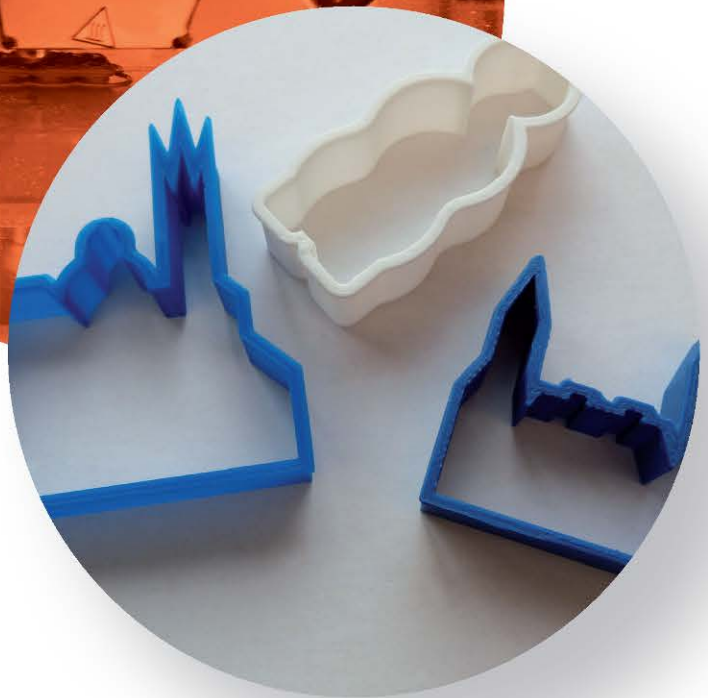
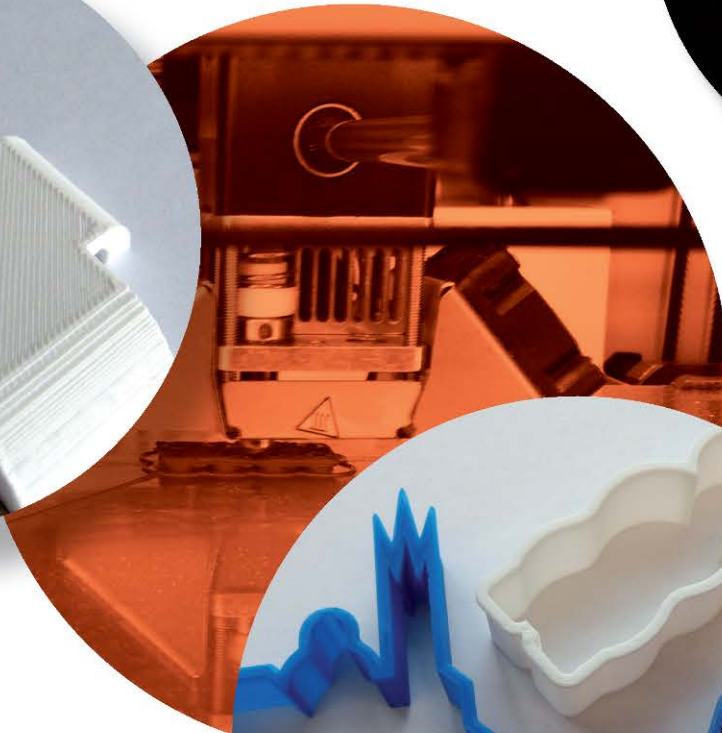
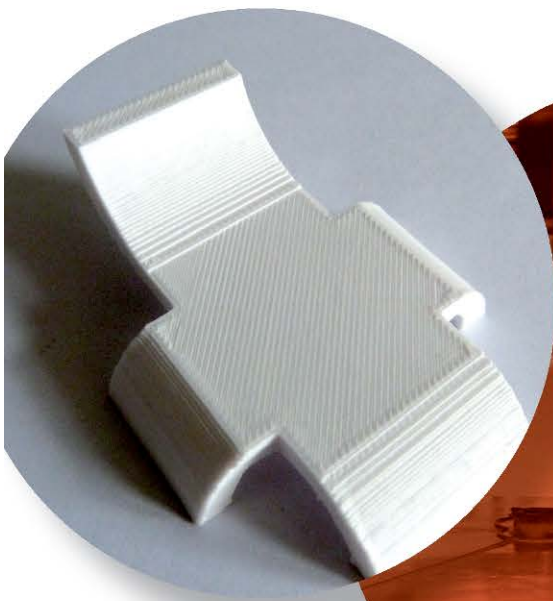


3-D-Druck in der Schule

Informationen und Orientierung
für den Einstieg in den Unterricht



QUA-LiS NRW

Beratung. Unterstützung. Qualität.

zdi Zukunft durch
Innovation
Nordrhein-Westfalen

Inhalt

Vorwort	3
Funktionsweise des 3D-Druck	4
Gesellschaftliche Zukunftsrelevanz	4
Chancen für die Schule	5
Didaktische und methodische Aspekte	6
Grundlagen – 3D-Modelling und 3D-Druck	10
Software	15
Konstruieren von 3D-Modellen	17
Modellieren von 3D-Modellen	25
Collagieren von 3D-Modellen	29
Drucksoftware	32
Drucker	34
Druckeranschaffung	34
Alternativen zum Druckerkauf	36
Das Filament	37
Gesundheitliche Aspekte	38
Überwachung des Druckvorgangs	38
Exemplarische Unterrichtsprojekte	40
Unterrichtsbeispiele zum digitalen Konstruieren	40
Unterrichtsbeispiele zum digitalen Modellieren	49
Unterrichtsbeispiele zum digitalen Collagieren	51
Einige zusätzliche Unterrichtsideen für den 3-D-Druck speziell im Kunstunterricht	54
Probleme beim Druck – Erste Lösungsansätze	56
Anhang	59
Beispiel der Arbeitsschritte bei der Konstruktion eines 3D-Modells	59
Workshop Entwurf eines Einkaufswagenchips	64
Exemplarische Arbeitsaufträge für 3D-Projekte	67
Glossar an Fachbegriffen zum 3D-Druck	74
Wichtige Links und Adressen	78

Impressum



Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –
Landesinstitut für Schule
des Landes Nordrhein-Westfalen (QUA-LiS NRW)

E-Mail: poststelle@qua-lis.nrw.de

Web: www.qua-lis.nrw.de

Vorwort

Digitales Lernen und Medienbildung spielen eine immer noch zunehmende Rolle in Schule und Unterricht. Ein exponiertes Beispiel dafür ist der 3D-Druck, von dessen Verbreitung tiefgreifende wirtschaftliche und soziale Veränderungen ausgehen werden und dessen Möglichkeiten bereits heute den Unterricht in unterschiedlichen Fächern bereichern können.

Neue Medien sind kein Selbstzweck, sondern neue Werkzeuge im Lerngeschehen, deren Einsatz in ein pädagogisches Konzept eingebettet sein muss. In Nordrhein-Westfalen ist der Einsatz neuer Medien fächerübergreifend in allen Lehrplänen integriert.

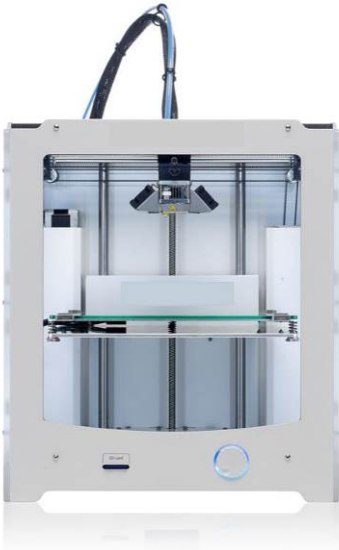
Die Handreichung „3D-Druck in der Schule“ bietet Schulen für ihren Einstieg in den Entwurf und Druck von 3D-Objekten Informationen und Orientierungspunkte. Der besondere Reiz des 3D-Drucks im Unterricht liegt in seiner fächerübergreifenden Anwendbarkeit. Exemplarisch an den Fächern Technik und Kunst wird in der Handreichung dargestellt, wie der Einsatz gelingen und welche Bereicherung für den Unterricht daraus entstehen kann.

Die vorliegende Handreichung ist in Kooperation mit dem zdi-Netzwerk entstanden. Sie ist Teil des Angebots von QUA-LiS NRW an Informationen und Praxismaterialien für Schulen zur Unterstützung ihrer anspruchsvollen Aufgaben.

Ich wünsche allen, die mit dieser Handreichung und dem 3D-Druck arbeiten, gutes Gelingen und viel Erfolg!

Eugen Ludwig Egyptien
Direktor
Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –
Landesinstitut für Schule
des Landes Nordrhein-Westfalen (QUA-LiS NRW)

Funktionsweise des 3D-Druck



Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das sogenannte FDM- bzw. FFF-Verfahrenⁱ mit handelsüblichen 3D-Druckern. Diese Drucker besitzen i.d.R. eine beheizte Düse, welche in drei Richtungen bewegt werden kann. Motoren bewegen den Druckkopf über einer Arbeitsplatte, während die Düse Kunststoff durch Erhitzen verflüssigt und Punkt für Punkt auspresst. Dabei wird die Düse Lage um Lage nach oben bewegt. Dadurch wird es möglich, dreidimensional zu drucken.

Je nach Modell des 3D-Druckers gibt es auch die Variante, dass die Düse in der Höhe fix montiert ist und die Arbeitsplatte sich lagenweise nach unten bewegt.

Das Material, mit dem gedruckt wird und das als Filament bezeichnet wird, ist herkömmlicher Kunststoff. Dabei unterscheidet man zurzeit zwischen ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) und PLA (Polylactid). PLA gilt gemeinhin als „einsteigerfreundlich“, da es weniger Erfahrung im Druck benötigt.

Gesellschaftliche Zukunftsrelevanz

Mit den stetig fallenden Preisen für 3D-Drucker wird die größere Verbreitung dieser Geräte möglich. 3D-Druckern wird eine Zukunft prognostiziert, die für bestimmte Produktbranchen tiefgreifende Veränderungen bedeuten:

- Verlagerung des Produktionsorts,
- bedarfsorientierte Anpassung des Produktionszeitraums und der Produktionsweise,
- Änderungen in der Distribution bzw. Lagerung der Produkte und
- Flexibilisierung in der Anpassung von Produktlösungen bezogen auf Verwendungssituationen.

Zukunftsforscher sprechen bereits von einer „neuen industriellen Revolution“, der „Demokratisierung der Produktionstechnik“ und einem „Megatrend“ in der Industrie.

Das Aufstellen von 3D-Druckern ist nicht an Gewerbeflächen gebunden. Geräte für kleine Druckformate können auf Schreibtischen stehen, die geringe Belastung der Umwelt mit Lärm, Gerüchen oder Emissionen macht sie ortsunabhängig. Die Daten zur Steuerung des Druckvorgangs können auf einem Datenträger wie z.B. einem USB-Stick transportiert oder über das Internet beschafft werden, sind also weltweit verfügbar.

Die Herstellung von Erzeugnissen des 3D-Drucks kann im Produktionsablauf unmittelbar vor die Verwendung gelegt werden, Objekte wie z.B. Ersatzteile können vom Endabnehmer zu Hause hergestellt werden.

Lagerung oder Transport entfallen weitgehend, da lediglich die Druckdaten transportiert werden müssen. Selten nachgefragte Teile verursachen keine Lagerkosten mehr. Umgekehrt werden die Preise selten gefertigter Produkte langfristig sinken.

