C/176 °F«.

Preisbereich des Materials: mittel

Druck: zu Testzwecken beim 3D-Druckdienstleister Shapeways

Preis: 7,92 €



Schnitt durch das CAD-Modell:

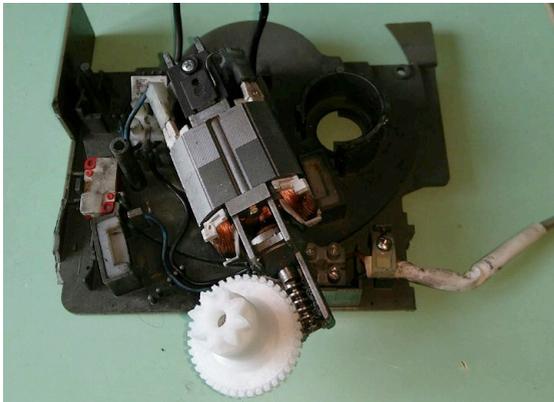
Ineinander greifendes Innen- und Außenrädchen können im selben Prozessschritt gedruckt werden.



vorn das Nachmodellierte Rädchen

FALLBEISPIEL

Getriebezahnrad für Brotschneidemaschine



oben abgenutztes Motorzahnrad
links 3D-reparierter Motorblock

Modell: Graef, 162 Basic aus den 80ern

Fall: Das Getriebezahnrad hatte sich nach jahrzehntelangem Betrieb abgenutzt. Die Reparatur der Brotschneidemaschine im Repariert Café Kassel West war daran gescheitert, dass ein neues Zahnrad als Ersatzteil nicht mehr verfügbar war. Die Antwort des Herstellers:

»Die Motorzahnräder sind nicht mehr lieferbar. Unser Lieferant ist 2007 in Konkurs gegangen und seitdem sind alle Restbestände verkauft worden. Andere Zahnräder sind nicht kompatibel, das Gerät daher nicht reparabel. Die 162 Basic ist auch seit über 20 Jahren nicht mehr im Programm.«

Da über die Motorwelle hohe Kräfte übertragen werden, musste das 3D-gedruckte Ersatzteil eine hohe Festigkeit aufweisen. Hier ist Nylon das Mate-

rial der Wahl – wenn auch nicht das preiswerteste.

3D-Reparatur: Das Originalteil und die Schnittstellen wurden vermessen und darauf hin das Teil nachkonstruiert.

Anspruch Konstruktion: mittel

Dauer Konstruktion: 1,5 h

Anforderungen ans Material: sehr hohe Festigkeit und dauerhafte mechanische Belastung

Materialwahl: Nylon

Preisbereich des Materials: teuer

Materialeinsatz: 11,5 g

Materialpreis: ~0,46 €

Stromverbrauch: ~0,31 kWh (3D-Drucker: Prusa i3 Mk2s, Stromverbrauch ~100 W)

Druckverfahren: FDM, Dienstleister

Druckzeit: 3 h 6 min, hohe Druckqualität bei 70 % Füllung

Preis beim 3D-Druck-Dienstleister des Vertrauens: 20,15 €

FALLBEISPIEL

Bedienhebel für das Schiebedach eines Autos



Modell: Mercedes Benz C-Klasse, Bj. 2009

Fall: Der Bedienhebel/Taster für die Ansteuerung der 3 Positionen des Schiebedachs (öffnen, kippen, schließen) hat zwei kleine Ösen, mit denen er auf das Steuerelement für das Schiebedach in der Armatur aufgeklickt wird. In diesem Falle waren beide Ösen nach acht Jahren Gebrauch abgebrochen.

Die Aktionen Öffnen (Drücken nach oben) und Kippen (Drücken nach hinten) ließen sich auch ohne Bedienhebel bewerkstelligen. Nur Herunterziehen zum Schließen des Schiebedaches war nicht mehr möglich. Behelfsmäßig war dafür ein Bändchen angebracht.

Originalersatzteil: Mercedes verkauft den Bedienhebel nicht einzeln. Auf Nachfrage in einer Vertragswerkstatt muss die komplette Armatur der Innenbeleuchtung als Einheit getauscht werden. Diese kostet 430 €, exkl. Einbau.

3D-Reparatur: Der Bedienhebel wurde ausgemessen und die 3D-Daten im 3D-Programm modelliert. Dabei wurden die abgebrochenen Ösen aus der Erinnerung repliziert. Gegebenenfalls müssen diese nach dem Druck noch etwas aufgebohrt werden.

Anspruch Konstruktion: mittel bis hoch

Dauer Konstruktion: 1,5 h

Anforderungen ans Material: keine besonderen

Materialwahl: ABS, hier ließe sich durch ein Acetondampfbad eine spritzgussähnliche Oberfläche erzielen

Preisbereich des Materials: preiswert

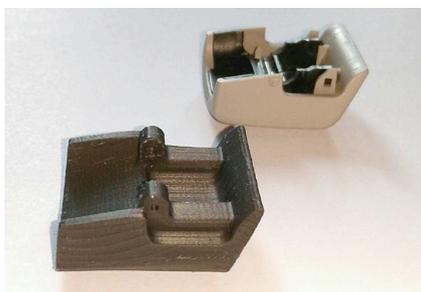
Materialeinsatz: 6 g

Materialpreis: ~0,14 €

Stromverbrauch: ~0,27 kWh (3D-Drucker: Ultimaker 2, Stromverbrauch bei ABS ~150 W)

Druckzeit: 1 h 48 min, hohe Druckqualität bei 80% Füllung

Preis beim 3D-Druck-Dienstleister des Vertrauens: 8,10 €



FALLBEISPIEL

Gasdruckregler für Camping-Gaskocher



unten rechts das Originaldrehrädchen, das als Vorlage für die 3D-Konstruktion verwendet wurde, **oben** zwei 3D-Drucke mit massiveren Wandstärken und verlängerten Griffriellen.

Modell: 0104400, Dt., 1990er, Kombiregler mit zwei Ausgängen zum Anschluss an Kleinflaschen bis max. 14 kg

Fall: Der Gaskocher wurde bereits in den späten 1990ern gekauft und leistete seitdem treue Dienste. Nach über 15 Jahren Gebrauch ist eines der Drehrädchen zerbrochen, mit dem sich der Gasdruck regeln lässt.

Originalersatzteil: Ein Ersatzteil ist von GOK nur in Form einer Kompletteinheit samt Ventil zu bekommen. Einzelne Drehrädchen im Handel nicht erhältlich. Unter Umständen würde der Einsatz einer Zange weiterhelfen. Da es sich allerdings um so ein niederkomplexes Teil handelt, bietet sich eine Reparatur-Lösung mit dem 3D-Drucker geradezu an

und eine umständliche Suche/Versand kann vermieden werden.

3D-Reparatur: Da dieser spezielle Gasdruckregler zwei Ventile hat, konnte das verbleibende, intakte Drehrädchen einfach vermessen werden, um die 3D-Daten im 3D-Programm nachzumodellieren. Um beim Druck die sogenannten Stützgeometrien einzusparen, wurden die Griffriellen bis auf den Boden heruntergezogen. Dies verbessert zusätzlich die Haptik. Außerdem wurde der Innenraum etwas massiver gestaltet als beim Originalteil. Filamentteile können Spritzgussteilen in puncto Stabilität etwas nachstehen. Dies kann durch die Filamentsorte und/oder durch dickere Wandstärken und/oder dichtere Füllung ausgeglichen werden.

Schwierigkeit Konstruktion: leicht

Dauer Konstruktion: 30 min

Anforderungen ans Material: hohe Festigkeit, wärmebeständig

Materialwahl: Karbonfaser/Kohlenstoff

Preisbereich des Materials: teuer

Materialeinsatz: 4,5 g

Materialpreis: ~0,25 €

Stromverbrauch: ~0,18 kWh

(3D-Drucker: BCN3D Sigma, ~250 W Stromverbrauch)

Druckzeit: 42 min, hohe Druckqualität bei 40 % Füllung

Preis beim 3D-Druck-Dienstleister des Vertrauens: 3,85 €

FALLBEISPIEL

Verbindungsteil für ein Plattenspielergehäuse

Modell: 22GF603/03L, Österreich, 1970, tragbar, kann sowohl mit Batterie als auch mit Netzkabel betrieben werden

Fall: Der tragbare Schallplattenspieler aus den 1970ern von der Firma Philips spielt nun Platten in einem Bauwagen. Leider war im Laufe der Jahre ein Verbindungsstück zwischen den mobilen Boxen und dem Gehäuse gebrochen, sodass das Gerät nicht mehr sicher transportiert werden konnte.

Originalersatzteil: Das Ersatzteil mit der Nummer 482250230085 ist nicht mehr verfügbar. Hier die Antwort des Ersatzteilhändlers:

»Sehr geehrte/r ..., das von Ihnen angefragte Ersatzteil oder ein Vergleichsartikel haben wir leider nicht im Lieferprogramm. Leider ist uns auch keine sonstige Bezugsquelle bekannt.«

Das verwundert nicht, denn Ersatzteile über mehrere Jahrzehnte vorrätig zu halten, ist wohl für kaum einen Hersteller realisierbar.

3D-Reparatur: Glücklicher Weise hat der Plattenspieler zwei solcher Verbindungsstücke, sodass das baugleiche intakte Teil vermessen werden konnte, um daraus die 3D-Daten im 3D-Programm zu modellieren. Im örtlichen Fab Lab wurde es mit Hilfe eines FDM-Druckers aus-

gedruckt. Das Teil passte auf Anhieb und sitzt fester als die übrigen Teile.

Schwierigkeit Konstruktion: leicht

Dauer Konstruktion: 20–30 min

Anforderungen ans Material: keine besonderen

Materialwahl: PLA

Preisbereich des Materials: preiswert

Materialeinsatz: 1,6 g (– 27 % im Vergleich zum Spritzgussteil aus 2,15 g Vollmaterial)

Materialpreis: ~0,04 €

Stromverbrauch: ~0,0375 kWh (+ 11,5 % im Vergleich zum Spritzgussteil mit etwa 0,0043 kWh; je nach Maschine 0,001075–0,01935 kWh)

Druckzeit: 14 min, mittlere Druckqualität, 40 % Füllung

Preis: Spende ans Fab Lab



hinten das noch intakte Originalteil des Sets, **vorn** das 3D-gedruckte Ersatzteil

Unternehmens- & Community- Aktivitäten

Unternehmensaktivitäten



Wer erkennt das Potenzial des 3D-Drucks?

Die Vorteile der Ersatzteilproduktion per 3D-Druck liegen für Hersteller auf der Hand: Die Kosten für Lagerhaltung und Logistik entfallen bei einer digitalen Vorhaltung. Ersatzteile können so günstiger werden. Zudem muss nicht vorproduziert werden, Lieferketten werden resilienter, ausgedruckt werden kann dezentral und mögliche Design-Verbesserungen können sofort umgesetzt werden.

In der Automobil- und Luftfahrtindustrie werden schon seit Jahren additiv gefertigte Ersatzteile eingesetzt. **Dienstleister** bieten bereits die Umwandlung der Original-Ersatzteile in 3D-druckfähige

Dateien an, inklusive des 3D-Drucks am benötigten Standort [\[Linkliste 103, 104\]](#). Ein Unternehmen, das oft kurzfristig auf qualitativ hochwertige, individuelle Ersatzteile aus vielen Modell-Generationen zurückgreifen muss, ist die **Deutsche Bahn**. Aufgrund dieses Bedarfs entstand 2016 das geförderte Projekt »Mobility goes Additive« (MAG). MAG ist ein Netzwerk aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und 3D-Druck-Dienstleistern, das den Einsatz des 3D-Drucks in der Produktion durch Erfahrungsaustausch und die gegenseitige Entwicklung von Kompetenzen fördern möchte. Bei der Bahn selbst wird das 3D-Druck-Potenzial bei der Ersatzteilbeschaffung deutlich



© Deutsche Bahn AG / Oliver Lang

»Mobility goes Additive« Projekt der Deutschen Bahn, 3D-Druck einer Kopfstütze für einen Regionalzug

[Linkliste 105]. Ein Partner aus dem MAG Netzwerk ist die **Siemens Mobility GmbH**. Der Siemens Spare Part Services bietet additiv gefertigte Ersatzteile speziell für den Schienenverkehr [Linkliste 106]. Hinter dem Angebot Easy Sparovation Part® verbirgt sich der Service Ersatzteile digital zu lagern und zu verbessern.

In eigener Sache

Bei **Krups**, einer Marke der französischen Groupe SEB, wird additive Fertigung für die Ersatzteilproduktion bei Kunden-Reparaturaufträgen eingesetzt [Linkliste 107]. Das Unternehmen wirbt mit einer Ersatzteilversorgungsgarantie über 10 Jahre – für neuere Produkte.

Für alle

Auf der Homepage von **igus**, dem deutschen Hersteller von beweglichen Kunststoffteilen, können Konfiguratoren, beispielsweise für Zahnräder und Profillrollen, genutzt werden. Die erstellten 3D/CAD-Modelle können zum Weiterbearbeiten oder direkten 3D-Drucken heruntergeladen werden [Linkliste 60]. Das Unternehmen unterstützt Aktivitäten zur Vernetzung der AkteurlInnen aus Reparatur und offenen Werkstätten durch die Reparatur per 3D-Druck. Dazu zählt der Aufbau einer Anlaufstelle für Reparaturfälle auf 3d-reparieren.de und die Unterstützung des EU-Projektes SHAREPAIR [Linkliste 108].

Der Hausgerätehersteller **Miele** hat unter dem Namen »3D4U« eine kleine Sammlung von 3D-druckbaren Zubehöerteilen für Miele Geräte veröffentlicht. Darunter

sind Staubsauger- und Bohraufsätze. Die für den FDM-Druck optimierten Teile können kostenlos über Thingiverse heruntergeladen werden [Linkliste 109].

Ein Pionier

Der französische Hersteller von Haushaltsgeräten und Lieferant von Ersatzteilen **Boulanger** hat mit seiner Plattform für 3D-Ersatzteildaten **happy 3D** ein großes Stück zur Stärkung der 3D-Reparatur beigetragen [2.1 Internet-Plattformen für 3D-Dateien S. 26]. Dort werden nicht nur Teile eigener Produkte, sondern auch passende für Geräte anderer Hersteller zum Download bereitgestellt. Vor dem Upload wird die Qualität der 3D-Datei durch einen Probedruck sichergestellt. Zudem finden sich auf der Plattform keine Teile, die schwer einzubauen oder sicherheitsrelevant sind oder in Kontakt mit Nahrungsmitteln gelangen. Dem eigenen Ersatzteilgeschäft wird, laut Boulanger, durch die Plattform keine Konkurrenz gemacht, da auf dem Wege dem Kunden auch nicht profitable und aus dem Sortiment genommene Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden können.

»Für die Bekämpfung von Veralterung sollte jeder in der Lage sein Hightechprodukt zu reparieren. Es ist in diesem Sinne, dass Boulanger beschloss, einen noch nie dagewesenen Open-Source-Ansatz für Ersatzteile zu starten: die happy3D Plattform. Diese Weltneuheit wird von Boulanger eingeführt mit dem Wunsch, dass sich große internationale Marken anschließen,«

Gaële Wuilmet, Director of Innovation & Services Boulanger [Linkliste 110]

Nachahmer gesucht!

Bisher bleibt Boulanger einziger Frontrunner in dem Bereich. Leider gibt es noch keine weiteren Unternehmen, die so entschlossen nachgezogen sind. Als Hürden für das freie Zurverfügungstellen von 3D-druckbaren Ersatzteildateien werden Bedenken wegen der Haftung, Qualitätssicherung und wirtschaftliche Einbußen beim Ersatzteilgeschäft geäußert. Außerdem gebe es von älteren

Modellen oft keine technischen Pläne mehr. Dabei könnten Unternehmen mit relativ geringem Aufwand das langfristige Vertrauen ihrer Kunden gewinnen, indem sie 3D-druckfähige Ersatzteildaten für ihre Geräten zur Verfügung stellen. Zudem verpflichten Gesetze Unternehmen immer öfter zu einer längeren Vorhaltung von Ersatzteilen, die damit auch vereinfacht würde.

Community-Aktivität

Was passieren kann, wenn MakerInnen sich zusammenschließen

Im Kampf gegen die Folgen des Anfang 2020 ausgebrochenen SARS-Cov-2-Virus hat sich das Potenzial gezeigt, das in der MakerInnen-Bewegung steckt.

Als Folge der Pandemie kam es zu Engpässen in der Lieferung von Ersatzteilen bei medizinischem Equipment. Im März 2020 hat der Makerspace Hammer-time Kassel zu der bundesweiten Aktion »Maker vs. Virus« aufgerufen, bei der sich etwa 7.000 MakerInnen beteiligten. Es ging darum die vorhandenen Produktionskapazitäten und Know-how in den Dienst des Kampfs gegen das SARS-Virus zu stellen. FabLabs und Makerspaces, Chaos Computer Clubs, Schulen und universitäre Werkstätten, Institutionen auf lokaler, Landes- und Bundesebene sowie

Unternehmen und freie MakerInnen in circa 180 lokalen/regionalen Hubs bildeten ein Netzwerk. Ziel war es beispielsweise von Kliniken und Pflegeeinrichtungen dringend benötigte Teile, neben Ersatzteilen für medizinische Geräte auch Equipment wie Faceshields, für den 3D-Druck und Lasercutter zu entwerfen und zu produzieren. Erreichbar war die Soforthilfe über eine Website mit einer Karte [\[Linkliste 112\]](#). Koordiniert wurden die HelferInnen in vielen regionalen Slack-Channels.

Die Corona-Krise hat MakerInnen, Unternehmen, 3D-Drucker-Hersteller und -Dienstleister zusammen gebracht und rechtliche Ausnahmesituationen (z.B. das Copyright betreffend) möglich gemacht.

Aktiv werden

Kooperationsmodelle

Anwendungsfälle

Workshopmaterialien

AkteurInnen und Anlaufstellen finden

Danke

Kooperationsmodelle

Wie können 3D-Druck- und Reparatur-AkteurInnen am besten zusammenarbeiten?

Eine Kooperation zwischen AkteurInnen stellt eine Zusammenarbeit mit gemeinsamen Zielen dar und bietet beiden Parteien einen Vorteil. Dafür bringen beide ihre Fähigkeiten und Ressourcen ein.

Auf das Ziel hin, den 3D-Druck für die Produktion von Ersatzteilen einzusetzen, kooperieren Reparaturbetriebe oder Repair Cafés, die über Reparatur-Know-how verfügen, mit Makerspaces oder Dienstleistern, die 3D-Modellier-Know-how, 3D-Druck-Kenntnisse, 3D-Drucker und teilweise Räumlichkeiten mitbringen. Bei der Reparatur profitieren die AkteurInnen jeweils auf unterschiedliche Weise.

Auch wenn es in der jeweiligen Motivation Überschneidungen gibt, so wie das Lösen von Problemstellungen in der Gemeinschaft in sowohl Repair Cafés als auch Makerspaces oder die Selbstermächtigung, gibt es Unterschiede, die einer Vernetzung im Wege stehen können. In Makerspaces entstehen meist neue Dinge mit Hilfe von Hightechwerk-

zeugen, während bei der Reparatur Altes wieder funktionstüchtig gemacht wird. Die Ressourcenschonung spielt bei fast allen Repair Cafés und vielen Reparaturbetrieben eine Rolle, jedoch nicht in allen Makerspaces.

Bei den Reparaturbetrieben kommt der Anspruch an die Wirtschaftlichkeit hinzu, daher ist für diese vor allem die Ressource Zeit ausschlaggebend, da die Personalkosten einen wesentlichen Posten bei der professionellen Reparatur darstellen.

Im Sinne der Ressourcenschonung sind Modelle anzustreben, die mit gemeinschaftlich genutzten 3D-Druckern funktionieren und bei denen durch eine professionelle Bedienung wenig Fehldrucke entstehen. Außerdem sind lokale Modelle mit kurzen Transport- und Anfahrtswegen zu bevorzugen. Zudem ist es wichtig, erlerntes Wissen anderen AkteurInnen zur Verfügung zu stellen, um die Nutzung attraktiver zu gestalten und zukünftige Fehldrucke so gering wie möglich zu halten.

Kooperationen ...

... zwischen Makerspaces und Repair Cafés

Räumliche Überschneidung

Am günstigsten ist eine Konstellation, bei der das Repair Café direkt in den Räumen eines Makerspaces stattfindet und Mitglieder des Spaces mit 3D-Modellier- und 3D-Druck-Kenntnissen als HelferInnen an der Veranstaltung teilnehmen. So können einfache Teile von Fachkundigen modelliert und vor Ort ausgedruckt werden. Von einigen AkteurInnen wird dieses Modell bereits praktiziert, wie im GarageLab in Düsseldorf und dem Eigenbaukombinat in Halle.

Personelle Überschneidung

Umgekehrt gibt es das Modell, dass Mitglieder von Makerspaces sich in Repair Cafés engagieren und ihren 3D-Drucker mitbringen. So kann vor Ort modelliert und gedruckt werden, wie es im Repair Café in Lünen oder im Repair Café Habichtswald bei Kassel bereits passiert. Das monatlich stattfindende, vom Repair Café initiierte 3D-Druck Repair Café in Berlin vereint AkteurInnen aus beiden Bereichen. Für größere Teile mit Druckzeiten über mehrere Stunden müssen individuelle Lösungen gefunden werden, beispielsweise ein späterer Abholtermin.

Neben klassischen Repair Cafés könnten vonseiten eines Makerspaces Reparaturformate veranstaltet werden, die auf die Interessen von Mitgliedern eingehen. Beispielsweise mit dem Fokus auf ein gemeinschaftliches Re-Design einzelner

Ersatzteile. So könnten 3D-gedruckte Ersatzteile entstehen, die möglicherweise unterdimensionierten Originalteilen überlegen sind oder eine bessere Funktionalität bieten. Dabei könnten beide AkteurInnen ihr Know-how einbringen.

Workshops und Thementage

... an denen gebündelte Anfragen verschiedener Repair Cafés an einem Open Repair Lab Day bearbeitet werden, wären ein mögliches Veranstaltungsformat.

Für interessierte Repair Café HelferInnen, die sich das nötige Modellier und/ oder 3D-Druck-Know-how aneignen möchten, könnten im Makerspace spezielle Workshops für ReparaturInnen stattfinden: »3D-Konstruktion für Ersatzteile« oder »3D-Druck für Ersatzteile – Best Practices«. Zudem kann mit Hilfe des im Rahmen des Projektes entstandenen Workshopkonzeptes eine Einführung für Interessierte zum Thema »3D-Druck & Reparatur« organisiert werden [[Workshopmaterialien... S. 56](#)].

Vorteile für die AkteurInnen

Für Makerspaces kann eine Kooperation mit einer Reparatur-Initiative mehr Aufmerksamkeit einer neuen Zielgruppe generieren, was langfristig zu mehr Mitgliedern führen kann. Die 3D-Reparatur stellt eine sinnvolle Anwendung des 3D-Drucks als Beitrag zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Ent-

wicklung dar, was ein ausdrückliches Ziel einiger Makerspaces ist. Ein Austausch mit der lokalen Reparaturszene kann zu beiderseitigem Wissenstransfer führen.

Für Repair Cafés gibt ein Austausch mit Makerspaces die Möglichkeit, Know-how im Bereich 3D-Druck zu erlangen und den Kreis Interessierter für die Reparatur zu erweitern. Gemeinsam kommt man zu neuen technischen Lösungen. Durch die Option, Ersatzteile selbst zu produzieren, kann die Reparaturquote bei Reparaturveranstaltungen gesteigert und teilweise eine Unabhängigkeit von den Ersatzteillieferanten erlangt werden.

Initiieren und verstetigen

Ein persönliches Kennenlernen von

Repair Café HelferInnen und Makerspace Mitgliedern zu initiieren, ist ein erster hilfreicher Schritt zur Kooperation, da sich beide Parteien innerhalb einer Stadt oft nicht kennen. Dafür wäre ein Tag der offenen Tür in einem Makerspace speziell für ReparaturInnen geeignet, bei denen die Möglichkeiten des 3D-Drucks demonstriert werden. Der Termin könnte über die Kanäle der Reparatur-Initiativen verbreitet werden.

Um die Kontakte zu pflegen, hilft es feste AnsprechpartnerInnen für die jeweils anderen AkteurInnen zu benennen. So entsteht ein kleines lokales Netzwerk, das Tipps geben oder direkt für konkrete Anfragen wie etwa eine 3D-Modellierung angesprochen werden kann. In wei-



Workshop »3D-Druck & Reparatur« mit AkteurInnen aus Repair Cafés, Makerspace und Reparaturbetrieben im Münchner Erfindergarten, Juli 2018

teren Schritten könnten diese AnsprechpartnerInnen neben internen Verteilern auch öffentlich sichtbar gemacht werden, etwa auf der eigenen Internetseite, den Profelseiten der Reparatur-Initiativen oder des Verbunds offener Werkstätten oder der Liste 3D-reparierender AkteurInnen auf 3d-reparieren.de.

Gegenseitige Mitgliedschaften von Repair Café und Makerspace und regelmäßige gemeinsame Veranstaltungen könnten die Verbindung verstetigen.

Ein Drucker für mehrere Repair Cafés

Es ließe sich die Anschaffung eines von mehreren Repair Cafés betriebenen 3D-Druckers denken. So könnte ein gemeinschaftliches 3D-Repair Café ver-

anstaltet oder der »Wander-3D-Drucker« reihum genutzt werden.

Dieses Modell setzt voraus, dass es in jedem Repair Café eine/n kundige/n ModelleurIn und BedienerIn des 3D-Druckers gibt oder jemanden, die/der mit dem 3D-Drucker wandert, vielleicht sogar ein Makerspace Mitglied. Zudem müssten die Reparatur Initiativen untereinander gut vernetzt sein.

Der Vorteil von einem gemeinschaftlich genutzten 3D-Drucker liegt in den geteilten Kosten für die Anschaffung und den Unterhalt, sowie einem uneingeschränkten Zugang zum Gerät. Zudem könnten Erfahrungen im so geknüpften Netzwerk ausgetauscht werden.

... zwischen Repair Cafés und Dienstleistern

Eine gelungene Kooperationen zwischen Dienstleister und Repair Café zeigt Alexander Faust von 3d-loewe.de, ein lokaler 3D-Druck-Druckdienstleister, der für Repair Cafés spezielle Tarife für Ersatz-

teildrucke anbietet und sich selbst auch im örtlichen Repair Café in Reutlingen engagiert.

Adressen für Dienstleister/Hubs siehe [Linkliste 72–75].

... zwischen Reparaturbetrieben und Makerspaces

Aufgrund des Wirtschaftlichkeitsanspruches in Reparaturbetrieben sind Kooperationsmodelle, wie eine Mitgliedschaft in einem Makerspace oder der Besuch eines Open Lab Days, schwierig. Die Anfahrtszeiten, die Druckzeiten selbst und der möglicherweise beschränkte Zugang zum 3D-Drucker im Makerspace prä-

sentieren sich hier als Hürden [Anwendungsfall 2 S. 54]. Es wäre höchstens denkbar, dass Mitglieder des Makerspaces, soweit sie sich anbieten, Ersatzteile als Dienstleistung für den Reparaturbetrieb 3D-drucken. Gegebenenfalls könnten häufig benötigte Ersatzteile im Makerspace auf Vorrat produziert werden.

Vorteile

Reparaturbetriebe könnten durch Ersatzteile, bei denen sich 3D-Druck lohnt, Kunden eine Reparatur zu einem annehmbaren Preis anbieten und damit eine Reparatur möglich machen, wo sonst vielleicht ein neues Gerät angeschafft werden würde. Auch individualisierte Ersatzteile, die mit der Hilfe von 3D-ModelleurInnen erstellt werden

könnten, wären als Angebotserweiterung denkbar. Interessant könnte die Integration des 3D-Drucks in den Reparaturbetrieb bei der Akquise von Auszubildenden sein, wie es vereinzelt im Handwerk bereits geschieht. Der Betrieb könnte eine Mitgliedschaft für seine Azubis finanzieren und Einführungskurse zur Modellierung und zum 3D-Druck im Makerspace buchen.

... zwischen Reparaturbetrieben und Hubs/Dienstleistern

Für Reparaturbetriebe wäre die Nutzung von Modellier- und 3D-Druck-Dienstleistern interessant [Anwendungsfall 2 S. 54]. Dort werden Aufträge in einem bestimmten Zeitrahmen und einer garantierten Qualität ausgeführt. Bei einigen 3D-Community-Plattformen wird in einem Unternehmensbereich eine Beratung für die Integration von 3D-Druck in den Unternehmensablauf angeboten.

Reparaturbetriebe könnten mit lokalen 3D-Druck-Betreibern Partnerschaften eingehen und einen vergünstigten Preis für den Druck von Ersatzteilen aushandeln. Partnerschaften mit 3D-ModelleurInnen von Dienstleister-Plattformen könnten neben der 3D-Modellierung von Ersatzteilen die Fertigung von 3D-gedruckten Spezialwerkzeugen für die Reparatur übernehmen.

... zwischen Herstellern und Dienstleistern

Hersteller könnten über zertifizierte 3D-Druck-Dienstleister den Druck ihrer eigenen Ersatzteile anbieten. Erste Vor-

reiter gibt es schon. [3.1 Wo kann ich drucken? S. 31] [Unternehmensaktivitäten S. 43].