Nicht passgenaue Teile oder aus anderen Gründen notwendige Anpassungen werden nicht nachbearbeitet, sondern durch Korrektur der Druckdaten und erneuten Ausdruck nachgebessert.

Beispielhafte Anwendungsbereiche:

- Kleinere bis mittelgroße Kunststoffprodukte werden in Kleinserien produziert.
- Prototyping: Prototypen und Entwicklungsmodelle werden vor Beginn der Massenfertigung erstellt.
- Seltene Ersatzteile werden einzeln gefertigt. (Vgl. auch das oft zitierte Beispiel des Handschellenschlüssels.)
- Im Produktdesign werden Unikate und Kleinserien angefertigt.
- Speziell Modedesign-Objekte (Schmuckobjekte, Accessoires, Kopfbedeckungen, Schuhe bis hin zu Kleidern ...) werden im 3D-Druck produziert.
- Bauteile für den (Hobby-)Modellbau werden bereitgestellt.
- Architekturmodelle und technische Modelle werden entworfen.
- Kunstwerke (serielle Objekte, Plastiken, künstlerisches Design) aus dem 3D-Druck erweitern die künstlerischen Medien.
- Lebensmittel, z.B. Nudeln, Zucker oder Schokolade können zubereitet werden.
- Bauteile im Fahrzeugbau (Fahrrad, Auto) müssen nicht bestellt werden, sondern können vor Ort erzeugt werden.
- Module für verschiedene den Druckraum überschreitende Formate, können einzeln gedruckt und zu einem mehrteiligen Objekt zusammengefügt werden
- Bauelemente werden angefertigt, z.B. das oft zitierte, individuell geplante gedruckte Einfamilienhaus (nur die Outlines der Wände, die dann mit Spezialbeton gefüllt werden).
- Passgenaue Prothesen werden für die medizinische Versorgung angefertigt, die auf 3D-Scans der nachzuformenden Körperteile beruhen.
- Neue Materialien, die verdruckt werden können, erweitern die Einsatzmöglichkeiten: Lebende Gewebe (Tissue Engineering), Metalle, Baumaterialien wie Kunststeine.
- Sogar Objekte aus selbst formenden Strukturen (z.B. in Berührung mit Wasser) werden möglich.

Chancen für die Schule

Die oben aufgeführten Aspekte bedeuten für eine Schule, die für die Arbeitsbedingungen der Zukunft offen sein will, schon heute eine Herausforderung. Der schulische Einsatz des 3D-Drucks beruht auf einer grundlegenden Voraussetzung: Schülerinnen und Schüler entwerfen dreidimensionale Objekte am Rechner. Dabei können

- komplett neue 3D-Modelle entstehen,
- vorhandene Modelle abgewandelt werden,
- oder bereits bestehende eigene oder fremde Teilprodukte zusammengeführt werden.

Die Planungen werden umgesetzt, indem die Entwürfe ausgedruckt werden. In mehreren Evaluations- und Korrekturphasen werden die Modelle optimiert oder nach bestimmten Kriterien variiert.

Dreidimensionale Objekte nicht nur in der zweidimensionalen Darstellung als Abbildung zu erfahren, sondern als reales Objekt erkunden zu können, bewirkt eine hohe Motivation. Die physischen Qualitäten des Objekts wie die Form, die Oberflächenbeschaffenheit und das Gewicht taktil und motorisch zu erkunden, stellen einen hohen sensorischen Anreiz dar.

Viele Lernprodukte, die bisher nur als Planungsprodukte in vorwiegend zweidimensionaler Darstellung in der Schule realisierbar waren, können nun als dreidimensionales Modell oder Endprodukt erstellt werden. Bei traditionellen Fertigungsverfahren von Modellen und Objekten wie auch bei der plastischen Gestaltung stoßen die Korrekturen, die bei der Verwirklichung der Planung eines Produkts möglich sind, an Grenzen, die im verwendeten Material liegen. Im Unterschied dazu ist der 3D-Ausdruck mit vergleichsweise geringem Aufwand wiederholbar und endlos korrigierbar.

Fehler und Ausführungsvarianten können durch die Möglichkeit des veränderten Ausdrucks des Objekts thematisiert, evaluiert und korrigiert werden.

Dreidimensionale Modelle sind an Anschaulichkeit durch kaum ein anderes Medium zu überbieten. Modelle unterstützen vor allem dann den Unterricht, wenn die technische Funktionsweise, die Dynamik des Geschehens oder die räumliche Anordnung im Vordergrund steht. Für die Anschaulichkeit von Lehrmodellen ist entscheidend, dass das technische oder gestalterische Problem, das im Zentrum steht, tatsächlich durch das Modell wiedergegeben wird. Anderenfalls wird die Vorstellungskraft der Schülerinnen und Schüler überfordert. Modelle sind durch ihre Anschaulichkeit ein Garant für hohe Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler und geben ihnen das sichere Gefühl, praxisnah unterrichtet zu werden. Das einfache, detailgetreue Abbilden von Objekten durch den 3D-Druck bietet demnach für die Mediendidaktik eine Fülle neuer Möglichkeiten.

Didaktische und methodische Aspekte

Die Arbeit an und die Auseinandersetzung mit 3D-Modellen kann zu verschiedenen Unterrichtszwecken eingesetzt werden. Allen gemeinsam ist die Förderung der Orientierung im dreidimensionalen Raum und des räumlichen Vorstellungsvermögens. Nach Jean Piaget ist die Raumerfahrung ein zentraler Fähigkeitsbereich für Umwelterfahrung und kognitive Entwicklungⁱⁱ.

Wo immer Unterrichtsinhalte, Methoden, Kompetenzen und Lernziele auf dreidimensionales Denken angewiesen sind, ist die Arbeit mit 3D-Software hilfreich, werden die Lernprozesse durch die Entwicklung von 3D-Modellen und ihren Ausdruck unterstützt. Hier seien nur exemplarisch einige Fächer und denkbare Einsatzgebiete genannt:

Mathematik	–	Verläufe von Graphen im dreidimensionalen Koordinatensystem
Biologie	–	Statische und dynamische Lehrmodelle in Zoologie und Botanik
Chemie	–	Räumliche Struktur von Molekülen
Physik	–	Mehrdimensionale Bewegungen, Astrophysik
Geographie	–	Dreidimensionale Modelle
Sport	–	Dreidimensionale Bewegungsmodelle

Für viele schulische Lernsituationen, die in den Lehrplänen angelegt sind, bietet der dreidimensionale Ausdruck von Objekten eine Bereicherung, der den Unterricht um eine zusätzliche Performanzsituation für Kompetenzen erweitert. Der besondere Reiz des 3D-Drucks im Unterricht liegt u.a. in seiner fächerübergreifenden Anwendbarkeit.

3D-Druck im Fach Kunst

Die derzeit geltenden Kernlehrpläne für das Fach Kunst sind kompetenzorientiert angelegt. Dies bedeutet eine prinzipielle Offenheit in den Gestaltungsbereichen, für die auch der 3D-Druck in Betracht kommt. Möglichkeiten bieten sich vor allem dann, wenn im Unterricht Bereiche wie *Architektur*, *Design* oder *plastisches Gestalten* thematisiert werden sollen. Der Prozess der Bildfindung (der sogenannte bildfindende Dialog) kann durch zeichnerische Skizzen eingeleitet werden und ab der Entwurfsphase oder Experimentierphase an den Computer verlagert werden, oder aber nach dem Motto Pablo Picassos „Ich suche nicht, ich finde.“ durch Internetrecherche inspiriert werden.

3D-Druck im Fach Technik

Die Kernlehrpläne Technik weisen diverse Inhaltsfelder auf, in denen 3D-Druck thematisiert werden kann. Fachliche Inhalte wie das Zeichnen in verschiedenen Ansichten und Perspektiven, die Bemaßung oder das Lesen und Anfertigen technischer Zeichnungen werden sowohl händisch als auch mittels 3D-CAD-Zeichenprogrammen vermittelt. Prozessbezogene Kompetenzen wie das Weiterentwickeln des räumlichen Denkens, die Abstraktion vom Gegenstand zur Zeichnung und umgekehrt können durch den Einsatz der 3D-Software und das Erstellen des entwickelten 3D-

Objektes wesentlich einfacher erworben werden. Indem Schülerinnen und Schüler ihre 3D-Objekte selbst entwickeln und produzieren können, im Nachhinein deren Funktionalität erproben, bewerten und gegebenenfalls optimieren können, erwerben sie darin Kompetenzen, Vorschläge zur Anfertigung realer, funktionaler Gegenstände zu erarbeiten und zu begründen.

3D-Druck im Fach Informatik

Die Kernlehrpläne für das Fach Informatik weisen ebenfalls mehrere Inhaltsfelder und Kompetenzbereiche auf, in denen Bezug auf die Erstellung von 3D-Objekten genommen werden kann.

Die Wechselwirkung von Informatiksystemen und ihrer Umwelt in ihrer zunehmenden Relevanz sind im Inhaltsfeld *Informatik, Mensch und Gesellschaft* der gymnasialen Oberstufe zu finden. Der Kompetenzbereich *Argumentieren* kann einen Schwerpunkt erhalten, indem diese Folgen thematisiert werden.

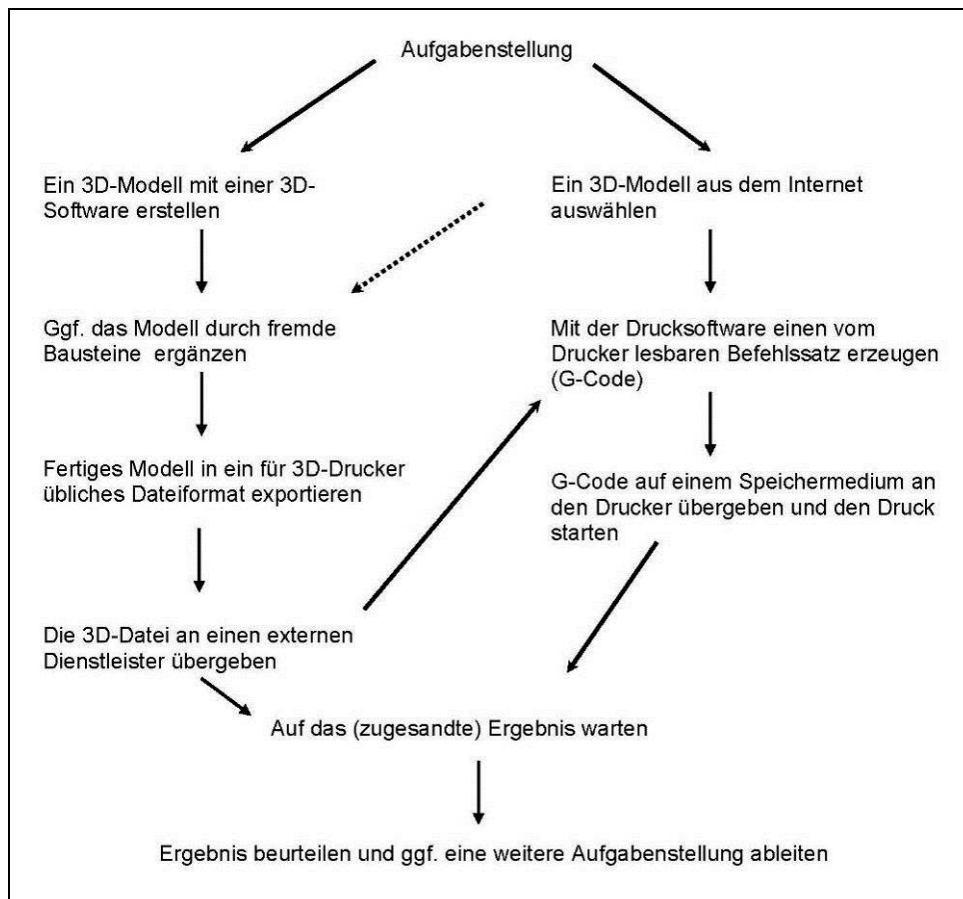
Durch die Implementation von Fahrwegalgorithmen des Druckkopfs beim Ausdruck von 3D-Objekten wird auf das Inhaltsfeld *Algorithmen* mit den Kompetenzschwerpunkten *Implementieren*, sowie *Darstellen und Interpretieren* Bezug genommen.