Vorteile für alle

Ein großes Thema ist die Aus- und Weiterbildung im Bereich 3D-Druck und 3D-Modellierung. Hier können Makerspaces einspringen und eine wichtige Rolle in der Bildung einnehmen bei-

spielsweise mit speziell auf ReparaturInnen ausgerichtete Workshops. Zudem könnten sich ReparaturInnen ein gutes Stück weit unabhängiger von Herstellern und Ersatzteillieferanten

machen und dabei ein Zeichen für die Notwendigkeit des freien Zugangs zu Ersatzteilen setzen.

Gerade für Repair Cafés und Makerspaces könnten solche Kooperationen

Ausgangspunkt für Förderungen sein, die interdisziplinären Austausch in Verbindung mit gemeinnützigen Projekten unterstützen. Auch Wirtschaftsförderungen mit kleinen oder mittelständischen Unternehmen als Partner sind denkbar.

Hürden für die Kooperation

Eine Hürde für die Umsetzung der 3D-Reparatur ist die Skepsis gegenüber der 3D-Druck-Technologie und die Komplexität der Anwendung. Hier sind Beispielfälle wichtig, die den Ablauf und die Möglichkeiten des 3D-Druck zeigen. Zudem hat sich der Zugang zu 3D-Dateien als Nadelöhr im Ablauf herausgestellt, da nicht viele ReparaturInnen Know-how im Bereich 3D-Modellierung haben. Die im Internet vorhandenen 3D-Ersatzteildateien sind oft nicht gut aufzufinden, da sie schlecht verschlagwortet sind. Um diesen Flaschenhals zu weiten, wäre eine zentrale Online-Plattform mit entsprechend gut aufbereiteten Dateien, zusätzlichen Angaben über Druckparameter und Erfahrungen zum eingesetzten Material und im besten Fall Maße der Schnittstellen am Gerät hilfreich. Eine Kooperation mit der Open Source Community, die häufig ihr Wissen und ihre fertigen Dateien teilen möchte, könnte angestrebt werden.

Voraussetzung für eine gelungene Kooperation ist die Aufgeschlossenheit gegenüber neuer Verfahren und

der AkteurInnen. Als Hürde sind, neben fehlender Motivation, auch gegenseitige Vorurteile und unterschiedliche (technische) Hintergründe zu nennen. Der demografische Unterschied (das Durchschnittsalter in Repair Cafés liegt meist deutlich über dem in Makerspaces) spielt hier sicher auch eine Rolle. Um diese Hürden abzubauen, helfen persönlicher Austausch und das gemeinsame Selbermachen beispielsweise in Workshops, denn ein allgemeines Interesse an Technik ist bei allen Akteursgruppen vorhanden.

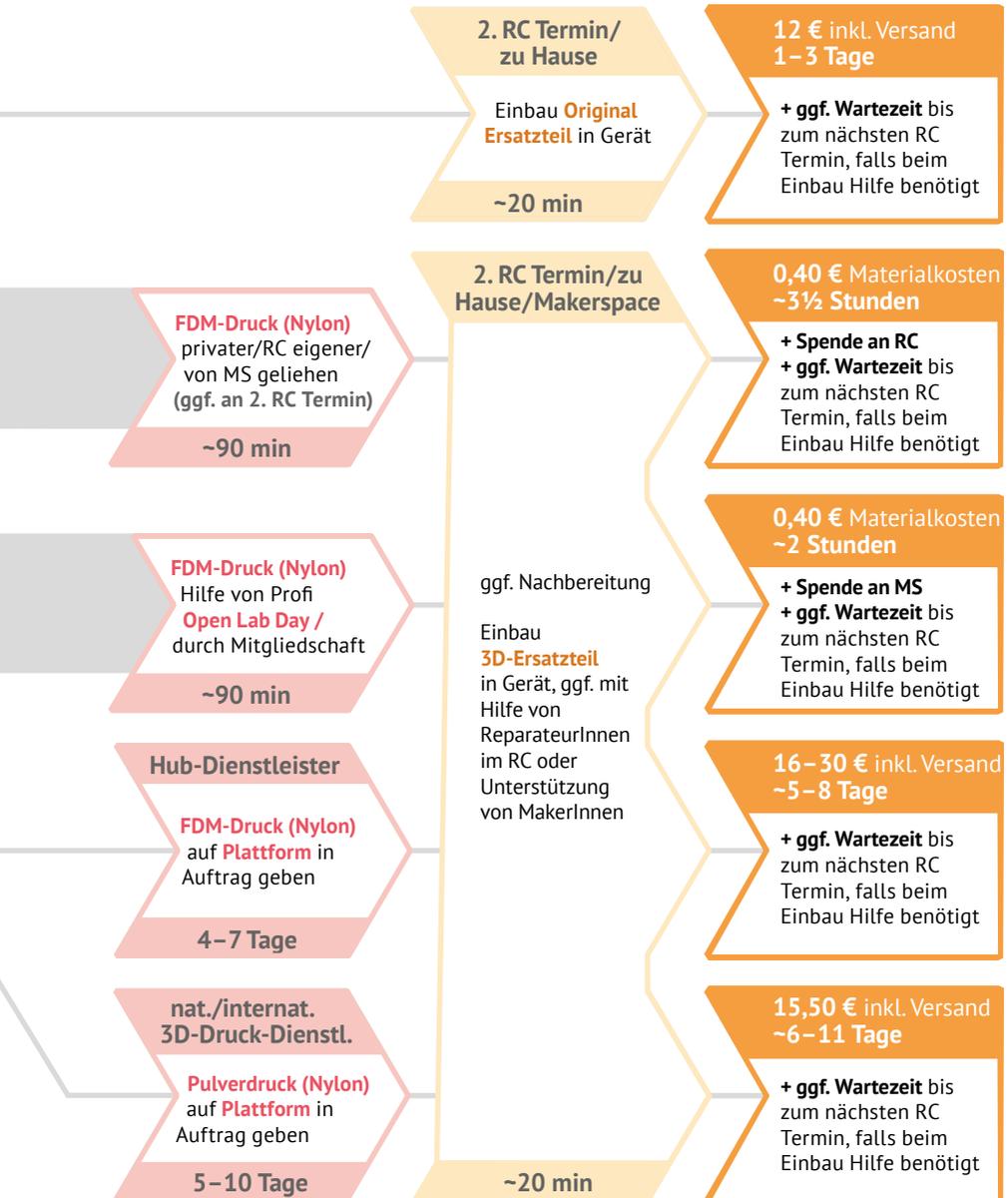
Für einige Reparatur-AkteurInnen kann die englische Sprache von Datei-Plattformen oder Dienstleistern eine Hürde darstellen. Hier könnte eine Metaplattform auf Deutsch die Lösung sein.

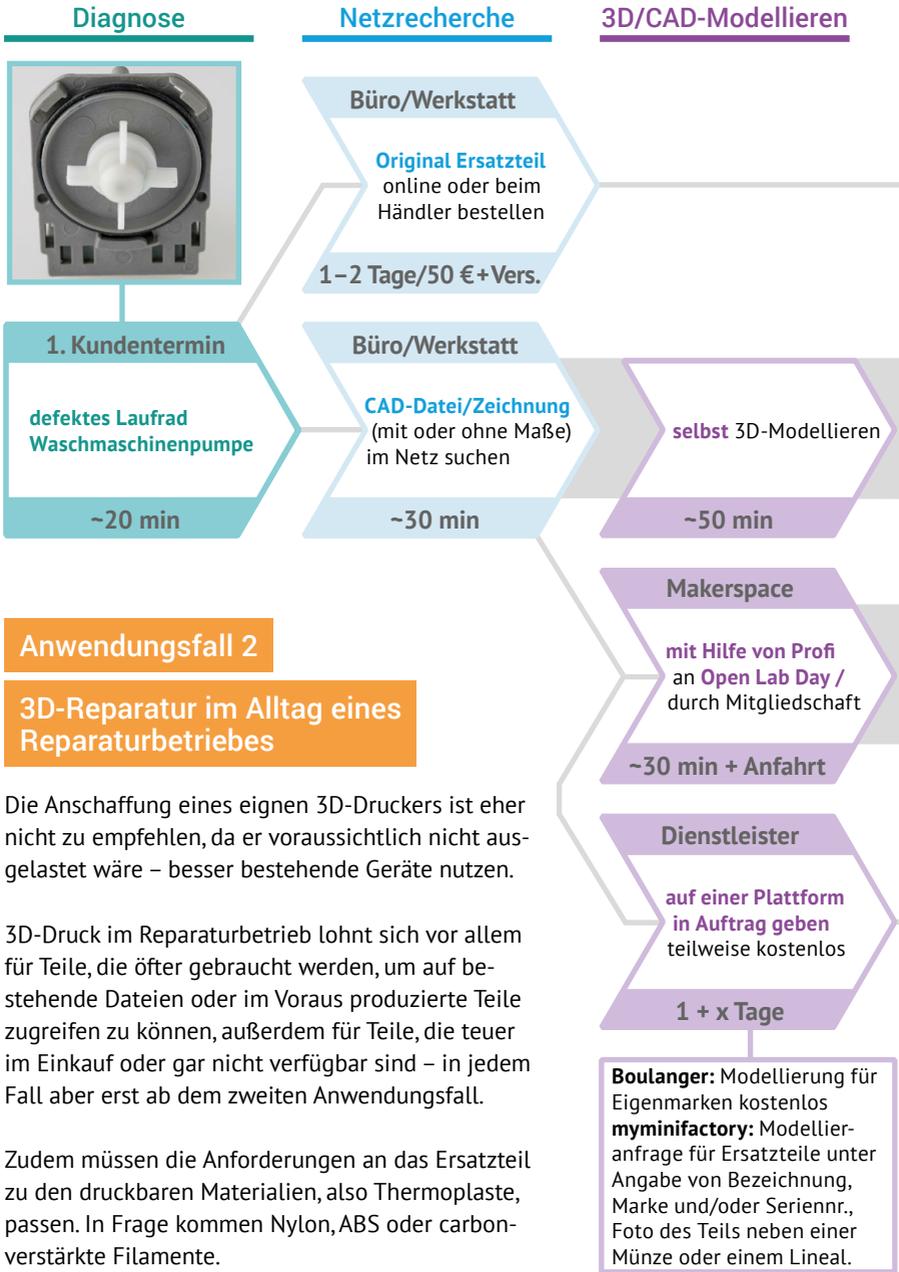
Gerade bei Reparaturbetrieben sind mangelnde Anwendungsfälle, die den nötigen Zeitaufwand rechtfertigen, eine Hürde für das Etablieren der 3D-Reparatur in die Betriebspraxis.



3D-Druck Ersatzteil

Einbau





3D-Druck Ersatzteil

Einbau

1./2. Kundentermin

Einbau
(Original) Ersatzteil
in Gerät

~40 min

~145 € für KundIn
~2 Tage

bei 50 €/Stunde:
Anfahrt + Diagnose
38€ (Mein Macher)
Ein-/Ausbau 1 Std 50 €
Original Ersatzteil 56 €

FDM-Drucker (ABS)
auf eigenem, muss
nicht die ganze Zeit
aktiv betreut werden,
s. Druckpauschale

~2¼ Stunden / ~1 €

Werkstatt/ 2. Kundentermin

ggf. auf
Festigkeit prüfen

~235 € für KundIn
~3–5 Stunden

Anfahrt + Diagnose
38€ (Mein Macher)
Ein-/Ausbau 1 Std/50 €
Konstruktionszeit 67 €
Druckpauschale 80 €

meist FDM-Drucker (ABS), Hilfe von Profi
Open Lab Day /
d. Mitgliedschaft

~2¼ Stunden / ~1 €

ggf. mit
Standardkomponenten wie Scheiben,
Hülsen, Dichtungen
etc. **verbinden**,
die vorrätig
sein müssen

~285 € für KundIn
~4½ Stunden

Anfahrt + Diagnose
38€ (Mein Macher)
Ein-/Ausbau 1 Std/50 €
Konstr./Dauer MS 187 €
Spende an MS 10 €

Hub-Dienstleister

meist FDM-Drucker, (ABS) auf **Plattform** in
Auftrag geben

4–7 Tage / ~16 €

Einbau bei KundIn

~154 € für KundIn
~5–8 Tage

Anfahrt + Diagnose
38€ (Mein Macher)
Ein-/Ausbau 1 Std/50 €
Büropausch. 1 Std/50 €
Ersatzteil ~16 €

nat./internat. Dienstl. (Profi)

Pulverdruck (ABS),
auf **Plattform** in
Auftrag geben

5–10 Tage / ~24 €

1–3 Stunden

~162 € für KundIn
~6–11 Tage

Anfahrt + Diagnose
38€ (Mein Macher)
Ein-/Ausbau 1 Std/50 €
Büropausch. 1 Std/50 €
Ersatzteil ~24 €



Workshopmaterialien & Anlaufstellen

Die Website 3d-reparieren.de

... fungiert als Anlaufstelle für Leute, die Unterstützung bei der 3D-Reparatur suchen. Es finden sich weiterführende Links und Infos rund ums Thema, außerdem Unterlagen für Workshops (Präsentation, Moderationskarten, Textbausteine...) und ein Matchmaking zwischen Leuten, die Unterstützung bei der 3D-Konstruktion suchen und einem kleinen aber tatkräftigen Netzwerk von 3D-ModelleurInnen.

Workshopkonzept

Für interessierte, AkteurInnen die die Möglichkeiten der 3D-Reparatur kennenlernen möchten, steht auf 3d-reparieren.de/workshop-unterlagen ein Workshopkonzept zur Verfügung. Dafür sind keinerlei 3D-Druck-Kenntnisse nötig. Hilfreich wäre allerdings die Durchführung des Workshops in Kooperation mit einem Makerspace.

Nach einer Einführung in die Technologie wird der Ablauf der 3D-Reparatur nachverfolgt und Schritt für Schritt an Rechner und 3D-Drucker in der Praxis nachvollzogen. In einer Ideen-Werkstatt werden mit den TeilnehmerInnen aus den Akteursgruppen Ideen für konkrete Umsetzungen gesammelt.

Für die Printversion dieser Broschüre hier anfragen info@3d-reparieren.de

AkteurInnen & Anlaufstellen

Makerspaces in der Umgebung finden sich mit der Werkstattsuche des Verbunds offener Werkstätten oder der Fab Lab Weltkarte [Linkliste 1–3]. **Repair Cafés** in der Nähe finden sich am besten über die Suche der Reparatur-Initiativen [Linkliste 10]. Ein gutes Portal für lokale **Reparaturbetriebe** ist meinmacher.de [Linkliste 12]. **Teileplattformen** wie myminifactory.com sind meist eine vitale Community angeschlossen [Linkliste 37]. Auf **Hub-Plattformen** wie 3D-Hubs sind einzelne 3D-Druckerbetreiber versammelt [Linkliste 72–75]. Auf **sozialen Netzwerken** finden sich ExpertInnen zu 3D-Druck und Beispielfälle wie in der Facebook-Gruppe »3D-Druck Funktions-teile« [Linkliste 17].