Weitere Möglichkeiten finden sich im Informatikbereich der Sekundarstufe I, in dem über den G-Code (Steuerdaten des Druckers, siehe Kapitel „Grundlagen“) die Darstellung und Interpretation von Daten behandelt werden kann. Oder man beschäftigt sich mit 3D-Druck im Rahmen einer Unterrichtsreihe zum Thema Grafik. So kann der 3D-Druck als eigenständige Reihe im Rahmen von CAD-Anwendungenⁱⁱⁱ oder als Folgeanwendung zu Grafikprogrammen wie GIMP oder POV-Ray behandelt werden.

Der Workflow – alternative methodische Vorgehensweisen

Die Optionen, von einer Aufgabenstellung über unterrichtliche Prozesse zu einem dreidimensionalen bildnerischen Ergebnis zu kommen, sind vielfältig, die Zwischenschritte zahlreich.

Auf dem folgenden Schaubild sind grundsätzlich mögliche Arbeitsabläufe dargestellt.



HANDREICHUNG 3D-Druck

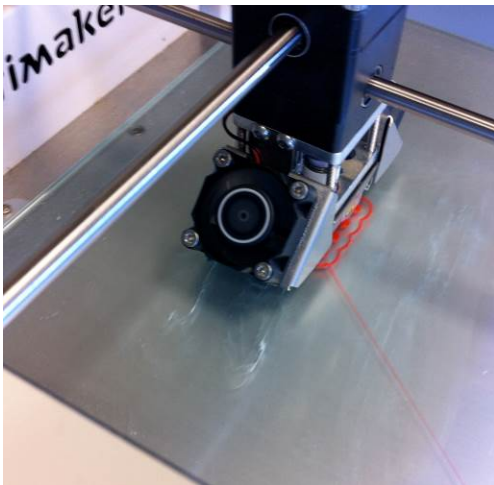
Es ist erkennbar, dass schon der Aufgabentyp unterschiedlich sein kann. Im einen Fall geht es um die Verwendung einer 3D-Software, mit der ein Modell erstellt werden kann. Es bietet sich an, dass mehrere Schülerinnen und Schüler an einem Konzept arbeiten, wobei arbeitsteilig erstellte Teilstücke zusammengefügt werden.

Alternativ dazu bietet sich die Möglichkeit an, aus einem Pool an Modellen eines auszuwählen und ggf. zu modifizieren. Auch hier sind kooperative Arbeitsformen denkbar.

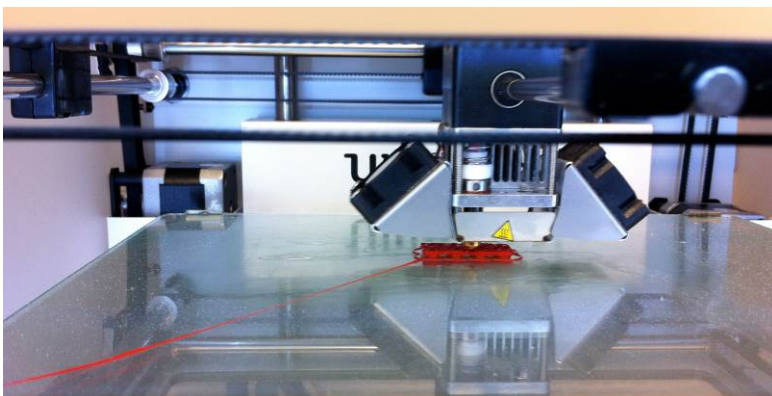
Erste Druckerfahrungen und ihre Evaluation

Es hat sich als trügerisch herausgestellt, davon auszugehen, dass die Einfachheit, die ein Ausdruck von Schrift- oder Fotodateien inzwischen erreicht hat, bereits heute beim Ausdruck von 3D-Modellen erwartet werden kann. Einige Vorbereitungen sind erforderlich. Schülerinnen und Schüler erkennen dabei, dass bei Überhängen und ausladenden Formen (raumgreifendes Modell) Stützmaterial angebracht werden muss, das nach dem Ende des Druckprozesses abgeknickt, abgeschnitten oder abgefeilt wird. Für den Ausdruck muss die erstellte Datei in einem Dateiformat exportiert werden, das mit der Drucksoftware kompatibel ist. Die Drucksoftware kann mehrere Druckobjekte gleichzeitig aufnehmen und lässt kleine Korrekturen zu. So können die Modelle noch skaliert werden oder gedreht und ggf. Stützmaterial eingefügt werden. Die fertige Packliste muss dann über ein Datenspeichermedium zum Drucker gelangen. SD-Karten- oder USB-Slots sind die üblichen Schnittstellen eines 3D-Druckers.

Die Datei mit dem G-Code wird eingelesen. Ein Vorheizen des Druckers ist erforderlich, auch das Filament muss in genügender Menge vorhanden sein. Das Druckbett muss ggf. vorbehandelt werden, damit die ersten feinen Fäden aus der Düse des Druckers haften bleiben. Nun startet der Druck. Unmittelbar können Schülerinnen und Schüler beobachten, wie die entworfenen Objekte Schicht um Schicht aufgebaut werden.



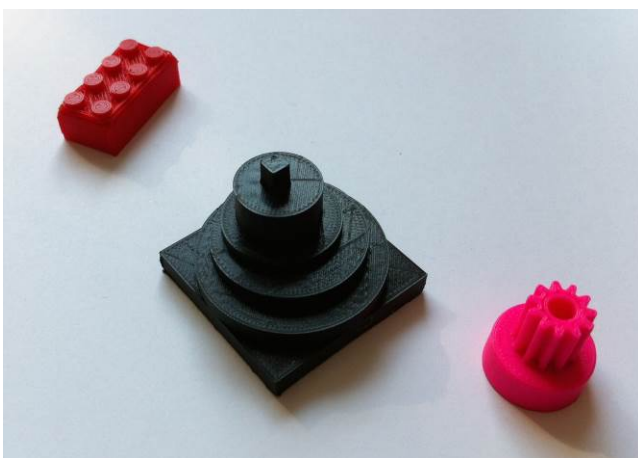
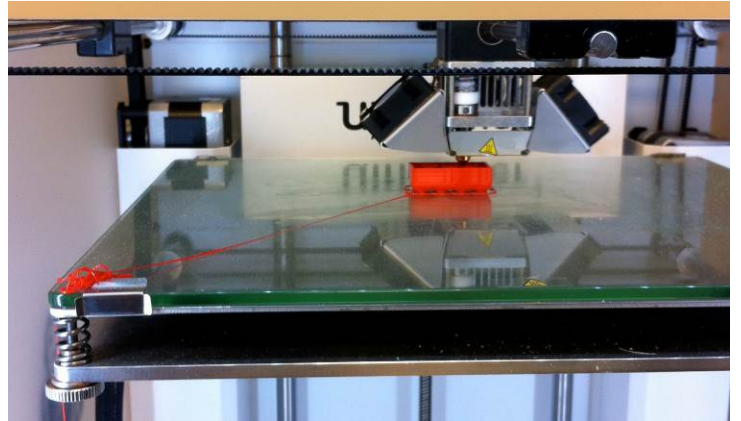
Da der Druckprozess oft Stunden dauert, ist es sinnvoll, dass der Drucker in einem separaten Raum steht, um den Unterricht nicht durch Druckgeräusche zu stören. Je nach verwendetem Filament entstehen Emissionen, die den Atem reizen können (vgl. Kapitel „Gesundheitliche Aspekte“).



Werden die Objekte zum Ausdruck an einen Dienstleister übergeben, müssen dessen Bedingungen abgefragt werden: Dateiformat, Preis, Lieferzeit (und Datenträger, falls kein Internet-Versand gewünscht wird).

HANDREICHUNG 3D-Druck

Das Druckergebnis wird in jedem Fall Erstaunen auslösen. Entweder, weil immer wieder überrascht, wie präzise und detailreich das selbst entworfene, kombinierte oder modifizierte Objekt geworden ist. Auch die von der Bildschirmdarstellung oft abweichende Einfarbigkeit wird zu bewerten sein.



Überarbeitung: Einzelne Schülerinnen und Schüler müssen feststellen, dass nicht alle Partien wie beabsichtigt gedruckt wurden, denn es handelt sich ja um ein mehransichtiges Objekt. Auch die Überschätzung der Größe von Details, die am Bildschirm beliebig groß dargestellt werden können, kann zu einer Überarbeitung anregen. Wenn das Objekt den Zielen bzw. der Aufgabenstellung entspricht, können die Ergebnisse als Ausgangspunkt zur Entwicklung einer neuen, vielleicht komplexeren Aufgabe dienen.

Aspekte der Arbeit mit 3D-Software

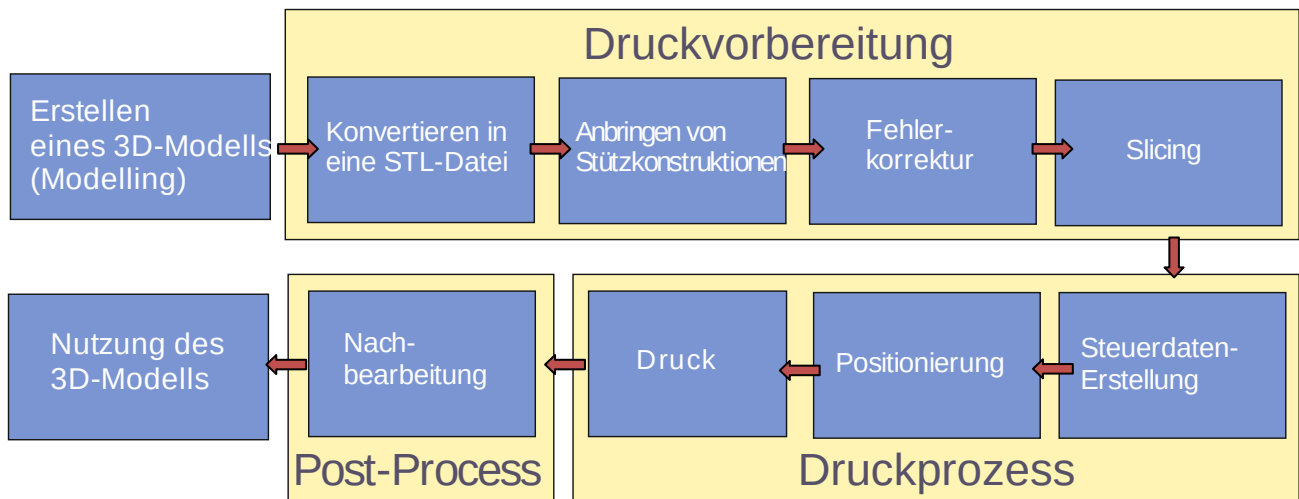
Die beim Erstellen von 3D-Modellen benötigten Arbeitsschritte basieren auf den Operationen Konstruieren, Modellieren, Importieren oder Zusammenfügen.

Werden Objekte konstruiert, so wird entweder aus zweidimensionalen Zeichnungen eine dritte Dimension „herausgezogen“ oder aus einem gegebenen dreidimensionalen Objektbestand ein Objekt ausgewählt. In beiden Fällen erscheint es früher oder später in einer perspektivischen Darstellung auf einer definierten Grundfläche. Das Objekt kann dann aus beliebiger Perspektive betrachtet werden. Sobald ein zweites Objekt hinzutritt, ist eine genaue Überprüfung der Position und Lage, Ausrichtung und Größe - und damit der Abstände oder der Überlagerung der Objekte im Raum erforderlich. Die Beurteilung dieser drei Merkmale erfordert genaues Beobachten und systematisches Variieren des Betrachterstandpunkts. Das Verhältnis zueinander ist bei 3D-Objekten ein Vor- und Hintereinander, ein Neben- und Übereinander. Wird eine ungünstige Ansicht gewählt, verschwinden Objekte gänzlich durch gegenseitige Überdeckung. Auch die Beurteilung, ob eine Berührung oder ein kleiner Spalt vorliegt, kann oft nur bei erheblicher Vergrößerung gelingen.

Diese Anforderungen der Software an Lernende fördern in besonderer Weise das dreidimensionale Denken und das räumliche Vorstellungsvermögen.

Grundlagen – 3D-Modelling und 3D-Druck

Die im vorigen Kapitel entwickelte Vorstellung eines Workflows mit grundsätzlich verschiedenen methodischen Wegen von der Idee bis zum Ausdruck eines Modells wird hier vorausgesetzt. Der Prozess zur Erstellung eines eigenen Modells und des Ausdrucks mit einem 3D-Drucker umfasst mehrere Aufgaben. Die wichtigsten sind in diesem Prozessmodell festgehalten.



Modelling - Erstellung eines 3D-Modells

Die Modellierung eines Objekts beginnt mit einer 3D-Software, z.B. einem CAD-Programm (= Computer Aided Design), in der ein 3D-Modell des zu fertigenden Objekts erstellt wird.

Fehlerkorrektur am 3D-Modell

Das 3D-Modell kann nun auf Fehler analysiert werden (vgl. Kapitel „Polygonfehler“). Finden sich beispielsweise Löcher im Modell, müssen sie vor dem Druck geschlossen werden. Manche Programme bieten automatisierte Reparaturmöglichkeiten an.

Slicing - Zerlegung des 3D-Modells in Druckschichten

Danach muss das 3D-Modell für den Druck aufbereitet werden. Beim „Slicing“ wird das 3D-Modell in Schichten aufgeteilt. Diese Schichten repräsentieren die einzelnen Drucklagen, die der Drucker später auf das Druckbett aufträgt.

```

FLAVOR:UltiGCode
TIME:40186
MATERIAL:68792
MATERIAL2:0

Layer count: 148
LAYER:-2
RAFT
0 F9000 X27.000 Y55.000 Z0.300
TYPE:SUPPORT
1 F1200 X203.000 Y55.000 E52.80000
1 X203.000 Y170.000 E87.30000
1 X27.000 Y170.000 E140.10000
1 X27.000 Y55.000 E174.60000
0 F9000 X28.500 Y54.850
  
```

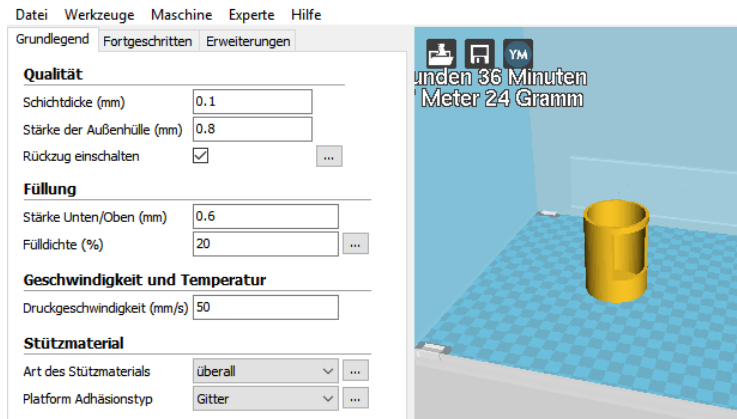
Erstellung von Steuerdaten für den Drucker

Auf Basis des Ergebnisses des Slicers wird ein Steuercode erstellt (auch bekannt als G-Code), der den Druckkopf steuert.

HANDREICHUNG 3D-Druck

In der Praxis lassen sich diese Aufgaben nicht immer scharf voneinander abgrenzen und hängen von der verwendeten Software und ihrem Funktionsumfang ab. So können sich die Aufgaben u.U. auch bloß auf folgende drei Punkte konzentrieren:

- Mittels 3D-Software wird ein 3D-Modell erstellt. Dieses 3D-Modell wird in ein Druckformat, beispielsweise das STL-Format, exportiert und abgespeichert.



- Die abgespeicherte STL-Datei wird mit der Drucksoftware geöffnet. Sie erstellt die Steuerdaten für den Drucker. Man kann das Modell auf einem virtuellen Druckbett noch positionieren und skalieren. Schließlich wird der G-Code erstellt, der als Datei auf einer Speicherkarte abgespeichert wird.
- Diese Karte wird in den Slot an dem 3D-Drucker gesteckt. In einem Menü kann man die Datei zum Drucken auswählen.

Datenaustausch

Datenaustausch ist essentiell, spätestens, wenn die 3D-Modelle für die Aufbereitung in die Drucksoftware importiert werden. Jede 3D-Modelling-Software besitzt ihr eigenes Dateiformat, jedoch meist ausreichend Export-Funktionen, um in andere Dateiformate zu exportieren. Bei der Software für den privaten Einsatz (vgl. S. 13) muss das nicht der Fall sein. Es ist möglich, dass sog. add-ons installiert werden müssen, um diese Funktion nachzurüsten. In der Regel können Modelling-Programme aber auch mit vielen Dateiformaten arbeiten.

Damit Dateien ausgetauscht werden können, hat sich ein Quasi-Standard herausgebildet, die STL-Schnittstelle (Surface Tesselation Language). In diesem Format wird lediglich ein Polygonnetz („Mesh“) festgelegt, das nicht etwa schon ein 3D-Modell ist, da die Punkte noch zu einer Oberfläche verbunden müssen und damit ein dreidimensionaler Körper vorliegt. Dieses Dateiformat ist von gängigen Softwareprodukten importier- und exportierbar, was aber nicht heißen soll, dass nicht auch andere Dateiformate zum Austausch nutzbar sind. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass der Datenaustausch mit STL-Dateien am besten zu bewerkstelligen ist und auch weit verbreitet ist. Man sollte jedoch wissen, dass STL-Dateien in zwei Formaten vorkommen können, als binär-codierte und ascii-codierte Daten.

3D-Scans

Ein naheliegender Gedanke ist, bestehende Objekte zu scannen, um diese auszudrucken bzw. vorher eigene Veränderungen einzuarbeiten.

Der technischen Entwicklung der 3D-Drucker folgend, ist auch dieser Markt gerade in einem großen Umbruch. Die benötigte Technik wird immer günstiger und die technischen Möglichkeiten immer einfacher.

Hardwarebasierte Lösungen, beispielsweise in Form von Kameras und Lasern, sind oft im professionellen Bereich zu finden. Die Preise dieser Geräte beginnen bei mehreren hundert Euro, bei offenem Ende.

Aufgrund dessen hat sich ein Dienstleistermarkt entwickelt, der das Scannen von Objekten oder Personen übernimmt.

Alternativ gibt es softwarebasierte Lösungen, die mit Hilfe von Fotos des Objekts aus mehreren Blickwinkeln ein 3D-Modell berechnen. Neben den professionellen Lösungen gibt es bereits Apps für Smartphones und Tablets, die deren eingebaute Kamera nutzen.

Weiterhin bietet ein bekannter Hersteller eine Software an, die mit der „Kinect-Kamera“ zusammenarbeitet, einem Zubehör für eine weit verbreitete Spielekonsole. Der Vorteil dieser Kamera ist, dass sie bereits für eine dreidimensionale Erkennung von Personen ausgelegt ist.

Eine reiche Auswahl momentaner Lösungen ist im Internet^{iv} zu finden.

Vom Scan zum Ausdruck

Vom Scan bis zur druckfähigen Datei sind mehrere Schritte notwendig. Nur wenige Software-Lösungen bieten den Vorteil, diese Schritte mit einem einzigen Programm abwickeln zu können (z.B. Mesh-Lab, vgl. S. 31):

- Der Scan liefert eine große Zahl einzelner Punkte (auch vertices genannt), die in einem dreidimensionalen Koordinatensystem angeordnet sind. Die Scandaten liegen in Form einer „Punktwolke“ (point cloud) vor. Das übliche Format ist das PLY ascii Format. Zwischen diesen durch den Scan festgelegten Punkten sind allerdings noch keine Flächen definiert.
- Im nächsten Schritt werden Punkte zu Vektoren verbunden. Noch immer ist keine Fläche festgelegt, erst recht kein Volumen. Erst wenn die Vektoren „zu Dreiecksflächen gerendert“ werden, sind Flächen (triangles oder faces) vorhanden. Die Gesamtheit aller Flächen eines Objekts wird als „Mesh“ bezeichnet. Zum Speichern dient z.B. das STL-Format.
- Die Datenmenge gescannter Objekte ist riesig. Eng beieinander liegende Flächen sollten zusammengeführt werden. Überflüssige Punkte werden gelöscht.
- Bei diesen Daten-Umrechnungen können reichlich Fehler auftreten, die korrigiert werden müssen, um das Objekt drucken zu können. Das Objekt ähnelt einer Kraterlandschaft: Punkte sind falsch verbunden worden oder Löcher in der Oberfläche müssen geschlossen werden. Manche Flächen, die als Außenseiten definiert sein sollten, zeigen mit der Innenseite nach außen. Vereinzelte Flächen ragen unverbunden aus einer Oberfläche in den Raum. Mit Filtern wie dem Poisson Disk Sampling werden Rauheiten geglättet. Diese Fehlerkorrektur kann manuell mit komplexen Programmen vorgenommen werden oder automatisch durch Programme, die die meisten Fehler finden. Das Programm Netfabb hat sich als tauglich erwiesen. Bei allen aus dem Internet downgeloadeten Scans ist eine Fehlerkorrektur dringend angeraten. Am Bildschirm lässt sich nicht erkennen, was aus den Daten beim Drucken als Objekt herauskommt.

Eine Zusammenstellung möglicher Fehler, die auf dem Weg vom Scan zum Druck auftreten können, findet sich im Kapitel „Polygonfehler“.

Nachbearbeitung der Modelle

Nur ein Teil der gedruckten Modelle kann sofort verwendet werden, ein anderer Teil muss noch nachbearbeitet („gefinished“) werden.