Sichtbarmachen deines Angebots

Auf den Websites der Reparatur-Initiativen und des Verbunds Offener Werkstätten [Linkliste 2, 1] kannst du deinen Makerspace / dein Repair Café in den Kategorien »3D-Druck« + »Reparatur« registrieren. Teile deine Ersatzteil-3D-Daten gut verschlagwortet auf Teileplattformen und/oder verwende in den sozialen Medien passende Hashtags, wie wär's zum Beispiel mit #3dreparieren.

Danke

In diese Broschüre ist mannigfaltiger Input von vielen Menschen geflossen – aus persönlichen Treffen, Interviews oder Workshops. Für die Einblicke und das Feedback und die geteilten Erfahrungen und Erkenntnisse möchten wir uns ganz herzlich bei euch bedanken:

Den GastgeberInnen unserer Workshops im Eigenbaukombinat Halle, Erfindergarden München, Fab Lab Fabulous St. Pauli, GarageLab Düsseldorf, bei Hammertime Kassel und im Makerspace Darmstadt, **den Interviewten und InputgeberInnen Achim, Andreas, Erik, Luke, Niels** und **Thomas** vom Fab Lab Fabulous St. Pauli, **Alexander Kroth** und **Stefan Koitsch** vom Makerspace Darmstadt, **Andreas Kahler** vom Fab Lab München, **Andreas Kopp** vom Erfindergarden, **Anette Eggart** von Dynamo München, **Anja Klein** von der Werkbox 3, **Axel, Egon, Martin** und **Rainer** vom GarageLab, **Britta Josenhans** und **Frank Bräuer** von Akkutauschen.de, **Detlef** und **Steffen Vangerow** von MeinMacher, **Dirk** und **Felix** aus der dingfabrik, **Dunja Karabaic**, Dr. **Elisabeth Redler** vom Haus der Eigenarbeit, **Elisa Garrote Gasch** vom 3D-Repair Café, **François Longin** von happy3D, **Heinrich Jung** von Blitzblume, Röhrenverstärker **Huber**, **Ina Hemmelmann** und **Tom Hansing** von der anstiftung, **Jens Siebert** vom Repair Café Habichtswald, **Jürgen Ripken**, **Jürgen Winter**, **Karin Rewald** vom Repair Café Darmstadt Martinsviertel, **Katrin Meyer** vom Runden Tisch Reparatur e.V., **Kristina Deselears** vom Repair Café Sasel, **Marc Rexroth**, **Mark Johannsen**, **Markus Lauer-Wieczorek**, **Martin Schultze** von der Fahrradwerkstatt im Centro Sociale, **Matthias Hirt**, **Mischa Leber**, **Nicole Bienge**, **Simon Willmann** vom Happy Lab Berlin, **Stefan** von Classic Cycles, **Tim Förster** von »funktioniert wieder«, und **Wolfgang Ehle** vom Repairer Café Kassel West. **Besonderer Dank gilt Nikolaus** Marbach, **Barbara Klute**, **Matthias Niess** und **Barbara Wusowski**.

Anhang

Wie funktioniert 3D-Druck?

FDM-Druck im Speziellen

Weitere 3D-Druck-Verfahren

Toleranzen im 3D-Druck

Sicherheit und Gesundheit

3D-Dateiformate

Slicer-Programme

3D/CAD-Programme

Filamenteigenschaften

Rechtsfragen

Politischer Kontext

Wie funktioniert 3D-Druck?



Es gibt nicht »den« 3D-Druck, sondern unterschiedliche Verfahren, die mit einer Vielzahl an Materialien, von Kunststoff über Keramik bis Metall, funktionieren. Grob kann man die Verfahren durch die Form des **Ausgangsmaterials** unterscheiden: als Kunststoffstrang (Filament), pulverförmig (Metalle, Keramik, Kunststoff) oder flüssig (Harz). Allen gemein ist der **schichtweise (additive) Aufbau** auf Basis einer computergenerierten Datei. Die Schichten können mit einem Extruder aufgebaut (Filament), mit einem Laser verschmolzen (Pulver), mit einem Bindemittel verklebt (Pulver) oder mit UV-Licht ausgehärtet werden (Harz).

Der 3D-Druck bietet Freiheit. Nicht nur in der Formgestaltung, sondern auch darin, viele Dinge günstig und vor Ort selbst zu produzieren. Dies ist möglich ohne ExpertIn zu sein oder ein großes Unternehmen im Hintergrund zu haben. Darüber hinaus gibt es Potenziale für

Nachhaltigkeit im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren.

Beispielsweise lässt sich Energie einsparen, weil durch On-Demand-Lösungen des 3D-Drucks an Ort und Stelle Transportwege und Überproduktionen minimiert werden können. Durch **Leichtbauweise** optimierte Teile ermöglichen Einsparungen während der Nutzungsphase. In der Produktion kann im Material eingespart werden, wenn abspannende Verfahren durch 3D-Druck ersetzt werden. Ebenso spart die **effiziente Konstruktion** bionischer Geometrien Material und damit Gewicht, weil weniger Füllung notwendig ist. Des Weiteren lässt sich die Effektivität eines 3D-Druckers steigern, wenn mehrere Leute ihn **gemeinschaftlich nutzen**. So lässt sich eine Überproduktion an 3D-Druckern selbst verhindern und die Geräte werden gut ausgelastet. Nicht zuletzt bringt es eine soziale Komponente.

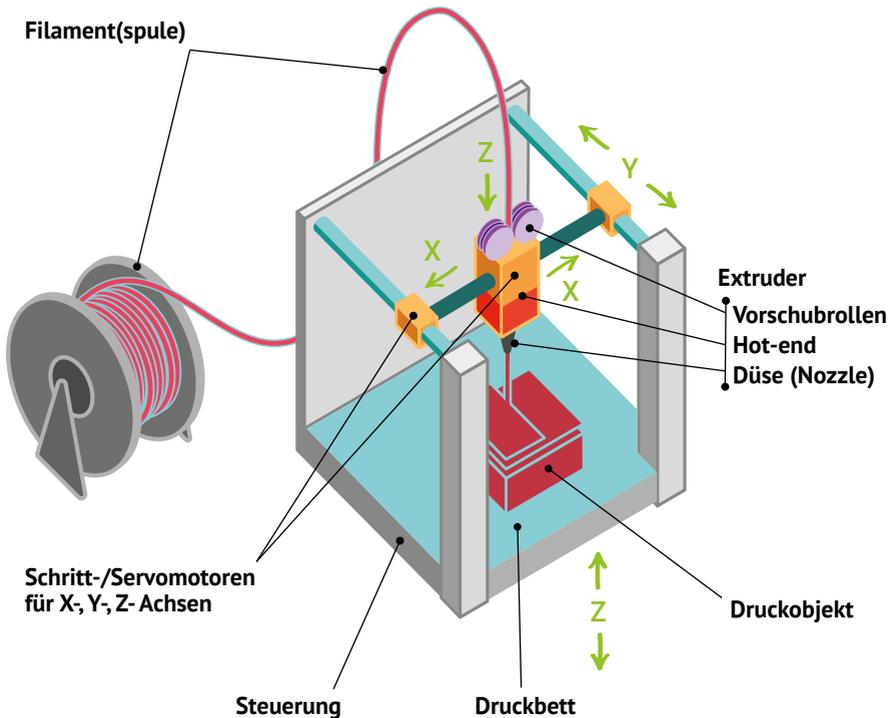
FDM-Druck im Speziellen

Das häufigste Druckverfahren im PrivatanwenderInnenbereich

Die populärste Bezeichnung für das Verfahren ist FDM (Fused Deposition Modeling), das 1989 von der Firma Stratasys patentiert wurde. Alternativ wird auch

FFF (Fused Filament Fabrication) verwendet. Stratasys' Patent lief 2009 aus, was den Start für die Entwicklung des Open Hardware Projekts Rep-Rap (Re-

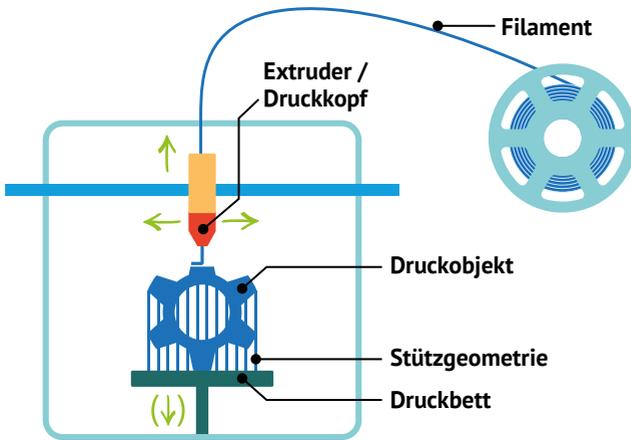
Aufbau eines FDM-Druckers



plicating Rapid Prototyper) war und die erfolgreiche Verbreitung des FDM-Verfahrens zur Folge hatte. Das Besondere am RepRap ist, dass er seine benötigten Kunststoffteile selbst nachdrucken kann. Nachdem im Zuge dieses Projekts die Baupläne eines solchen 3D-Druckers veröffentlicht wurden, wurde das Konzept von einigen Firmen weiterentwickelt.

Drucker und Filament sind günstig und die Drucker verhältnismäßig einfach zu bedienen und oft sogar modifizierbar.

Beim Schmelzschiichten wird das Druckmaterial, das sogenannte **Filament**, das in einer vielfältigen Auswahl an **Thermoplasten** zu bekommen ist, im **Druckkopf** des **Extruders**, dem sogenannten **Hot-end**, aufgeschmolzen und das **Druckobjekt** Schicht für Schicht aufgebaut – ähnlich einer beweglichen Heißklebepistole. Jede neu aufgetragene Schicht verschmilzt mit der darunterliegenden und härtet aus. **Servomotoren**, die von einem Microcontroller gesteuert werden, bewegen dabei die X- und



Y-Achse (vorne/hinten, links/rechts). Je nach Druckermodell bewegen sich dabei entweder das **Druckbett** oder der **Druckkopf** schichtweise in Z-Richtung (hoch/runter). Das **Druckbett** ist meist beheizt, um ein Verziehen oder Ablösen des Objektes während des Druckens zu verhindern. Bei Überhängen (ab etwa 60°) oder vertikalen Löchern sind **Stützkonstruktionen/Stützgeometrien** notwendig, die meist aus dem gleichen Material wie das Objekt oder einem speziellen, leicht entfernbaren Stützmaterial (Extruder mit zwei Düsen nötig) gedruckt werden und dafür sorgen, dass der Druckkopf nicht ins Leere druckt [Anhang Toleranzen beim FDM-Druck S. 66]. Diese werden in der Nachbearbeitung entfernt.

Das fertige Druckergebnis weist **Schichtrippen** auf, die Optik und Haptik beeinträchtigen können und bei Bedarf ebenfalls eine Nachbearbeitung nötig machen. Außerdem sind FDM-gedruckte

Objekte fertigungsbedingt in Z-Richtung weniger stabil.

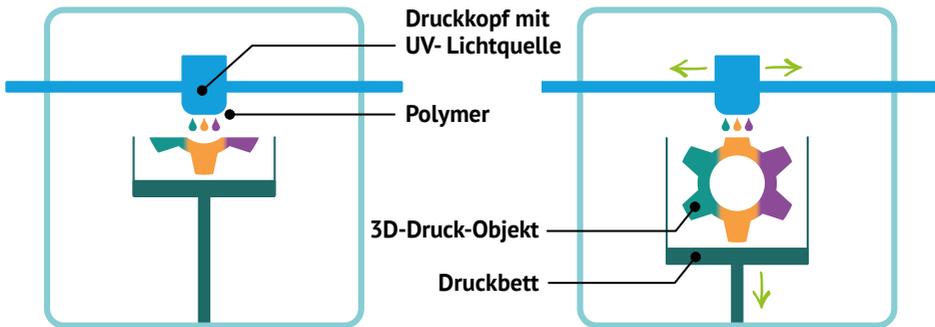
Die **Qualität** des Drucks hängt von der Ausgangs-3D/CAD-Datei, der Präzision der Bewegungen (Qualität der Motoren, der Geometrie, Software), dem Düsendurchmesser, der Druckgeschwindigkeit und den Materialeigenschaften ab [Anhang Filamenteigenschaften S. 72].

Die Preise für einen 3D-Drucker beginnen bei unter 200 € (Anet) und gehen bis 3.000 € (MakerBot, Ultimaker). Auch Bausätze sind erhältlich. Industriegeräte liegen bei 10.000 €. Filamentrollen kosten von 20 bis 100 €/kg.

FDM-Drucker sind PrivatanwenderInnen am einfachsten zugänglich und günstigsten, weshalb sie in der Makerszene am verbreitetsten sind. Daher liegt der Fokus dieser Broschüre auch auf diesem Verfahren.

Weitere 3D-Druck-Verfahren

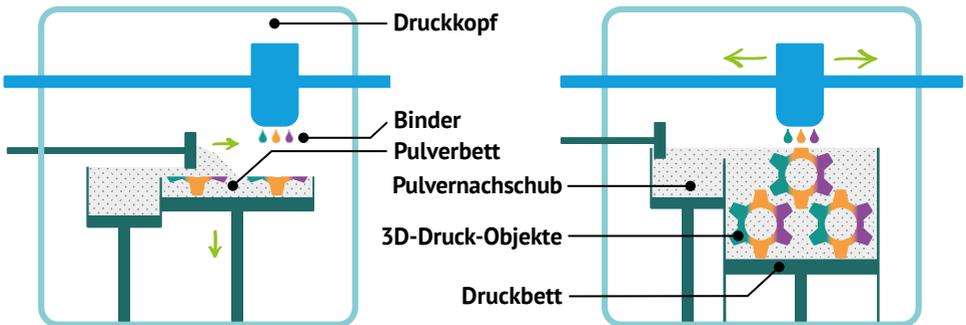
Material Jetting / PolyJet / MultiJet Modeling



Material Jetting ist das Verfahren, das ursprünglich als »Der 3D-Druck« galt, weil dabei in der Tat »3D-gedruckt« wird. Das Verfahren ist dem Tintenstrahldrucker nachempfunden. Dabei wird flüssiges, **photosensitives Polymer** tröpfchenweise Schicht für Schicht (auf ein sich schichtweise absenkendes **Druckbett**) aufgebracht und im selben Arbeitsschritt mit **UV-Licht** ausgehärtet.