Die Oberfläche von Modellen, die im FDM- bzw. FFF-Verfahren hergestellt wurden, ist durch das „Slicen“ (vgl. voriges Kapitel) schichtweise aufgebaut. Horizontale oder vertikale Flächen oktogonaler Körper können eine befriedigende Glätte aufweisen, bei der eine Nachbearbeitung unterbleiben kann. Vor allem bei Schrägen oder Rundungen zeigt die Oberfläche Treppenstufen, die bei der Verwendung stören können. In 3D-Druckforen wird von erfolgreichem Glätten der Oberflächen durch Anätzen berichtet (das Filament ABS mit Acetondampf, PLA mit Tetrahydrofuran). Auch das Spachteln von Unebenheiten wird in Video-Tutorials erklärt.

Ein Nacharbeiten mit Feile und Schleifmitteln ist bei beiden weit verbreiteten Filamenten möglich. Im Technikunterricht wird häufig eine Modellbaumaschine zum Schleifen, Bohren und Fräsen eines bekannten Herstellers von Unterrichtsmaterial für das Fach Technik eingesetzt, die die Unfallgefahr minimiert.^v Bei den Drehzahlen sollte man beachten, dass die üblichen Filamente beim Aufheizen schmelzen können.

PLA kann mit einigen Klebstoffen geklebt werden^{vi}. Auch ein farbiges Gestalten durch Bemalen der Modelle mit wasserlöslichen Farben ist möglich. Die Haftung des Farbmaterials ist überzeugend.

Segmente der 3D-Software

Der Markt an 3D-Software ist sehr groß. Grob kann man zunächst unterscheiden zwischen professioneller Software für den gewerblichen Bereich und Software, die insbesondere Hobby-Tüftler anspricht. Beide haben ihre Vor- und Nachteile, die hier kurz beleuchtet werden sollen. Im Kapitel „Software“ wird darauf eine Reihe von Kriterien entwickelt, um Entscheidungshilfe für die Softwareauswahl zu bieten.

Professionelle Software

Die Zielgruppe professioneller Software, zumal im CAD-Bereich, ist zunächst die der Ingenieure. Der Markt ist dementsprechend groß und man findet Software bzw. Software-Pakete für verschiedene Berufsgruppen (Maschinenbau, Architektur, Bootsbau etc.).

De facto wird man an allgemeinbildenden Schulen nicht annähernd den Funktionsumfang benötigen, die die Software anbietet. Aufgrund ihres technischen Hintergrunds muss sie auch als technische Software bedient werden. Beispielsweise wird das Einfügen von geometrischen Figuren ständig begleitet von Größenabfragen, was bereits zeigt, dass ein kreativer Zugang im Ansatz unterbunden wird. Dies muss allerdings kein Nachteil sein, doch dazu später mehr.

Trotz der Größe und Schwerfälligkeit der Programme - es sollte darauf geachtet werden, dass die Computer genügend Rechenkapazität haben (siehe dazu die Anforderungen der Hersteller) - hat sich gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler recht schnell mit der Software umgehen können. Durch Ausprobieren finden die Schülerinnen und Schüler viele Funktionen oder nutzen die umfangreichen Hilfen zum Lösen auftretender Probleme (oftmals Online-Hilfen, u.a. mit Lernvideos). Allerdings sind diese Hilfen auf Ingenieure zugeschnitten, also sprachlich und inhaltlich sehr komplex.

Einige Softwarehersteller bieten auch Hilfen/Stundenmaterial für Schulen an, wobei diese oftmals auf Berufsschulen zugeschnitten sind und daher sehr technisch anmuten. In diesem Kontext ist erwähnenswert, dass viele Anbieter Sonderkonditionen für diese teuren CAD-Programme anbieten und Software teilweise sogar kostenlos an Schulen abgeben.

Die Programme sind sehr robust, sodass mit Abstürzen nur zu rechnen ist, wenn die Speicher- oder Rechenkapazität nicht ausreicht.

Die Software ist oftmals gleich aufgebaut. Neben einen Objektbrowser, der die aktuellen Elemente des Modells enthält, findet sich ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem, in dem die Modelle angezeigt werden. Außerdem ist oft ein Fenster vorhanden, welches die Eigenschaften des Objekts zur Bearbeitung anzeigt (Radius, Höhe etc.). Eine Vielzahl an Informationen muss auf dem Bildschirm untergebracht werden. Benutzer mit 15“ Bildschirmen werden wenig Freude haben, da sie oft damit beschäftigt sein werden, den für sie relevanten Bildausschnitt auszuwählen, ein Arbeiten ist dennoch möglich. Größere Bildschirme zu verwenden, bietet sich an.

Software für den privaten Einsatz

Die Software für den privaten Einsatz zeichnet sich darin aus, dass man recht schnell geometrische Figuren erstellen kann. Eine Bemaßung findet selten statt, es gilt das Prinzip Ausprobieren. Dies hat allerdings den Nachteil, dass anschließend nachgebessert werden muss, wenn man beispielsweise bemerkt, dass das Modell, welches mehrere Zentimeter groß erschien, nur zehn Millimeter groß ist.

Man stellt auch relativ schnell fest, dass der Funktionsumfang deutlich reduziert ist. Es zeigte sich, dass die Schülerinnen und Schüler versuchten, Modelle zu entwerfen, für die sie Funktionen benötigt hätten, die bei diesen einfachen Programmen nicht zu finden sind. Generell wurde die Erfahrung gemacht, dass mit dieser Software gut zu arbeiten ist, wenn das Endprodukt nur aus einfachen geometrischen Formen besteht. Sobald jedoch versucht wurde, ein Modell zu verfremden, abzurunden etc., stießen die Schülerinnen und Schüler an Grenzen.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass es insbesondere bei Programmen, die keinen Wert auf exakte Daten legen (z.B. Koordinaten), bei bestimmten Funktionen zu Schwierigkeiten kommt. So ist das Einzeichnen eines Quaders mittels Bestimmung von Punkten unmöglich, da die Programmoberfläche nur zweidimensional vorhanden ist. Dies führte beispielsweise dazu, dass statt eines Quaders ein auf der Z-Achse verschobenes Z erstellt wurde. Dies führte nach ersten Lachern jedoch zu Frustrationen.

Dafür hält sich der Ressourcenhunger dieser Programme in Grenzen, da die Software für die üblichen einfachen Desktoprechner zu Hause gedacht ist.

Was aber an solcher Software oftmals auffällt, ist die Einbindung von Online-Portalen, die die Möglichkeit bieten, bereits modellierte Figuren zu importieren und zu nutzen. Dies ist zwar auch bei professionellen Anwendungen möglich, jedoch nicht so benutzerfreundlich.

Software dieses Typs ist meist frei oder in einer Pro-Version erhältlich, die Geld kostet. Auch ist es teilweise möglich, zusätzliche Softwarebestandteile (add-ons, plug-ins) nachzuladen, die teils kostenpflichtig sind. Bei Softwareprodukten, die frei verfügbar sind, sollte darauf geachtet werden, welcher Lizenz sie unterliegen. Unter Umständen ist eine kostenlose Verwendung in der Schule nicht erlaubt. Im Zweifel sollte man sich an den Hersteller wenden.

Open Source Software

Neben der oben aufgeführten „proprietären“ Software ist auch eine Reihe von „Open Source Programmen“ erhältlich, die von Suchmaschinen oft vernachlässigt werden.^{vii}

Online-Applikationen

Online-Applikationen haben für die Schule mehrere Vorteile. Eine Installation auf den Schulrechnern erübrigt sich. Die Lernenden können ihre Objekte von zu Hause aus weiter bearbeiten. Umfangreiche Tutorials entlasten die Lehrperson und ermöglichen ein individuelles Lerntempo.

Software

Die hier vorgestellten Software-Beispiele stellen eine Auswahl dar. **Der Anspruch auf Vollständigkeit kann nicht erhoben werden.** Das liegt allein schon am Tempo der Entwicklung und am Fehlen unabhängiger Einrichtungen, die Transparenz in diesem Bereich herstellen könnten.

Bei der Zusammenstellung der Software und der Darstellung der Übersicht wurden die folgenden Aspekte einbezogen und Kriterien angewandt:

- Segment, zu der die Software zählt
- Anforderungen an Software für den Unterricht
- Mögliche Einsatzgebiete der Software

Segmente

Die angeführten Softwarebeispiele erstrecken sich auf die im letzten Kapitel vorgestellten Segmente der professionellen 3D-Software und der Software für den privaten Einsatz. Neben proprietärer Software ist auch eine Reihe von Open Source Programmen erhältlich. Online-Applikationen mit den bereits erwähnten Vorteilen für die Schule sind hier ebenfalls einbezogen.

Anforderungen an Software für den Unterricht

Software, die im Unterricht verwendet wird, muss speziellen Anforderungen entsprechen. Schülerinnen und Schüler nutzen die Software in der Regel nicht dauerhaft und nicht in professioneller Absicht. Sie haben unterschiedliche und oft geringe Vorkenntnisse und es fehlt die Zeit, sich aufwändig in wechselnde Applikationen einzuarbeiten. Auch wenn ihnen der Umgang mit Smartphones vertraut ist, beschränkt sich ihre Programmkenntnis meistens auf wenige, allerdings häufig genutzte Applikationen. Hierbei handelt es sich meistens um Kommunikations- und Informationssoftware, nicht aber um Software zur Gestaltung. Andererseits sind Schülerinnen und Schüler unbefangen und motorisch so geschickt, dass sich meistens schneller als Lehrpersonen mit einer neuen Software anfreunden und Ergebnisse hervorbringen können.

Unter diesen Voraussetzungen und Herausforderungen ergeben sich folgende Anforderungen an eine für den Unterricht geeignete Software:

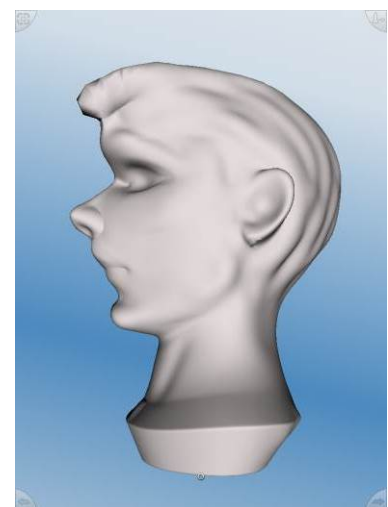
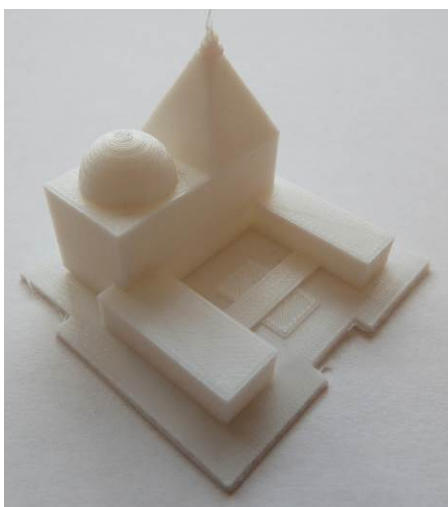
- Ihr Funktionsumfang sollte begrenzt sein oder zielgerichtet eingeschränkt werden können.
- Die Icons sollten intuitiv verständlich und nicht zu zahlreich sein.
- Eine deutschsprachige Benutzerführung erleichtert den Umgang.
- Die Software sollte absturzsicher sein.
- Die Notwendigkeit eines raschen und flüssigen Wechsels der Ansichten und der Abbildungsgröße ist unabdingbar. Dies fördert zwar auch ein schneller Prozessor, aber er kann einen programmtechnischen Mangel nicht gänzlich aufheben.