Das **Polymer** kann im selben Arbeitsschritt in mehreren Farben und Festigkeitsgraden gedruckt werden, weil – wieder ähnlich dem Tintenstrahldrucker – aus mehreren Düsen gleichzeitig gedruckt werden kann. So können im selben Arbeitsschritt mehrfarbige Objekte und/oder Objekte mit mehreren Materialeigenschaften (bspw. Festigkeiten) – sog. Materialhybride – gedruckt werden.

Binder Jetting (Pulverdruck)



Das Druckmaterial liegt in **Pulverform** vor. Dabei sind sehr **vielfältige Materialien möglich**, solange sie klebbar sind: **Metall, Kunststoff, Sand, Keramik...**

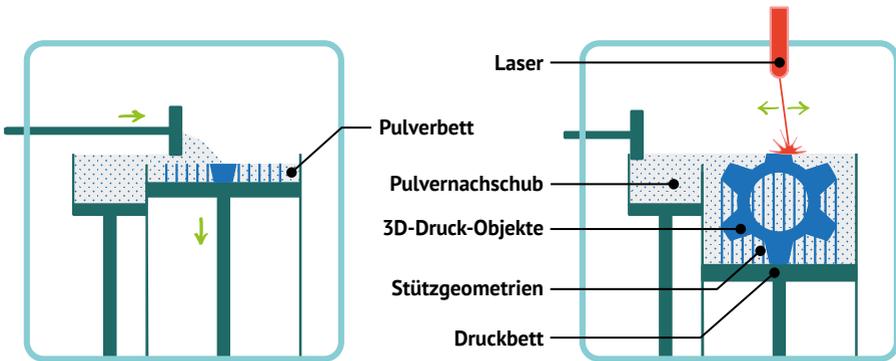
Das Pulver wird mit einem »Binder« auf Wasser- oder Harzbasis verklebt, während sich das **Druckbett** schichtweise absenkt. Da – ähnlich dem Tintenstrahldrucker – aus mehreren Düsen gleich-

zeitig gedruckt wird, können mehrere Binder pro Druck Anwendung finden. So können im selben Arbeitsschritt mehrfarbige Objekte und/oder Objekte mit mehreren Materialeigenschaften (bspw. Festigkeiten) – sog. Materialhybride – gedruckt werden. Da das **Pulverbett** die Druckobjekte stabilisiert, sind keine Stützgeometrien nötig.

SLM – Selective Laser Melting (Selektives Laserschmelzen)

EBM – Electron Beam Melting (Elektronenstrahlschmelzen)

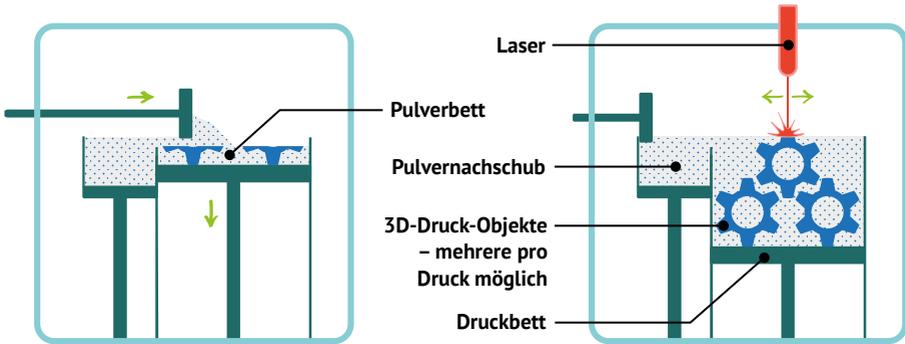
Metal Printing (Metalldruck)



Das zu druckende **Metall** (meist **Alu**, **Titan**, **Stahl**) liegt in **Pulverform** vor und wird mittels eines gesteuerten, leistungsstarken **Lasers** (SLM) oder eines **Elektronenstrahls** (EBM) punktuell aufgeschmolzen und so verbunden. Beim Objektaufbau senkt sich das **Druckbett**

schichtweise ab und neues Pulver wird aufgetragen. Metall verzieht sich durch vergleichsweise schnelles Abkühlen. Daher müssen im Gegensatz zum SLS trotz **Pulverbett Stützgeometrien** mitgeruckt werden, die nach dem Druck entfernt werden.

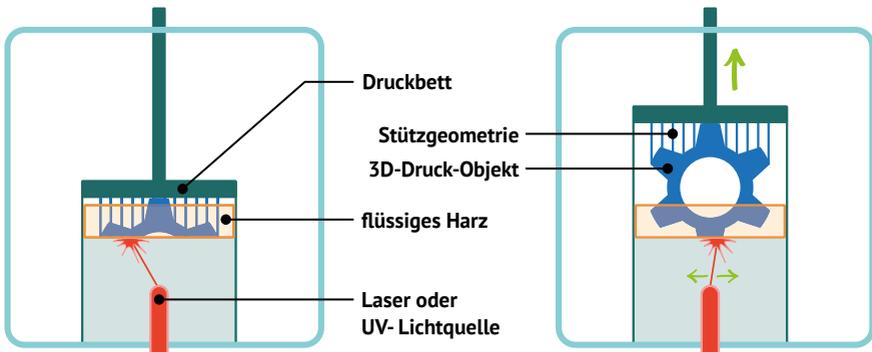
SLS – Selective Laser Sintering (Selektives Laser Sintern)



Das Druckmaterial liegt in **Pulverform** vor (**Thermoplast, Metall-Kunststoff-Mischung**) und wird mittels eines gesteuerten **Lasers** punktuell aufgeschmolzen und so verbunden. Der

Aufbau erfolgt schichtweise, indem sich das **Druckbett** absenkt und eine neue Pulverschicht aufgetragen wird. Da das **Pulverbett** die Druckobjekte stabilisiert, sind keine Stützgeometrien nötig.

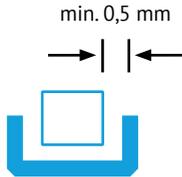
DLP – Digital Light Processing / SLA – Stereolithographie



Das Druckmaterial liegt als flüssiges **photosensitives Photopolymer-Harz** vor und wird mittels eines gesteuerten Lasers oder einer UV-Lichtquelle schichtweise ausgehärtet. Dazu fährt das

Druckbett je nach Modell schichtweise nach oben oder unten. Für Überhänge sind bisweilen Stützgeometrien nötig. SLA und DLP sind die Verfahren mit der höchsten Auflösung.

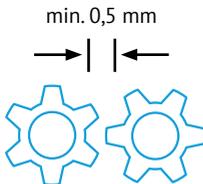
Toleranzen beim FDM-Druck



Passgenaue Teile

Wenn Teile nach dem Druck zusammengefügt werden sollen, wird ein Mindestspaltmaß von 0,5 mm empfohlen.

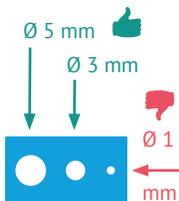
Beim FDM-Druckverfahren sollte als Spaltmaß zwischen zwei **passgenauen Teilen und Löchern** mindestens 0,5 mm Spiel hinzugerechnet werden, damit es später nicht hakt.



Bewegliche Funktionsteile

Für frei bewegliche Teile wird ein Mindestabstand von 0,5 mm empfohlen.

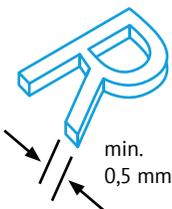
Bei **beweglichen Teilen** wie Zahnrädern sollte mit einem Zwischenraum von mindestens 0,5 mm gerechnet werden.



Bohrungen

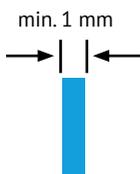
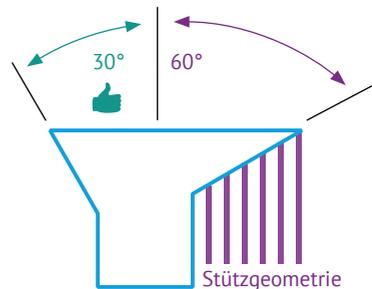
Löcher kleiner als 1 mm Durchmesser lassen sich beim FDM-Druck nicht fertigen.

Überhänge und Löcher benötigen beim FDM immer eine Geometrie, worauf der Druckkopf die nächste Filamentschicht ablegen kann. Daher werden Überhänge, die mehr als etwa 5 mm (60°) herausragen, und vertikale Löcher durch Stützstrukturen überbrückt. Diese werden vom Slicer-Programm errechnet [[Anhang Slicer S. 69](#)] und später entfernt.



Filigrane Details

wie zum Beispiel Buchstaben: Mindestlinienstärke 0,5 mm, Mindestdiefe 0,5 mm (Empfehlung 1 mm)



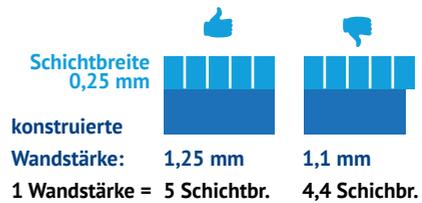
Wandstärke

Als Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Flächen. Mindestwandstärke beim FDM-Druck 1 mm

Schrumpfen: Nach dem Abkühlen kann das Objekt, je nach Material, 0,5 % bis 8 % (ABS) kleiner werden.

Weitere Faustregeln für Abweichungen beim Druck: [[Linkliste 54–56](#)].

Wandstärken sollten durch die Schichtbreite teilbar sein. Für eine stabile Konstruktion besser nicht die minimale Wandstärke (= 1 Schichtbreite), sondern mindestens eine 2-fache Schichtbreite als Wandstärke anlegen.



Sicherheit und Gesundheit

Studien [Linkliste 94] haben gezeigt, dass Desktop-3D-Drucker während des Drucks eine große Anzahl ultrafeiner Partikel (kleiner als 100 nm) und organische, krebserregende Verbindungen freisetzen können.

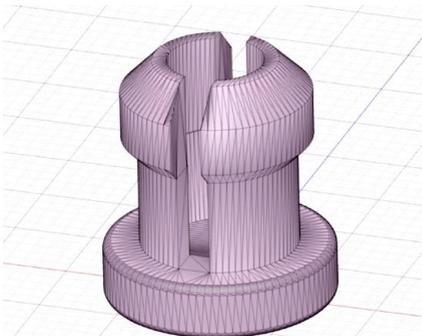
Bisher ist die Zahl der getesteten Geräte und Filamente noch gering, dennoch seien an dieser Stelle einige Gesundheitshinweise formuliert, um den Ausstoß von Kleinstpartikeln während des Drucks so gering wie möglich zu halten.

- Drucktemperatur und die des Druckbetts so gering wie möglich halten
- unterhalb der maximalen Extrusionstemperatur bleiben, darüber zersetzen sich thermoplastische Kunststoffe sofort und es entstehen toxische Dämpfe
- Raum ausreichend belüften
- 3D-Drucker gegebenenfalls in einen gesonderten Raum stellen
- wer die Möglichkeit hat, Abzug über dem 3D-Drucker installieren
- eine Einhausung um den Bauraum des Druckers bauen (Achtung, keinen Wärmestau verursachen, Brandgefahr)
- Filament von vertrauenswürdigen Quellen beziehen (Sicherheitsdatenblatt gemäß 1907/2006), besonders günstige Angebote können das Risiko bergen, aus weniger sorgfältig kontrollierter Produktion zu stammen und daher weniger streng geprüfte Inhaltsstoffe zu enthalten
- PLA-Filament ist grundsätzlich nicht so gesundheitsgefährdend wie ABS-Filament (allgemein Styrole)
- bei Objekten, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, sollte auf lebensmittelechte Filamente geachtet werden, auch wenn die Objekte nicht als lebensmittelecht gelten; durch die Düse können Verunreinigungen und Schwermetalle aufgenommen werden. Außerdem ist die Außenhülle des Objekts wegen der feinen Rillen nicht gut sauber zu halten
- einige wasserlösliche Filamente stehen im Verdacht sich nicht vollständig aufzulösen, sondern in Form von Mikroplastik im Abwasser zu verbleiben

3D-Dateiformate

Es gibt etliche Dateiformate für die Handhabung von 3D-Modellen. Das weltweit verbreitetste ist das STL-Format (Surface Tesselation Language, Schreibweise »*.stl«). Es stammt aus der Stereolithografie aus den 80ern und fungiert als Universalschnittstelle, das fast alle CAD-Programme lesen können.

Allerdings ist ein STL-Modell kein vollwertiges Volumenmodell und beschreibt lediglich dessen Oberfläche in Form von Dreiecken. Es liefert keinerlei Informationen über weitere Eigenschaften wie dessen innere Struktur, Material, Textur oder Farbe. Daher ist es auch nicht möglich eine STL-Datei ohne weiteres zu verändern. Sie muss dafür zunächst wieder in ein bearbeitbares Format konvertiert werden. Das ist bisweilen knifflig und erfordert ein gewisses Know-how.



STL-Datei: in ein Polygonnetz (Oberfläche aus Dreiecken) umgewandeltes Volumenmodell

3MF – Dateiformat

Daher wird an verschiedenen Fronten an neuen 3D-Dateiformaten gearbeitet. Das 3MF-Konsortium, ein Zusammenschluss aus namhaften Größen der Additiven Fertigung, hat das **3MF-Dateiformat** (3D Manufacturing Format, Schreibweise »*.3mf«) grundlegend überarbeitet [[Linkliste 63](#)]. Herausgekommen ist ein neuer **open source** Standard, der weitaus mehr Informationen speichert wie etwa **Material, Textur oder Farbe, Skalierung, Druckeinstellungen wie Stützgeometrien und sogar Urheber- und Lizenzinformationen**. 3MF-Dateien sind außerdem deutlich kleiner als eine STL-Dateien und können sowohl von 3D-Programmen als auch Slicern gelesen werden. Außerdem sind sie deutlich weniger fehleranfällig, weil Fehlerquellen wie sich selbst schneidende Geometrien nicht erlaubt sind.

Dieser neue Standard ist noch nicht sehr verbreitet. Und auch er speichert kein vollwertiges Volumenmodell und muss für die Weiterverarbeitung konvertiert werden.

Da er allerdings open source der Community zur Verfügung steht und gleichzeitig Wurzeln in der Industrie hat, steht zu erwarten, dass auch dieser Vorgang von immer mehr 3D-Programmen unterstützt und vereinfacht werden wird.

Slicer-Programme

Wenn selbst gedruckt werden soll, ist ein Slice-Programm nötig.

Slice-Programme funktionieren grundsätzlich ähnlich. Hier werden die 3D-Dateien in die „Schichten geschnitten“, in denen der 3D-Drucker später das Modell aufbaut. Dazu werden Einstellungen zur Schichtdicke, Druckgeschwindigkeit, Füllung, Stützstruktur, Druckplattenhaftung... vorgenommen. Viele Slicer bieten voreingestellte Druckprofile für zahlreiche verschiedene 3D-Drucker und Filamente. Außerdem liefern sie Informationen über die geschätzte Druckdauer und den Materialverbrauch. Dann kann die Datei als druckfähiges Format (GCODE) gespeichert werden.

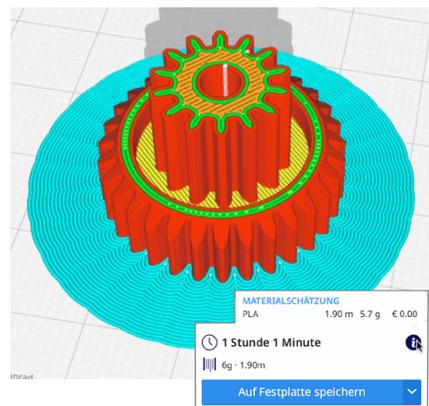
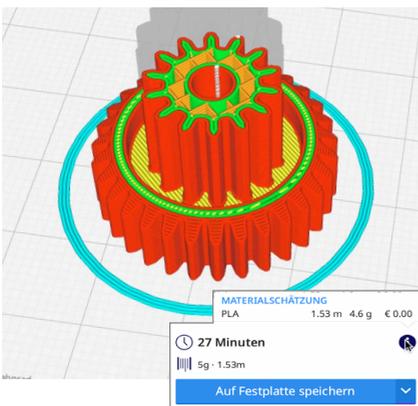
Qualität: empfohlene Schichtdicke für eine feine Qualität ist 0,2 mm, das ist ein guter Kompromiss zwischen Druckdauer und Oberflächenqualität

Füllung: 40 % Fülldichte sind meist ausreichend, 100 % bei filigranen Teilen wie Klips, verschiedene Bereiche lassen sich unterschiedlich füllen [[Maßnahmen zur Ressourcenschonung S. 33](#)]

Druckplattenhaftung: druckt einen 1 Schicht hohen Rand um das Objekt, um das Ablösen der ersten Schicht zu verhindern und zu testen, ob das Filament sauber extrudiert wird

Getriebezahnrad Handmixer [[S. 14 Bild 4](#)], Slicer-Programm Cura von Ultimaker

	links	rechts
Schichtdicke (rot):	0,2 mm	0,1mm
Füllung (orange):	20 % Linien	80 % Zickzack
Druckplattenhaftung (türkis):	Skirt	Brim



3D/CAD-Programme



Kinder



EinsteigerInnen



Fortgeschrittene



Profis

OS Open Source

Kostenlose 3D/CAD-Programme

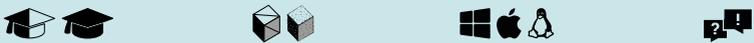
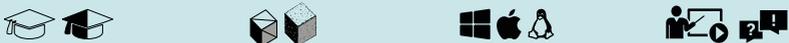
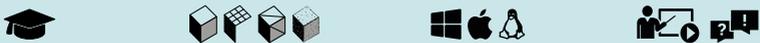
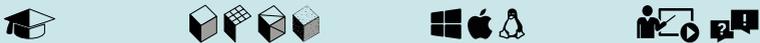
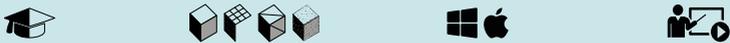
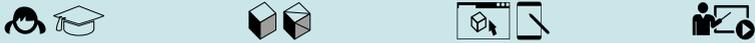
Autodesk TinkerCAD	basiert auf Grundformen , perfekt, um einen Einblick in das Prinzip 3D-Konstruktion zu bekommen
3D Slash	basiert auf Würfeln , die zusammengesetzt oder entfernt werden, einfacher Einblick in das Prinzip 3D-Konstruktion
SketchUp Free	intuitive Oberfläche , Interieur/Architektur, Renderings, viele nutzerInnenentwickelte 3D-Modellsammlungen und Erweiterungen
DesignSpark Mechanical	gestenbasiertes 3D-Modellieren , umfassende Online- Komponentenbibliothek , mit überschaubarem Zeitaufwand erlernbar
Autodesk Meshmixer	mechanische Funktionalität/bewegliche Teile, Modelle für 3D-Druck optimieren, STL-Reparatur , Bearbeitung von 3D-Scans
OpenSCAD OS	Befehle werden als Code eingegeben, gute Wahl für ProgrammiererInnen
FreeCAD OS	funktionsreich für viele Bereiche, erweiterbar durch Vielzahl an Plugins : 2D-zeichnen, Bewegungssimulator, G-Code-Umwandler..., umfangreiche Menüstruktur, die etwas Gewöhnung braucht
Autodesk Fusion 360	freie Lizenz für Maker/Lehrende , nutzerInnenfreundliches Interface, Analyse- & Simulationstools, cloudbasiert, kollaboratives Arbeiten
Autodesk Netfabb	kostenlos für nicht-kommerzielle Nutzung/Bildung , Analyse und Reparatur von STL-Dateien , integrierter Slicer
Onshape	leistungsstarke 3D-Software komplett browser-basiert, kollaboratives Arbeiten in Echtzeit, kostenlos nur für öffentliche Designs!
Blender OS	Animation, Texturierung , Abwicklungen, Rastergrafiken, Renderings, Simulationen, Videoschnitt...

Kostenlose Slicer-Programme

Cura, Ultimaker OS	sehr anwenderInnenfreundlich mit breiter Community-Unterstützung, erweiterbar durch Plugins
PrusaSlicer OS	aus Slic3r hervorgegangen, Voreinstellungen für eine Reihe gängiger Materialien , native Unterstützung für Prusa-Drucker, anpassbare Supportstrukturen, Multimaterial-Unterstützung
Slic3r OS	spezielle Füllmuster (z.B. Waben), experimenteller Support für SLA/DLP-Drucker, 3MF-Format, sehr viele Einstellungen bspw. für variierende Füllungen/Schichthöhen, Druck mit mehreren Extrudern...

 Volumenkörper	   Windows/Mac OS/Linux
 Flächenmodelle	  Browser-basiert/Tablet-tauglich
 STL-Dateien	 umfangreiche Tutorials
 Punktwolken	 aktiver Community-Support in Foren

AnwenderInnen	Modellarten	System	Hilfe
---------------	-------------	--------	-------



Filamenteigenschaften

Hinweis Einstellungen: Bei den genannten Angaben handelt es sich um Empfehlungen und Circa-Angaben. Da jeder 3D-Drucker und jedes Filament individuelle Eigenschaften haben, sollte vor dem

Druck das jeweilige Filamentdatenblatt gelesen werden. **Hinweis zur Filamentlagerung:** Die meisten lieben es trocken (gegen quillen), bei Raumtemperatur und UV-Licht geschützt. **Hinweis zu Material-**

Legende [k.A.] keine Angaben, [+] gut, [O] mittel, [-] schlecht	Biofila			
	ABS	ASA	POWR	GreenTec
Erweichung °C (ISO 306, vst)	96	96	130	115
Bruchfestigkeit (MPa)	40	55	k.A.	45
Dichte g/cm ³ (ISO 1183)	1,04	1,07	1,4	k.A.
Biegefestigkeit MPa (ISO 178)	60	2000/65	k.A.	k.A.
Schlagfestigk. kJ/m ² (ISO 179)	25	45	217	217,7
Stabilität	○	○	○	○
Haltbarkeit	+	+	+	k.A.
Flexibilität	○	-	+	○ *lt. Forum
UV-beständig	○	+	k.A.	+
chemikalienresistent	+	+	?	k.A.
bio-abbaubar	-	-	+	+
bio-basiert	-	-	+	+
lebensmittelecht	-	k.A.	+	+
recyclbar	+	k.A.	+	+
formstabil, wenig schrumpfend	-	-	+	+
leicht zu drucken	○	○	+	k.A.
sonstiges	viele Farben (RAL), nicht über 260 °C! (Geruch/Dämpfe), lang- lebig, glatte Oberfläche	verziehen (warping): 0,3–0,6 %, langlebig, dimensions- stabil, abriebfest	verziehen (warping) < 0.5 %, gute Layer- haftung	verziehen (warping) 0,54 %, gut nachbe- arbeitbar, kleben
Druckkopf Temperatur °C	220–250	250–255	190–200	190–195
Heizbett Temperatur °C	80–100	90–100	55–70	55
Druckgeschwindigkeit mm/s	40–80	30–40	30–160	bis 120

schrumpfen: Minimal schrumpfen alle Filamente bis ca. 0,5 %, besonders wichtig für große Drucke. **Lebensmittelechtheit:** Wird auch von Druckumständen wie Reinheit der Düse/Druckbett beeinflusst.

Gute Quellen für Filamentvergleich:
filamentworld.de/3d-druck-wissen/ &
simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/

Nylon PA 6	PLA	PETG	TPU/TPE soft (Shore A82)	Carbon PETG 20/80 (CarbonX ®)
82	60–70	75	50–77	77 (ISO 75)
40-85	65	53	26–43	45–48
1,12	1,21–1,45	1,27	k.A.	1,34
1600/97	3800	1940	k.A.	5740/80
9,6	7,5	7,2	k.A.	k.A.
+	O/+	O	–	+
+	O	+	O	+
+	–	+	+!	s.o.
+	+	+		+
+	+	+ *viele	+ *Öl, Fett	+ *viele
–	+ *industriell	–	–	–
–	+	–	–	–
+/-	+/-	+/-	–	–
+	+	+	k.A.	–
O	+	+	+	+
O	+	+	O	O
gute Stärke, Haltbarkeit, verziehen (warpen), gut nachbearbeitbar, 2,5 % quillen	wenig schrumpfen oder verziehen (warpen), viele Farben (RAL), schwer entflammbar (B1)	stark, gute Haltbarkeit, gut klebbar, große Modelle, transparent möglich, schwer entflammbar (B1)	medium stark, sehr hohe Haltbarkeit, wenig schrumpfen	wenig verziehen (warping), hoher Düsenverschleiß, hohe Steifigkeit, leicht, dimensionsstabil
250–255	180–230	220–250	190–230	230–260
30–65	20–60	50–75	bis 90	70–90
40–60	70	40–90	60–80	50–70



Rechtsfragen

Haftungsausschluss

Zunächst wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den Informationen in diesem Anhang weder um eine abschließende oder vollständige Darstellung noch eine Rechtsberatung handelt. Wegen der rechtlichen Komplexität wurden verschiedene Sichtweisen in einem Überblick über die rechtlichen Aspekte des 3D-Drucks zusammengefasst. In keinem Fall ersetzen die Ausführungen eine individuelle Rechtsberatung.

Die Aussagen orientieren sich an folgenden Quellen: [\[Linkliste 113–121\]](#).

Relevante Rechte

Urheberrecht

Bei der Erstellung einer 3D-Datei mit Hilfe eines 3D/CAD-Programms **erhält der/die Erstellende automatisch das Urheberrecht an der Druckvorlage**, ohne dieses extra anzumelden.

Für das Urheberrecht muss eine geistige Schöpfung (Funktion, Formgestaltung, persönlicher Ausdruck) vorliegen.

Urheberrechtlich geschützt können auch komplexe Kunststoffteile, zum Beispiel als Teil von Staubsaugern oder Mixern sein, die im gleichen Design wie das üb-

rige Gerät daherkommen und/oder mit integrierten Funktionen (Zugehörigkeit zum Gerät erkennbar).

Im privaten Bereich greifen die Schrankenbestimmungen aus § 53 Urheberrechtsgesetz,

die besagen, dass sich der/die privat Herstellende des 3D-Teils nicht strafbar macht. Maximal sieben Kopien dürfen erstellt werden. Das Teil darf jedoch nicht kommerziell genutzt und nicht öffentlich zugänglich gemacht und verbreitet werden. Das gilt für die 3D/CAD-Datei, wie für das fertig gedruckte Teil. Bei Änderungen der Funktion muss allerdings die Zustimmung des Urhebers/der Urheberin eingeholt werden. Bei kleinen Änderungen oder einer freien Benutzung ist die Einwilligung gegebenenfalls nicht notwendig (wer sichergehen will, sollte es jedoch tun).

Patentrecht

Ein Patent schützt das grundsätzliche Prinzip einer technischen Erfindung und ist gewerblich anwendbar.

Markenrecht

... schützt die Bezeichnungen von Produkten im geschäftlichen Verkehr.

Designrecht (früher Geschmacksmuster)

Das Designrecht schützt den ästhetischen Gesamteindruck eines Objekts

(Gestalt, Farbe, Form). Es muss neu sein und seine Erscheinungsform eine bestimmte Eigenart aufweisen.

3D-Daten vor dem Recht

Wie eine 3D-Datei definiert werden kann (zum Beispiel als ein binärer Code) und ob eine Rechtsverletzung mit deren öffentlichem Zurverfügungstellen vorliegt, ist noch zu klären.

Außerdem ist zu beachten, dass 3D-Dateien, die einfache, rein technische Lösungen einer Aufgabe bzw. die bloße Aneinanderreihung von Konstruktionselementen abbilden, wohl nicht unter den Werkschutz des Urheberrechts fallen (mangels Erreichung der »Schöpfungshöhe«).

»Fraglich ist auch, ob durch das Modellieren einer 3D-Dateien und der öffentlichen Bereitstellung der Tatbestand des in den geschäftsfähigen Verkehr i.S.d. § 1 und § 3 UWG zu bringen, erfüllt ist.«

[Quelle: 3druck.com/gastbeitraege/3d-druckrevolution-und-urheberrecht-droht-eine-neue-abmahnwelle-5314838]

In vielen Bereichen des 3D-Drucks fehlt es an Urteilen, die Orientierung schaffen. Beurteilungen, ob ein Gesetz oder Rechte Dritter verletzt werden, ist oft nur im jeweiligen Einzelfall möglich.

Der Betrieb eines gemeinnützigen und ehrenamtlich betriebenen Reparatur

Cafés liegt in der Grauzone, zwischen privatem und gewerblichen Umfeld. Das macht eine Einschätzung über die geltenden Gesetze schwierig.

Szenario 1

3D-Datei von einer Plattform heruntergeladen und 3D-drucken

1. Zur privaten Nutzung

Relevant ist hier nur das Urheberrecht mit der Schrankenregelung § 53 für die **private Nutzung** (s.o.). Die Datei sollte aus keinen illegalen Quellen (wie Plattformen mit kommerzieller Nutzung, jeweils ohne Zustimmung des Urhebers/der Urheberin) heruntergeladen werden. Eine Definition einer offensichtlich rechtswidrigen Quelle ist bisher allerdings noch nicht getroffen worden. Die/der Downloadende darf ohne die Zustimmung der Urheberin/des Urhebers die Funktion des Teils nicht verändern, wobei fraglich bleibt, wie dieses durchgesetzt werden kann.