Damit nicht das Objekt nicht nur erstellt, sondern auch gedruckt werden kann, müssen weitere Kriterien erfüllt sein: Umfangreiche Import- und Exportfunktionen ersparen ein Konvertierungsprogramm, das vielleicht das ganze Objekt doch nicht richtig umwandelt oder programmeigene Dateiformate erst gar nicht einlesen kann. Soll auf frei verfügbare Objekte zurückgegriffen werden, ist eine umfangreiche, für die Software nutzbare Online-Datenbank hilfreich.

Wie bereits erwähnt, sind die Anforderungen an die Hardware ebenso zu beachten wie der Arbeitsspeicherbedarf. Viele Programme sind plattformunabhängig, also z.B. unter Windows, Macintosh und Linux lauffähig. Erfreulich ist ein erschwinglicher Preis. Und tatsächlich werden hochwertige Applikationen kostenfrei angeboten. Manchmal muss man nachweisen, dass sie in der Schule eingesetzt werden, oder es handelt sich um ausbaufähige, kostenlose Grundversionen. Es gibt auch zeitlich begrenzt funktionierende Trial-Versionen.

Einige Kriterien für die Softwareauswahl

- Wie komplex soll die Software sein (Funktionsumfang, Werkzeuge; auch Animation)?
- Welche Objekte sollen mit ihr schwerpunktmäßig erzeugt werden (einfache geometrische Grundformen (Abb. 1), oder differenzierte, ungleichmäßig gebogene Designobjekte, oder technische Geräte, oder detaillierte Modelle (Abb.2))?
- Lege ich mehr Wert auf konstruktives oder intuitives Vorgehen?
- Werden übliche Fachbegriffe und Methoden/Verfahren verwendet (Extrudieren, Subtraktion, Skalieren etc.)?
- Bietet der Hersteller (kostenfreie) Modelle zum Download an?
- Soll nur konstruiert und modelliert oder auch gedruckt werden? (Abb.3)
- Ist die Software benutzungsfreundlich (übersichtlich, deutsche Benutzerführung, intuitiv verständliche Icons)?
- Lässt sich die Bildschirmoberfläche auf unterschiedliche Lernniveaus anpassen?
- Wünsche ich Onscreen-Hilfen, Online-Hilfen, Lernvideos oder Handbücher?
- Welche Einarbeitungszeit will ich in Kauf nehmen?
- Verfügt die Software über alle relevanten Im- und Exportformate, das z.B. STL-Format?
- Wähle ich eine nur zeitlich begrenzt lauffähige Demoversion, eine preisgünstige oder eine (teure und) erweiterbare Profiversion?
- Wie absturzsicher ist die Software, ist Zwischenspeichern möglich?
- Wird eine preisgünstige Klassenraumlizenz angeboten?
- Entsprechen die Kapazitäten der Rechner in der Schule den Ansprüchen der Software? (Arbeitsspeicher, Prozessorgeschwindigkeit, Monitorgröße)
- Soll die Software auf mehreren Betriebssystemen lauffähig sein?
- Welche zusätzliche Software benötige ich? (Software zur Fehlerkorrektur und Drucksoftware)?



Abbildungen: Zwei 3D-Objekte aus einfachen geometrischen Grundformen und ein modelliertes Objekt, das nicht zum Ausdruck gedacht war.

Einsatzgebiete von 3D-Software

Diese Handreichung bezieht Beispiele aus dem Technik- und Kunstunterricht ein. Dabei wird von den folgenden drei Einsatzgebieten und Verwendungsmöglichkeiten ausgegangen. Diese Systematik kann auch für die im Kapitel „Chancen für die Schule“ aufgeführten weiteren Fächer Orientierung bieten, um geplante Verwendungen des 3D-Drucks abzuklären und davon ausgehend für die jeweiligen Unterrichtszwecke geeignete Software auszuwählen.

Konstruieren von 3D-Modellen: Objekte aus dem Bereich Modellbau, Architekturmodell, Design, Technik usw. werden aus geometrischen Formen konstruiert. Für diesen Einsatz kann z.B. folgende Software verwendet werden: Solid Edge, 123D-Design, SketchUp, Open SCAD, BlocksCAD, Tinkercad, Inventor, FreeCad, u.U. auch Blender, Meshmixer ...

Modellieren von 3D-Modellen: selbst erzeugte Objekte werden geformt oder gescannte Objekte verformt, z.B. Personendarstellungen (Porträts oder Figuren), Tiere oder Pflanzen, ungeometrische oder ungegenständliche Objekte. Für diesen Einsatz kann z.B. folgende Software verwendet werden: ZBrush, Sculptis, SculptGL, u.U. aber auch Blender, Meshmixer ...

Collagieren von 3D-Modellen: Downloads oder vorgegebene Objekte werden miteinander kombiniert. Dabei können Bestandteile getrennt und anders zusammengefügt werden, Dimensionen verfremdet und fantastische Kombinationen eingegangen werden. Für diesen Einsatz kann z.B. folgende Software verwendet werden: Netfabb, Meshmixer, MeshLab, aber u.U. auch SketchUp, Tinkercad, ZBrush, Sculptis, SculptGL, Blender ...

Es gibt keinen „Alleskönner“ unter der 3D-Software. Manche Software eignet sich zu mehreren Einsatzzwecken, teils wiederum nur eingeschränkt, wie den Ausführungen zu den einzelnen Programmen zu entnehmen ist. Bei der Auswahl der Software sollten sowohl die Verwendung in den jeweils geplanten Projekten als auch die im Kapitel „Grundlagen“ aufgeführten allgemeinen Kriterien der schulischen Softwareeignung leitend sein.

Um bei der Beschreibung der Software die Eignung zu den jeweiligen Einsatzgebieten zu kennzeichnen, werden die folgenden Icons eingesetzt:



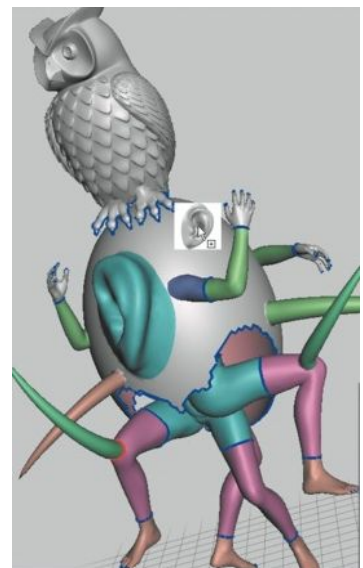
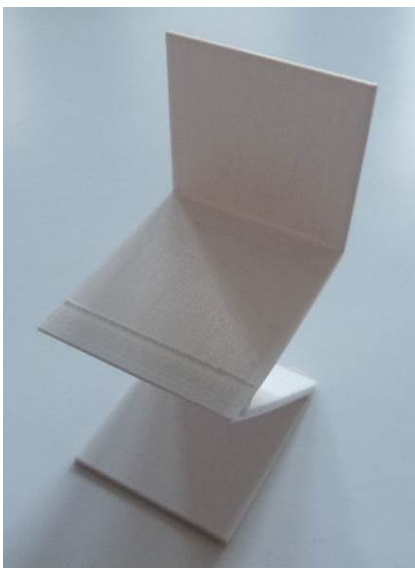
Eignung für das
Konstruieren
von 3D-Modellen



Eignung für das
Modellieren
von 3D-Modellen



Eignung für das
Collagieren
von 3D-Modellen



Abbildungen: Beispiele für die Einsatzgebiete von 3D-Software

Konstruieren von 3D-Modellen

Wenn es darauf ankommt, dreidimensionale Objekte nach exakten Maßangaben zu konstruieren, zum Beispiel weil sie technische Funktionen haben oder passgenau gefertigt sein müssen, eignen sich Programme aus dem professionellen CAD-Bereich. Aber auch ihre kleinen Geschwister für den privaten Einsatz sind für schulische Zwecke nutzbar und können die umfangreichen und teuren Profi-Programme ersetzen.

Solid Edge Edition für Schule und Studium



Die Software Solid Edge von Siemens PLM Software ist in verschiedenen Versionen erhältlich. Die akademische Version wird allen aktiven Schülerinnen, Schülern und Studierenden akademischer Einrichtungen wie anerkannten Universitäten, Fachhochschulen, Berufsschulen und Oberschulen sowie Schülerinnen und Schülern allgemeinbildender Schulen nach erfolgter Registrierung kostenlos bereitgestellt. Die Registrierung und der Download können über Siemens^{viii} erfolgen. Es sei darauf hingewiesen, dass Konstruktionen, die mit einer akademischen Lizenz gespeichert wurden, nicht mit einer kommerziellen Version geöffnet werden können und 2D Zeichnungsausdrucke mit einem Wasserzeichen versehen sind. Das Unternehmen Siemens PLM gibt an, die Software beinhalte die branchenführende Synchronous Technologie, die auch von Entwicklern und Konstrukteuren weltweit verwendet wird. Mit dieser konzentrierten sich die Anwender auf das Erlernen von Entwicklungs- und Konzentrationskonzepten und -prinzipien.

Die Software Solid Edge basiert auf einer fortschrittlichen CAD-Technologie und enthält zahlreiche Features, welche die professionelle 3D-Konstruktion maßstäblicher Bauteilgruppen unterstützen. Exemplarisch seien hier die vollständige Baugruppenkonstruktion, die Erstellung von Explosionszeichnungen, Animationen und Bewegungssimulationen, die Berichterstellung zu Masseeigenschaften und die Erstellung von Teilelisten sowie der freie Zugriff auf einen Online-Teilekatalog aufgeführt.

Die Bildschirmoberfläche ist auf den konstruktiven Einsatzbereich abgestimmt. Die Software startet stets mit der Auswahl eines Moduls entsprechend des zu erstellenden Objektes. Zur Konstruktion eines 3D-Bauteils ist hier das Modul „Metrisch Teil“ zu wählen. Zusätzlich stehen auf dem Startbildschirm eine breite Palette an gut verständlichen Lernprogrammen sowie eine Erläuterung der Benutzeroberfläche zu Verfügung. Auf der Benutzeroberfläche selbst findet der Anwender zunächst eine Vielzahl von Icons, deren Bedeutungen sich dem unerfahrenen Benutzer zwar nicht unmittelbar erschließen mögen, jedoch ermöglichen Kurzinformationstexte, die beim Überfahren der Icons mit dem Cursor auftauchen, einen schnellen Programmzugang. In einer Aufforderungsleiste am unteren Bildrand werden zudem die durchzuführenden Schritte im Fließtext erläutert. Alle Konstruktionen werden zunächst als Zeichnung in einer Ebene erstellt und anschließend durch Extrusion, Rotation oder Bohrung in einen Volumenkörper verwandelt. Die Zeichnungen können sowohl nach vorgegebenen Maßen exakt erstellt werden, als auch zunächst „freihand“ und zu jedem späteren Zeitpunkt bemaßt oder verändert werden. In der 3D-Ansicht ist das Bearbeiten des Volumenkörpers, wie beispielsweise das Ausrunden von Kanten oder Anpassen von Bohrungen, leicht durchzuführen.

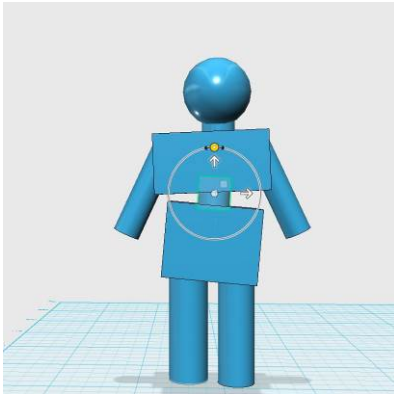
Die Stärke der Software liegt im technisch-konstruktiven Zugang, der unter anderem das exakte Positionieren und Ausrichten der Bauteilkanten zueinander und die Anordnung der Bauteile im Raum durch zahlreiche Konstruktionstools ermöglicht. Die Geometrie des Bauteils wird durch das Programm ständig auf Konflikte überprüft. So kann eine 2D-Zeichnung nur eine dritte Dimension durch Rotation oder Extrusion erhalten, wenn sie beispielsweise keine Profilüberschneidungen oder Lücken aufweist.

Aus einer Bibliothek können Formelemente importiert und weiterverarbeitet werden. Ebenso können bereits auf dem Startbildschirm Verbindungen zu Komponentenkatalogen mit zahlreichen vorgefertigten Objekten oder Formelementen hergestellt werden.

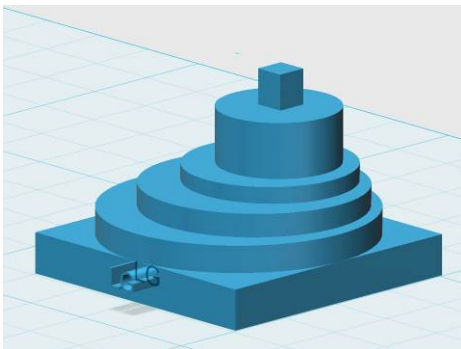
Geprüft wurde die Studentenversion Solid Edge ST7. Die erstellten 3D-Objekte können als Solid Edge Part-Dokument (*.par) und in zahlreichen anderen 3D-Formaten wie auch im STL-Format gespeichert werden. Ebenso können auch 2D Ansichten gespeichert und gedruckt werden.

Eine Einführung zum Programm Solid Edge ist im Anhang dieser Handreichung wiedergegeben.

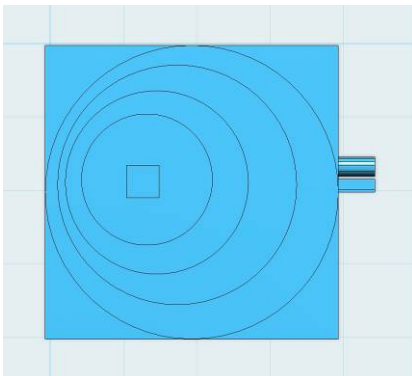
123D-Design



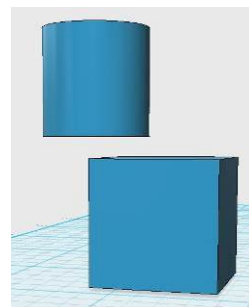
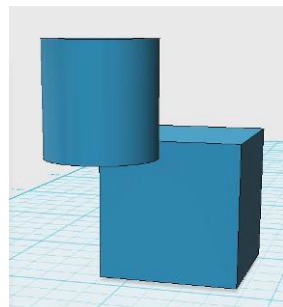
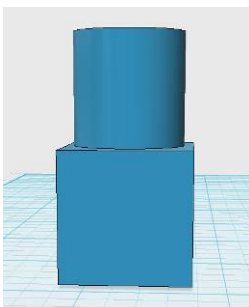
Mit der Software 123D-Design von der Firma Autodesk lassen sich dreidimensionale Objekte entwerfen. Entweder werden Kreise, Ovale oder Polygone erzeugt, die sich ins Dreidimensionale extrudieren lassen, oder es werden aus einem dreidimensionalen Formenbestand Objekte ausgewählt, die beliebig angeordnet, skaliert, gestreckt/gestaucht, gedreht, mit einer Bohrung versehen und miteinander kombiniert werden können.



Die Objekte werden direkt im dreidimensionalen Raum sichtbar, der jederzeit aus beliebiger Perspektive betrachtet werden kann.



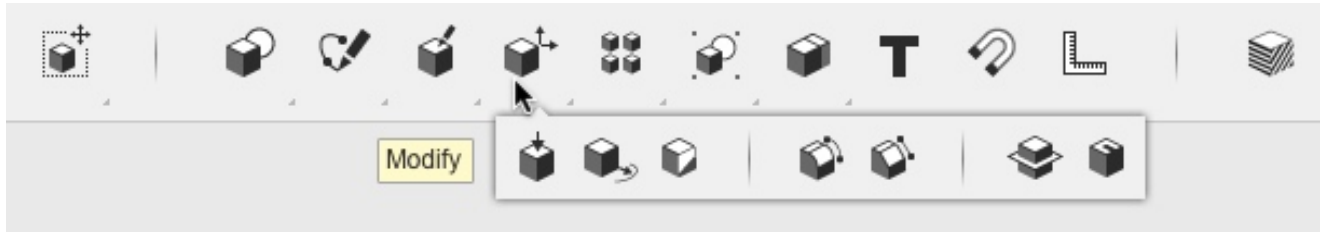
Die reine Auf-, Unter- oder Seitenansicht lässt sich durch eine entsprechende „Wanderung auf dem Orbit“ erzeugen. Zur Überprüfung der gewünschten Platzierung sind solche Tafelansichten notwendig, weil oft der Eindruck entsteht, dass Objekte die gewünschte Größe haben und sich wie gewünscht berühren, tatsächlich aber Überdeckungen und perspektivische Verkürzungen zu diesem Fehltrick geführt haben.



HANDREICHUNG 3D-Druck

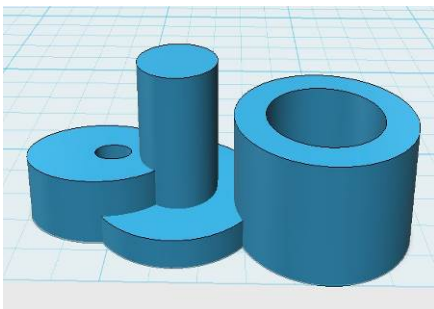
Auch für die Überprüfung, ob ein Objekt auf der Bodenebene platziert ist, muss es in die richtige Ansicht gedreht werden.

Zwar lassen sich bei bereits erstellten Objekten Werte für das Verschieben und Skalieren eingeben, aber eine exakte Definition der Höhe, Breite und Tiefe der Ausgangsobjekte ist nicht möglich. Daher eignet sich das Programm eher für ein intuitives als für ein konstruktives Vorgehen.



Die Icons sind gut unterscheidbar, ihre Funktionen lassen sich nach einer kurzen, explorativen Phase erfassen und einprägen. Der kurze Hilfetext, der sich beim Überfahren der Icons öffnet, unterstützt die Einarbeitung.

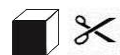
Trotz der englischsprachigen Benutzerführung kann die Software ab Klasse 7 eingesetzt werden. Eine einstündige Einarbeitung sollte eingeplant werden. Erfahrungen mit objektorientierten Grafikprogrammen erleichtern den Zugang zu 123D-Design. Die kostenlose Version ist für schulische Zwecke ausreichend^{ix}. Sie unterstützt den Export von stl-Dateien und den Zugriff auf veröffentlichte Modelle. Sie unterliegen unterschiedlichen Bedingungen, oft der Attribution-NonCommercial-ShareAlike-Lizenz^x, welche eine Verwendung und Veränderung für nicht-kommerzielle Zwecke erlaubt.



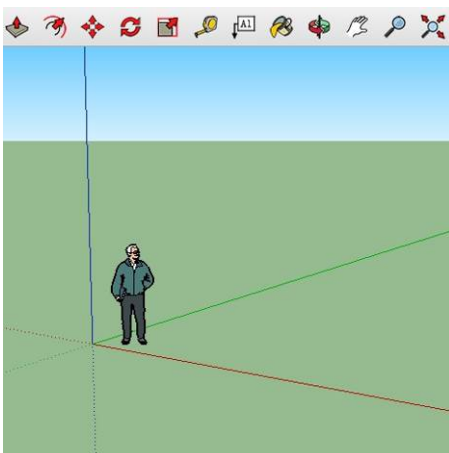
Programmabstürze traten bei der Prüfung nicht auf. Das erzeugte 3D-Modell konnte gedruckt werden. Die verwendete Version 1.5. ist für Mac, Windows und für iOS erhältlich.



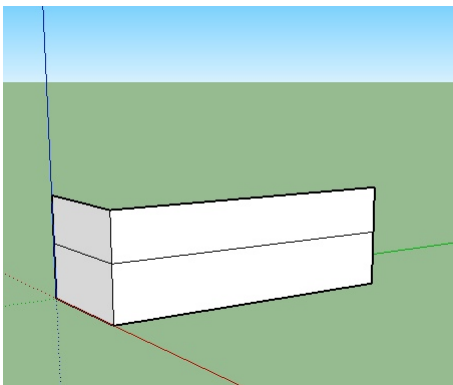
SketchUp



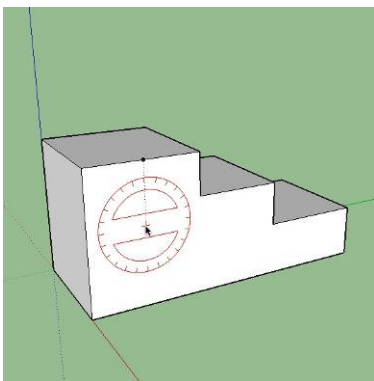
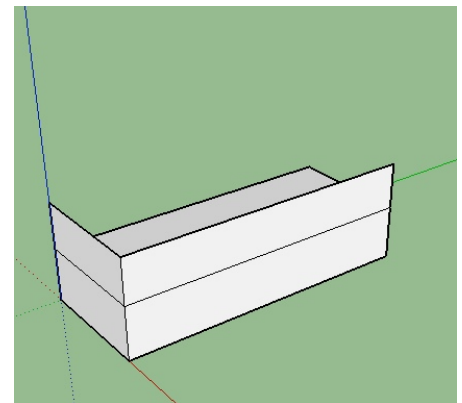
Die Software SketchUp von Trimble ist in verschiedenen Versionen erhältlich. Die nichtkommerzielle Version kann kostenlos heruntergeladen werden^{xi}. Das Unternehmen Trimble gibt an, die Software sei für Architekten, Designer, Bauunternehmer und Fertigungsbetriebe konzipiert^{xii}.



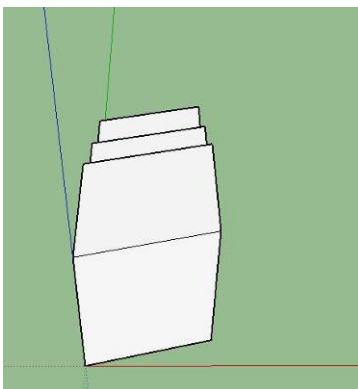
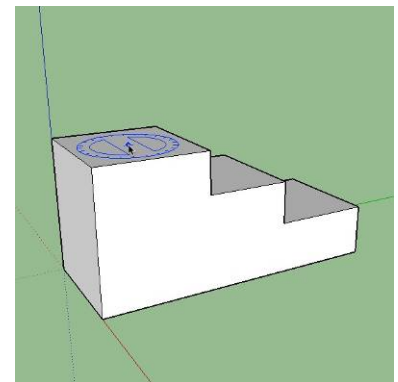
Die Bildschirmoberfläche suggeriert dem Anwender, dass er in die Rolle des abgebildeten Architekten schlüpft, der mit dem Hausbau im Grünen beginnen kann. Wird aus den verständlich dargestellten Icons das Flächenwerkzeug ausgewählt, entsteht - auf dem Schnittpunkt der Hilfslinien beginnend - eine geschlossene Form, welche beliebig groß gezogen werden kann. Wenn sie anschließend mit einem anderen Werkzeug angeklickt wird, kann sie in die Höhe gezogen werden und wird so zu einem dreidimensionalen Körper.