2. Im Makerspace/beim Dienstleister

3D-Druck-Dienstleister werden rechtlich wie Copyshops behandelt, die ihre KundInnen darauf hinweisen müssen, dass keine Rechte Dritter verletzt, sprich keine Kopien von Dateien aus illegalen Quellen gemacht, werden dürfen. Es gibt keine generelle Kontrollpflicht gegenüber der Kundschaft, jedoch muss ein auffälliger Verstoß, zum Beispiel das serienmäßige Kopieren von Produkten mit Markennamen, gestoppt werden.

3. Als ReparateurIn

Beim Download und Druck für **gewerbliche Zwecke**, dürfen keine Urheber-, Patent-, Design- oder Markenrechte Dritter verletzt werden.

Indizien dafür, dass es sich um ein geschütztes Teil handelt, sind Markennamen, unverwechselbare Designs oder technische Innovationen. Es gibt auf Open Source 3D-Plattformen Dateien, die auch zur kommerziellen Nutzung freigegeben sind. Auf kommerziellen Plattformen wie Shapeways kann der 3D-Druck von Dateien aus einer Datenbank in Auftrag gegeben werden.

Szenario 2

Teil selbst modellieren / nachbauen

1. Zur privaten Nutzung

Die Schrankenregelung § 53 Urhebergesetz (s.o.) greift auch hier.

2. Zur kommerziellen Nutzung

»Der Nachbau und Vertrieb eines **regelmäßig benötigten Verschleißteils**, das selbst nicht geschützt ist, für ein geschütztes Produkt, das noch nicht das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat, ist im Allgemeinen zulässig.«

»Die Nachahmung eines ungeschützten Teils, bei Ersatzteilen sogar mit den exakten Abmessungen ist erlaubt, solange **keine Täuschung** vorliegt. (Das soll den Wettbewerb im Sekundärmarkt stärken.) Das gilt auch für Zubehör, dort

*allerdings nur für die Übernahme der **Schnittstellen**.*«

[Kur, Ersatzteilmfreiheit zwischen Marken- und Designrecht, GRUR 2016, 20]

Diese Ausführungen legen nahe, dass eine Nachahmung per 3D/CAD-Programm und 3D-Druck für ungeschützte Teile zulässig ist. Jedoch bleibt hier die Frage offen, wie zu erkennen ist, ob ein Schutz besteht.

Dafür könnte eine **Patent-Registerrecherche helfen**: Ein Ersatzteil kann allerdings auch als Teil eines patentgeschützten Produkts an dessen Patentschutz teilhaben, daher **kann** das gewerbliche Herstellen bzw. Vertrieben des Teils eine Patent- oder Gebrauchsmusterverletzung darstellen.

Szenario 3

3D-Datei verbreiten / auf einer Plattform hochladen

Nur der/die InhaberIn des Urheberrechts oder der Nutzungsrechte darf das **Werk der Öffentlichkeit anbieten**, also über einen Verkauf oder eine kostenlose Verbreitung entscheiden (Verbreitungsrecht). Er/Sie kann Plattformbetreibern diese Rechte übertragen.

Um die Wahrscheinlichkeit einer Rechtsverletzung von Design-, Patent- oder Markenrechten beim Upload zu verringern, kann beim Nachmodellieren darauf geachtet werden unverwechselbare (von

einem Laien zu einem Hersteller zuordenbare) Formen zu **vereinfachen**, keine **technischen Innovationen** nachzumodellieren, die gegebenenfalls durch ein Patent geschützt sind, und keine Markennamen bei der Bezeichnung anzugeben – wegen Verwechslungsgefahr mit einem Originalteil. Stattdessen sollte es lieber mit »passend für« benannt werden. **DIN oder ISO-genormte** Funktionsteile können nicht patentrechtlich geschützt werden [Linkliste 68–71].

Beim Upload kann der/die UrheberIn auf vielen Plattformen seine/ihre Verwertungsrechte unter einer **Open Source Lizenz** (Angaben zu Namensnennung, Veränderung, kommerzielle Nutzung, Weitergabe) an Dritte übertragen:



Lizenzangaben bei happy3d.fr

Politischer Kontext



Die 5-stufige Abfallhierarchie [§ 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz] priorisiert die Wiederverwendung von Produkten als eine Form der Abfallvermeidung gegenüber der Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Das Ziel der ersten beiden Stufen der Hierarchie, die Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung von Altprodukten, ist es, Produkte, Baugruppen und Bauteile durch Maßnahmen der Prüfung, Reinigung und Reparatur wieder in einen ursprünglichen Verwendungszustand zu versetzen.

Vor dem Hintergrund könnten Gesetzgebende eine wichtige Rolle übernehmen, indem sie die Bedingungen für die Reparatur verbessern und somit zu einer möglichst langen Nutzungsdauer von Produkten beitragen.

Für die Reparatur von Ersatzteilen per 3D-Druck könnten die Hersteller von Elektronikgeräten zur Freigabe von Ersatzteildaten (2D-Pläne und/oder 3D-Dateien) verpflichtet werden – zumindest für Geräte, für die sie selbst keine Ersatzteile (mehr) bereitstellen.

Um Politik und Herstellern eine Nachfrage zu signalisieren ist es wichtig, dass GerätenutzerInnen ihr Recht auf Reparatur einfordern und Best Practice Anwendungsfälle schaffen. Zum Beispiel, indem sie die Versorgung mit 3D-gedruckten Ersatzteilen selbst in die Hand nehmen.



Um eine allgemeine Kultur der Reparatur zu stärken, stellt der **Runde Tisch Reparatur e.V.**, ein Zusammenschluss von Unternehmen und Verbänden, eine Liste von Forderungen an die Politik vor:

1. Zugang zu Ersatzteilen

Hersteller, Handel und Importeure müssen verpflichtet werden, allen MarktakteurInnen über die gesamte Nutzungsdauer hinweg Ersatzteile zugänglich zu machen.

2. Erschwingliche Preise

Der Preis von Ersatzteilen muss in einem vernünftigen und begründbaren Verhältnis zu ihren Herstellungskosten stehen und durch einen Rechtsanspruch sicherzustellen sein.

3. Zugang zu Ersatzteilen aus Altgeräten

Reparaturbetrieben und Initiativen ist in geeigneter Form ein Zugang zu Altgeräten zu ermöglichen, um aus diesen Ersatzteile zu gewinnen.

4. Reduzierte Mehrwertsteuer

Ein reduzierter Mehrwertsteuersatz auf Reparaturdienstleistungen macht die Reparatur auch kleinerer Geräte attraktiver gegenüber einem Neukauf.

Außerdem rechnen sich dann auch aufwendigere Reparaturen, die die Anwendung des 3D-Drucks für Ersatzteile wahrscheinlicher macht [Anwendungsfälle S. 52].

5. Reparaturfreundliches Produktdesign

Reparaturfreundlichkeit muss für KundInnen erkennbar sein: In Anlehnung an die Österreichische Norm ONR 192102 2014 fordern wir, auch in Deutschland die Möglichkeit zu schaffen, langlebige und reparaturfreundliche Produkte für VerbraucherInnen nachvollziehbar und glaubwürdig zu kennzeichnen.

6. VerbraucherInnen aufklären

VerbraucherInnen müssen über die Bedeutung von Wartungsmaßnahmen und die Möglichkeiten der Reparatur aufgeklärt werden.

7. Bereitstellung technischer Daten und Diagnosesoftware

Hier könnten »technische Daten« auch 3D-Dateien und technische Pläne umfassen. Damit würde diese Forderung unser Ziel, die Reparatur per 3D-Druck zu fördern, begünstigen.

8. Reparatur-Autorisierung

Mehr Fachbetriebe sollen auch während der Garantiezeit notwendige Reparaturen durchführen dürfen.

[Quelle: »Verbrauchsgüterkaufrichtlinie« 1994/44/EG und »Verbraucherrechte-Richtlinie« 2011/83/EU, nationale Umsetzungen].

Aktivitäten in Europa**Zur Forderung 1 Zugang zu Ersatzteilen**

gibt es auf europäischer Ebene schon Gesetze, die die Verfügbarkeit und die Information über die Verfügbarkeit von Ersatzteilen vorsehen: So müssen Hersteller in Frankreich und Slowenien beispielsweise VerbraucherInnen über die Verfügbarkeit von Ersatzteilen informieren. In Frankreich, Griechenland, Rumänien und Slowenien müssen Reparaturwerkstätten Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden (meist auf die erwartete Lebensdauer eines Produkts begrenzt).

Auch bei der **Forderung 4 nach reduzierter Mehrwertsteuer auf Reparaturdienstleistungen** machen es einige EU-Staaten bereits vor: Schweden hat zum 1. Januar 2017 die Mehrwertsteuer auf kleinere Reparaturarbeiten von 25 % auf 12 % gesenkt. Weitere acht EU-Staaten reduzieren ihre Mehrwertsteuer für kleinere Reparaturen einiger Produkt-

gruppen schon seit längerem: Belgien (reduzierter Mehrwertsteuersatz 6 %), Irland (13,5 %), Luxemburg (8 %), Malta (5 %), die Niederlande (6 %), Polen (8 %), Portugal (6 %) und Slowenien (9,5 %) [[Linkliste 122](#)].

Der **Runde Tisch Reparatur** vereint seit 2015 Organisationen aus Handwerk, Umwelt- und VerbraucherInnenschutz, Wissenschaft, Beratung und ehrenamtlicher Reparatur. Er ist Gründungsmitglied der 2019 gestarteten europäischen Kampagne **Right to Repair**, einer Koalition von 38 Organisationen aus 15 europäischen Ländern, die sich für ein **universelles Recht auf Reparatur** einsetzen.

*Du möchtest selbst aktiv werden?
Schau' am besten nach Kampagnen
mit den Hashtags **#RighttoRepair**
und **#RechtaufReparatur**.*



Linkliste & Anlaufstellen

Makerspaces

- 1 **Verbund offener Werkstätten, Werkstattsuche** <https://offene-werkstaetten.org/werkstatt-suche>
- 2 **Übersicht Labs** <https://3druck.com/labs>
- 3 **Fab Lab Weltkarte und Forum** <https://fablabs.io/labs/map>
- 4 **Fab Charta** <http://fab.cba.mit.edu/about/charter>
- 5 **Fab City** <http://fab.city>

Reparatur-Informationen und Quellen für Ersatzteile

- 6 **iFixit Anleitungen, Community und Werkzeuge** <https://ifixit.com>
- 7 **Teamhack, Forum** <https://forum.teamhack.de>
- 8 **Elektro Tanya Anleitungen** (international, viel HiFi): <https://elektrotanya.com>
- 9 **Runder Tisch Reparatur, Interessensverbund** <https://runder-tisch-reparatur.de>
- 10 **Rep.-Initiativen, Kalender und Infos für Repair Cafés** <https://reparatur-initiativen.de>
- 11 **Repair Café Termine, Plattform** <https://repaircafe.org/de>
- 12 **Mein Macher, lokale Reparaturs-Suche** <https://meinmacher.de>
- 13 **The Restart Projekt, engl. Reparatur-Initiative** <https://therestartproject.org/about>
- 14 **Ersatzteile für Haushaltsgeräte und Videos** <http://www.ersatzteilshop.de/>
- 15 **Linkliste der Reparatur-Initiativen** <https://www.reparatur-initiativen.de/seite/links>

Facebook-Gruppen (Anmeldung erforderlich)

- 16 **3D Druck, 3D-Drucker Community** <https://facebook.com/groups/drucker3d?fref=nf>
- 17 **3D Drucker Funktionsteile** <https://facebook.com/groups/368957270129467>
- 18 **Reparieren statt wegwerfen!** <https://www.facebook.com/groups/735186123200997>

Literatur

- 19 »The 3D Printing Handbook Technologies, design and applications«, Ben Redwood et. al., 2017
- 20 »Die Welt reparieren, Open Source und Selbermachen als postkapitalistische Praxis«, Andrea Baie, Tom Hansing, Christa Müller, Karin Werner, 2016
- 21 »Die Kultur der Reparatur«, Wolfgang M. Heckl, 2013

- 22 »Reparieren oder Wegwerfen?«, Stiftung Warentest 4/2017, S. 58 ff.
- 23 »Handwerk und Reparatur – ökonomische Bedeutung und Kooperationsmöglichkeiten mit Reparaturinitiativen«, Kilian Bizer, Kaja Fredriksen, Till Proeger, Franziska Schade, 02/2019, PDF Download Umweltbundesamt <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/handwerk-reparatur-oekonomische-bedeutung>

Allgemeine Infos / Einführung

- 24 **Basiswissen, 3D-Hubs** <https://www.3dhubs.com/knowledge-base>
- 25 **Magazin, 3dprintingindustry** <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#04-processes>
- 26 **Magazin, 3Druck** <https://3druck.com/grundkurs/uebersicht-3d-druckverfahren>

3D-Druck-Verfahren / Verfahrenswahl

- 27 **Videos Verfahren** <https://3d-reparieren.de/2020/12/17/3d-druck-verfahren/>
- 28 **Übersichts-Plakat Verfahren** <https://www.3dhubs.com/get/am-technologies>
- 29 **Verfahrensvergleich** <https://sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-and-traditional-manufacturing-processes/#selecting-right-process>
- 30 **Verfahrenswahl** <https://3dhubs.com/knowledge-base/selecting-right-3d-printing-process>

Suchmaschinen / Übersicht über 3D-Datei-Plattformen

- 31 **Übersicht Plattformen** <https://3druck.com/3d-modell-plattformen>
- 32 **Suchmaschine und Informationsplattform** <https://www.stlfinder.com/>
- 33 **Suchmaschine 3D-Dateien** <https://yeggi.com>
- 34 **3D-Teile finden gefiltert nach Funktionalität, Parametrischer Vorlage, Vergleichsdatei, sogar nach Foto/Skizze** https://www.3dfindit.com/?lang=de_DE

Plattformen für 3D-Dateien zum kostenfreien Download

- 35 **Kostenlose Ersatzteil-Dateien, Happy 3D** <https://happy3d.fr/en>
- 36 **Kostenlose Dateien, Thingiverse** <https://thingiverse.com>
- 37 **Internationale Community-Plattform, Myminifactory** <https://myminifactory.com>
- 38 **Teile-Community, Kataloge, B2B Part Community** <http://b2b.partcommunity.com/>
- 39 **Plattform für 3D-Dateien, CG Trader** <https://cgtrader.com>

- 40 Plattform für 3D-Dateien und Community, **Grabcad** <https://grabcad.com/library>
- 41 Plattform für 3D-Dateien, **Traceparts** <https://traceparts.com/de>
- 42 CAD-Dateien von Normteilen, **Norelem** <https://norelem.de/de/de/Home.html>

3D-Programme

- 43 **TinkerCad** <https://tinkercad.com>
- 44 **3D Slash** <https://www.3dslash.net/index.php>
- 45 **DesignSpark** <https://www.rs-online.com/designspark/mechanical-software-de>
- 46 **Open SCAD** www.openscad.org
- 47 **FreeCAD** <https://wiki.freecadweb.org/Download/de>
- 48 **Fusion 360** <https://autodesk.de/products/fusion-360/free-trial>
- 49 **Onshape** <https://www.onshape.com/de/>
- 50 **Slicer: Cura** <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>
- 51 **Slicer: Slic3r** <https://slic3r.org>
- 52 **Slicer: PrusaSlicer** <https://github.com/prusa3d/PrusaSlicer/releases>
- 53 **Slicer: CraftWare** <https://craftbot.com/software>

3D-Modellieren

- 54 **Fehlerquellen** <https://3faktor.com/genauigkeiten-bzw-toleranzen-im-3d-druck>
- 55 **Toleranzen** <https://rioprinto.com/3d-druck-designrichtlinien-fdm.html>
- 56 **Längenabweichungen** https://www.rioprinto.com/uploads/2/0/8/1/20818216/3d-druck_toleranzen_-_www.rioprinto.com.pdf
- 57 **Zahnrad Plugin TinkerCAD** <https://youtube.com/watch?v=pakqT2x8u5k>
- 58 **2D-Zahnradgenerator, 2\$ pro Download** <https://geargenerator.com/>
- 59 **2D-Zahnradgenerator, PDF** https://woodgears.ca/gear_cutting/template.html
- 60 **igus CAD-Konfiguratoren** <https://www.igus-cad.com/> → 3D-Druck CAD-Konfiguratoren
- 61 **Tipps und Tricks Stützgeometrie** <https://www.youtube.com/watch?v=v90NKni7n7E>
- 62 **Analyse Tools für 3D-Modelle** <https://cloud.materialise.com/tools>
- 63 **3MF Dateiformat / 3MF -Konsortium** <https://3mf.io> und <https://github.com/3mfconsortium>

3D-Modellierfragen

- 64 **Matchmaking 3d-reparieren.de** <https://3d-reparieren.de/#matchmaking>
- 65 **Reparatur-Initiativen Kategorie „3D-Reparatur - frag mich!“** <https://www.reparatur-initiativen.de/aktive/17-3d-reparatur-frag-mich>
- 66 **Ersatzteilservice 3d-löwe.de** <https://www.3d-loewe.de/i/ersatzteile>

- 67 **MyMiniFactory „Request a spare part“, nur auf der Seite!** <https://www.myminifactory.com/category/brands-spare-parts>

Normteile-Kataloge

- 68 **Ganter bemaßte Skizzen** <https://ganter-griff.de/de/home>
 69 **Kipp bemaßte Skizzen** <https://kippwerk.de/de/de/Home.html>
 70 **Häfele CAD-Daten Bibliothek** <https://teccad.hafele.com/Default.aspx?cul=de-DE&Mandant=HDE&KundenID=9999999>
 71 **3D-Stanadarteile** <https://www.matterhackers.com/articles/3d-print-hardware-from-mcmaster-carr>

3D-Druck-Anbieter lokal finden

- 72 **3D-Hubs:** <https://3dhubs.com>
 73 **makexyz** www.makexyz.com
 74 **Freelabster** <https://freelabster.com/de>
 75 **Treatstock** <https://treatstock.com>

Online 3D-Druck-Dienstleister

- 76 **3D-Löwe, inkl. Hilfe bei 3D-Ersatzteilen für Repair Cafés:** <https://3d-loewe.de>
 77 **Sculpteo** www.sculpteo.com/de
 78 **i.materialise** <https://i.materialise.de/de>
 79 **Shapeways** <https://Shapeways.com>
 80 **Dienstleisterübersicht** <https://3druck.com/dienstleister>

Materialwahl / Filamentvergleich / FDM-Drucker

- 81 **Simplify 3D, Materialübersicht** <https://simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table>
 82 **Materialvergleich** en.wikipedia.org/wiki/3D_printing_filament
 83 **Materialvergleich** <http://ddd-filament.com/filamentvergleich>
 84 **Filamentvergleich nach Herstellern** <https://3druck.com/3d-druck-material-liste>
 85 **Filamentwahl** <https://filamentworld.de/das-richtige-filament-finden/>
 86 **Recyclingfilament** <https://www.filamentworld.de/produkt-kategorie/recycle-filament>
 87 **Liste Drucker-Modelle** <https://3druck.com/3d-drucker-liste>

Übungen & Tutorials

- 88 **Fusion 360, Tutorials** <https://autodesk.de/products/fusion-360/learn-training-tutorials>
- 89 **Wissensbasis Modellieren für FDM** <https://stratasysdirect.com/resources/design-guidelines/fused-deposition-modeling>
- 90 **Wissensbasis Modellieren für FDM** <https://3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing>
- 91 **STL bearbeiten** https://w3-mediapool.hm.edu/mediapool/media/fk03/fk03_lokal/verbundlabore/kca/rpmlab/fk03_rp_stl_to_solid_r1.pdf
- 92 **3D-MPL Youtube Kanal (russisch), z.B. Handmixer-Zahnrad-Herstellung** <https://youtube.com/watch?v=-UXGTlvuSkE>

Gesundheit & Sicherheit

- 93 **»Studie untersucht mögliche Gesundheitsgefährdung durch 3D-Drucker«, Björn Greif (26.02.2016):** http://zdnet.de/88261394/studie-untersucht-moegliche-gesundheitsgefaehrung-durch-3d-drucker/?inf_by=5a354622671db8897c8b4885
- 94 **»Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers«, BrentStephens et.al. aus Atmospheric Environment, Volume 79, November 2013, Seiten 334-339:** <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086?via%3Dihub>

Troubleshooting

- 95 **Ausführlicher Troubleshooting-Guide** <https://simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting>
- 96 **Übersichts-Chart Qualitätsverbesserung** <https://rigid.ink/blogs/news/advanced-finish-quality>
- 97 **Drucker kalibrieren** <https://chinadrucker.de/2017/3d-drucker-kalibrieren-leicht-gemacht>

Ressourcenschonender 3D-Druck

- 98 **»Reparieren im Dienste der Nachhaltigkeit Kosten-Nutzen-Analyse und Untersuchung der Auswirkung auf Ressourcenverbrauch, Energiebedarf und Beschäftigung an Hand von drei Fallbeispielen«, GUA – Gesellschaft für umfassende Analysen, 2004**
- 99 **»Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)«, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2017**

- 100 »Horizon Scanning Additive Fertigungsverfahren/3D-Druck-Anwendungen und Potenziale«, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2015, Claudio Caviezel et. al.
- 101 »Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit, Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker-Bewegung und Industrie 4.0«, Schriftenreihe des IÖW 206/14, Ulrich Petschow et. al.
- 102 **Precious Plastic, Open Source Kunststoff-Recyclinganlage** <https://preciousplastic.com>

Unternehmensaktivitäten

- 103 **Ersatzteil-Dienstleister für Industriekunden** https://fit.technology/additiv_gefertigte_ersatzteile.php, www.ksb.com/de-at/service/reparatur/3d-druck-ersatzteile
- 104 **Ersatzteil-Dienstleister für Privatkunden** <https://3faktor.com>
- 105 **Interview Stefanie Brickwede, Deutsche Bahn (12.09.2017)** <https://inside.bahn.de/3d-druck-interview>
- 106 **Siemens Spare Part Services** <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/services/spare-part-services.html>
- 107 **Krups** <https://www.krups.de/reparierbarkeit>
- 108 **SHAREPAIR** <https://3d-reparieren.de/sharepair>
- 109 **Miele »3D4U«** https://www.thingiverse.com/miele_3d4u/designs
- 110 **Boulanger »happy3D«** <https://www.happy3d.fr/en>
- 111 **»The future of spare parts is 3D A look at the challenges and opportunities of 3D printing«**, Dr. Reinhard Geissbaue et. al., 2017: <https://strategyand.pwc.com/reports/future-spare-parts-3d>

Community-Aktivität

- 112 **Maker vs. Virus Initiative** <https://www.makervsvirus.org>

Rechtlicher Kontext

- 113 **»Rechtsfragen des 3D-Druckes«**, Christian Stücke, 01.11.2013: <https://community.beck.de/gruppen/forum/rechtsfragen-des-3d-druckes>
- 114 **»3D-Druck | Patent- und Urheberrecht«**, Martin Misselhorn, (zuletzt aufgerufen 13.05.2018): https://mw-patent.de/publikationen/3d-druck_patentverletzung_urheberrecht_3d-drucker_wettbewerbswidrige_nachahmung.html
- 115 **»Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)«**, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2017

- 116 »Der 3D-Druck von Ersatzteilen, Immaterialgüterliche Implikationen«, Wissenschaftlicher Dienst Deutscher Bundestag, Dokumentation WD 7-3000-074/18
- 117 **Urheberrecht** http://www.gesetze-im-internet.de/urhg/_53.html
- 118 **Markengesetz** http://www.gesetze-im-internet.de/markeng/_15.html
- 119 **Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin** [https://wirtschaftsrecht-news.de/2016/01/urheberrecht-beim-privaten-3d-druck-plagiat-oder-privatkopie/\(2018\)](https://wirtschaftsrecht-news.de/2016/01/urheberrecht-beim-privaten-3d-druck-plagiat-oder-privatkopie/(2018))
- 120 **3dmake.de / Urheberrechtsverletzungen auf der beliebten Maker-Plattform Thingiverse** [https://www.3dmake.de/3d-druck-modelle/urheberrechtsverletzungen-auf-der-beliebten-maker-plattform-thingiverse/\(2018\)](https://www.3dmake.de/3d-druck-modelle/urheberrechtsverletzungen-auf-der-beliebten-maker-plattform-thingiverse/(2018))
- 121 »Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren«, VDI, 2016

Politischer Kontext

- 122 »Mehrwertsteuersenkung von Reparaturdienstleistungen« **Germanwatch Bericht** <https://www.germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/publication/17995.pdf>
- 123 **Frankreich als Vorreiter in Sachen Reparatur, Artikel** <https://www.forum-csr.net/News/12362/EigenReparaturstattElektroSchrott.html>



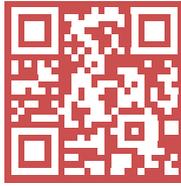
Kooperationsmodelle / Wo schon 3D-repariert wird

- 124 **Repair Café Lünen** <https://gruene-luenen.de/gruennahe-projekte/repair-cafe/>
- 125 **Techniknotaufnahme Eigenbaukombinat Halle (Saale)** <https://eigenbaukombinat.de/technik-notaufnahme>
- 126 **Repair Café im GarageLab Düsseldorf** <https://garage-lab.de/repair-cafe-duesseldorf>
- 127 **Hammertime Kassel** <https://www.hammertimekassel.de>
- 128 **Hobbyhimmel Stuttgart** <https://hobbyhimmel.de>
- 129 **Erfindergarden München** <https://erfindergarden.de>
- 130 **Fab Lab Fabulous St. Pauli** <http://www.fablab-hamburg.org>
- 131 **machBar Potsdam** <https://machbar-potsdam.de>
- 132 **Repair Café Hilpoltstein** <https://www.repaircafe-hilpoltstein.de/3d-druck>
- 133 **Makerspace Bocholt** <https://makerspace-bocholt.de>
- 134 **Fablab München** <https://www.fablab-muenchen.de>
- 135 **Makerspace Görlitz** <https://www.rabryka.eu/projekte/detail/13-Makerspace-Werkstatt>
- 136 **HEI München** <https://www.hei-muenchen.de>

Bildquellen

Seite

- 5 Profilbilder:** links Nina Brandmann / rechts Eren Bozbas
- 7 3D-drucken:** Nikolaus Marbach
- 9 Repair Café:** Astrid Lorenzen, CC
- 10 Waschmaschinenteile:** Anika Paape, CC
- 14 1 Bodenbürste:** happy3D, CC / **2 Klapptisch:** Reinhard Nickels /
3 Toaster: creativetools, CC / **4 Mixer:** Astrid Lorenzen, CC /
5 Haken: Astrid Lorenzen, CC
- 15 6 Rolle:** Luke Cheng / **7 Autoschlüssel:** creativetools, CC /
8 Fernbedienung: happy3D, CC / **9 Fahrradkob:** snewpy thingiverse designer
- 16 Ball:** pixababy, CC / **Schichtrillen:** Astrid Lorenzen, CC
- 17 Grafiken:** Anika Paape, CC
- 19 Bionische Form:** creativetools, CC
- 27 Messwerkzeuge:** Anika Paape, CC
- 28 Bildschirmfoto:** von geargenerator.com, Anika Paape, CC / **O-Ring:** Astrid Lorenzen, CC
- 29 3D-Konstruktionen:** Anika Paape, CC / **Warping:** MakerBot
- 34 Recycling-Filament:** Astrid Lorenzen, CC / **Filament:** Astrid Lorenzen, CC
- 35 Bedampft:** Astrid Lorenzen, CC
- 36 3D-Konstruktion:** Anika Paape, CC / **Geschirrspülkorbrolle:** Anika Paape, CC
- 37 Brotschneidemaschine:** Anika Paape, CC / **Motorzahnrad:** Wolfgang Ehle
- 38 Schiebedachknopf:** Anika Paape, CC / **Schiebedacharmatur:** Anika Paape, CC
- 39 Gasdruckknopf:** Anika Paape, CC
- 40 Plattenspielerteil:** Astrid Lorenzen, CC
- 42 Kopfstütze:** Deutsche Bahn/Oliver Lang
- 48 Fab-Lab München:** Astrid Lorenzen
- 52–55, 60–67 Grafiken:** Anika Paape, CC
- 68 STL-Dateil:** Anika Paape, CC
- 69 Cura:** Anika Paape, CC
- 70, 72 Grafiken:** Anika Paape & Freepik von flaticon.com
- 77 Bildschirmfoto:** von happy3d.fr, Astrid Lorenzen



<https://3d-reparieren.de>

Impressum

Verfasserinnen

Astrid Lorenzen

astrid@3d-reparieren.de
Hamburg

Anika Paape

anika@3d-reparieren.de
Köln

Kontaktadresse

Anika Paape
Auerstraße 19
50733 Köln

Herausgeber

Runder Tisch Reparatur e.V.

info@runder-tisch-reparatur.de
Tränkestraße 7
70597 Stuttgart



klimateutral gedruckt bei
dieUmweltDruckerei GmbH
Lavesstraße 3
30159 Hannover

auf 100% Recyclingpapier, ausgezeichnet
mit dem Umweltzeichen Blauer Engel



Klimaneutral

Druckprodukt

ClimatePartner.com/12312-2012-1062