Jede Fläche muss in einen Körper überführt werden, damit das Objekt vollplastisch gedruckt werden kann. Mit Hilfe des Rotationswerkzeugs kann überprüft werden, ob das Gezeichnete schon ein Körper ist.



Sehr hilfreich ist der „magnetische“ Cursor mit seiner wechselnden Beschriftung. Er zeigt, an welcher Seite, welcher Kante oder an welchem Punkt das zu ergänzende Objekt anliegt.



Nutzt man diese Hilfe, entsteht ein zusammenhängendes Objekt ohne Lücken, das nicht mehr gruppiert werden muss. Es ist anschließend flächenweise oder als Ganzes modifizierbar. Der Prozess der Verformung ist durchgehend sichtbar und kontrollierbar. Das Beispiel zeigt, dass aus rechtwinkligen Treppenstufen rautenförmige wurden.

Der Schwerpunkt der Software liegt eher im kreativ-explorativen Bereich. Einfache Maßwerkzeuge stehen zwar bereit, aber einem technisch-konstruktiven Vorgehen widerspricht die intuitive Anlage der Modellersoftware.

Aus dem „3-D Warehouse“ können Modelle importiert und weiterverarbeitet werden. Damit der Druck gelingt, muss darauf geachtet werden, dass alle Objektteile plastisch und die Flächen geschlossen sind.

SketchUp steht für Windows und Mac zur Verfügung. Geprüft wurde die kostenlose Software SketchUp Make in der Version 15.3.329. Neben 2D-Exportformaten werden die beiden Formate KMZ und DAE angeboten. Erst die Pro-Version - sie ist für Lehrkräfte kostenlos^{xiii} - erlaubt professionelle 3D-Formate, nämlich 3ds, dwg, dxf, fbx obj, wrl und sxi. Das programmeigene SKP-Format kann mit Hilfe eines kostenlosen Plug-Ins auch in das für 3D-Drucker übliche STL-Format konvertiert werden.

OpenSCAD



Gegenüber der 3D-Software, die bisher vorgestellt wurde, setzt OpenSCAD^{xiv} auf das reine Programmieren von Modellen, anstatt auf das Zusammensetzen von Objekten mittels Maus. Durch wenige einfache Befehle, ist es möglich, komplexe Modelle zu erstellen. Diese programmierten Modelle werden dann gerendert und im Editorfenster dargestellt.

Die programmierten Scripte folgen den üblichen programmiertechnischen Prinzipien. Ein Erlernen dieser Prinzipien im Kontext eines 3D-Entwurfs bietet sich hier an, da die Umsetzung schnell gelingt und ein Ergebnis sofort sichtbar wird. Zudem hat es den Vorteil, dass ein wiederkehrendes Problem nicht neu konstruiert werden muss, sondern als Script immer wieder eingebunden werden kann.

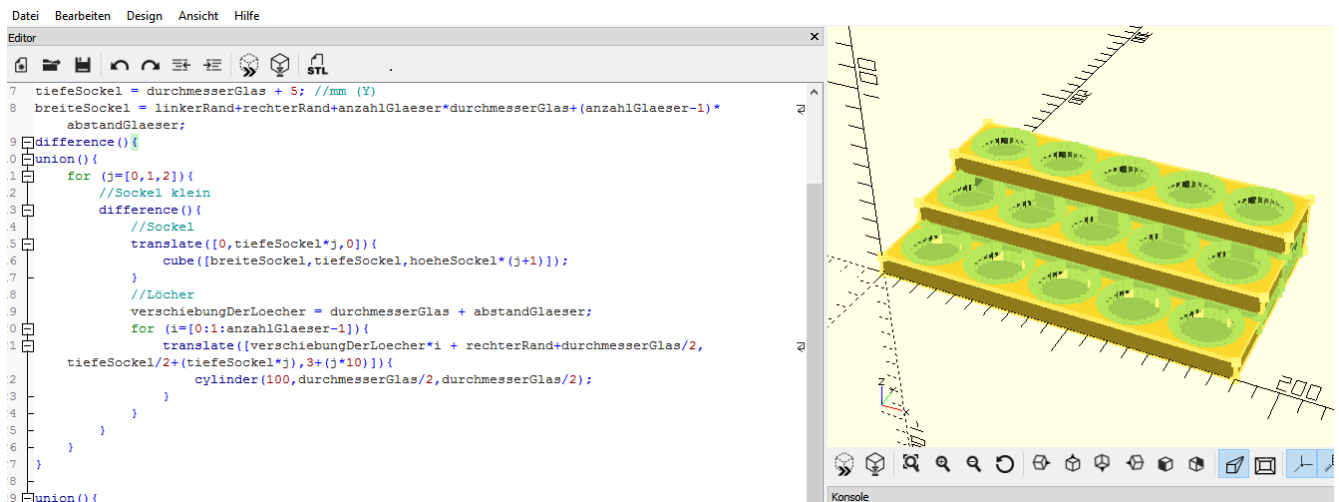


Abbildung: Übersicht OpenSCAD mit geöffnetem Projekt

Obige Abbildung zeigt OpenSCAD mit geöffnetem Projekt – ein Tablett für Globuligläschen (vgl. Foto im Kapitel „Überwachung des Druckvorgangs“). Links im Bild ist der Editor zu sehen. Bis zur Zeile 8 wurden nur Variablen definiert. Das eigentliche Modell wird mit Zeile 19 bis 27 erstellt. Ab Zeile 29 werden nur nicht sichtbare Teile des Modells entfernt, um die Druckmasse zu reduzieren und den Druck somit zu beschleunigen. Durch die Nutzung von Schleifen konnte der Quellcode deutlich reduziert werden.

OpenSCAD ist eine Open Source Software, für MAC, Linux und Windows verfügbar und offeriert die gängigsten Exportformate. Ein weiteres Beispiel für ein Projekt mit OpenSCAD findet sich auf der Webseite Heise-Online^{xv}.

BlocksCAD



Eine weitere Möglichkeit, 3D-Modelle zu entwerfen, ist BlocksCAD^{xvi}. Diese Software basiert auf Scratch, einer für Kinder entwickelten Programmierumgebung. In Anlehnung an Scratch erstellt man 3D-Modelle anhand von Blöcken, die ähnlich wie Puzzleteile zusammengefügt werden. So gibt es Blöcke für die gängigsten Formen und Operationen. Es ähnelt nicht nur vom Umfang der Operationen sehr stark OpenSCAD, was daran liegt, dass die dargestellten Blöcke im Hintergrund durch OpenSCAD Befehle ersetzt werden. Eine weitere Besonderheit ist, dass BlocksCAD eine Online-Applikation ist. Sie läuft also vollständig in einem Webbrowser und ist somit plattform-unabhängig.

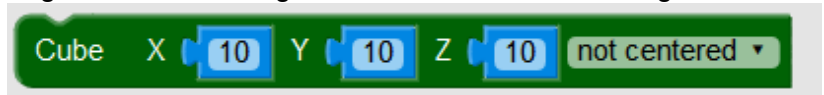


Abbildung: Ein BlocksCAD-Element. Sichtbar am oberen Rand des grünen Streifens die Einkerbung, zum Anheften an andere Blöcke.

Die Umgebung ist dreigeteilt. Neben dem Visualisierungsteil, der das 3D-Modell darstellt, findet sich im linken Drittel eine Auswahl der vorhandenen Blöcke, die im mittleren Drittel zusammengesetzt werden können. Zusätzlich ist es möglich, sich den Quellcode anzeigen zu lassen.

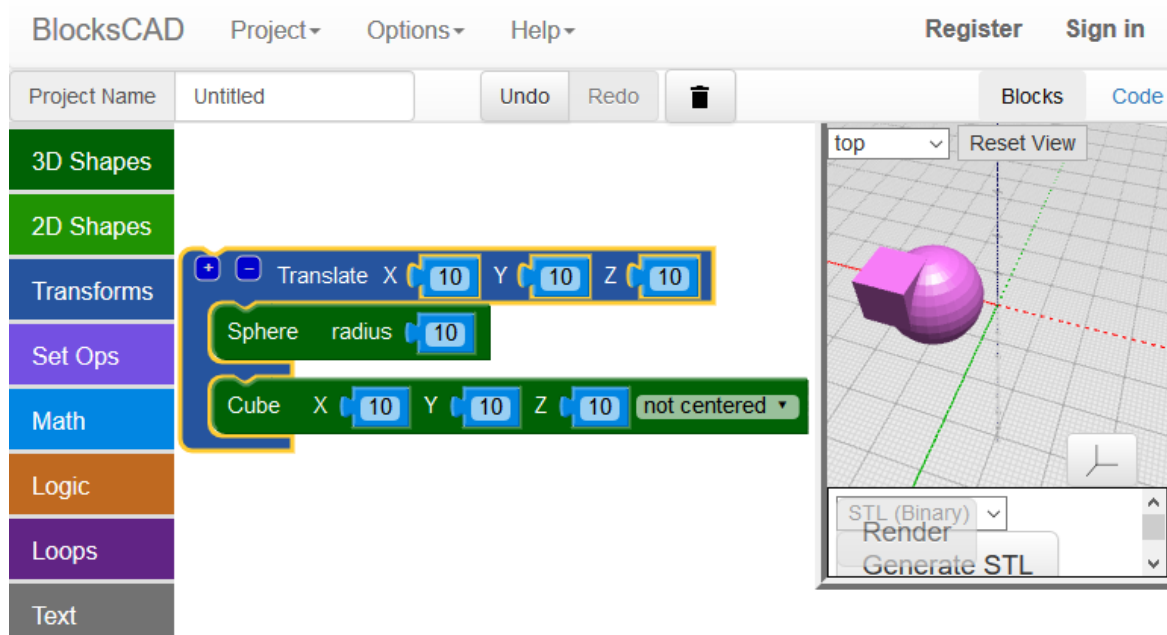
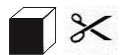


Abbildung: Definition und Darstellung von zwei Körpern mit BlocksCAD

Durch das Prinzip des einfachen Zusammenführens von Blöcken ist es gut für jüngere Kinder geeignet. Damit ist es möglich, schnell Objekte zu visualisieren. Man ist aber auch in der Lage, mathematische, logische und programmiertechnische Prinzipien zu besprechen. Somit ist es auch für ältere bzw. erfahrene Schülerinnen und Schüler geeignet und bietet Möglichkeiten zur Differenzierung sowie eine eventuelle Hinführung zu OpenSCAD.

Die Projekte kann man lokal abspeichern, aber auch wieder hochladen, um daran weiter zu arbeiten. Die gerenderten 3D-Modelle sind nur in wenigen Formaten exportierbar, jedoch findet sich darunter das STL-Format. Eine gute Übersicht über die Funktionsweise findet sich in einer Prezi-Webpräsentation^{xvii}.

Tinkercad



Tinkercad ist eine Online-Applikation zum Erstellen und Bearbeiten von 3D-Modellen aus dem Hause Autodesk. Personen ab einem Alter von 13 Jahren können einen freien Online-Account einrichten^{xviii}. Dazu werden lediglich eine valide E-Mail-Adresse und ein Passwort benötigt.

Der Startbildschirm zeigt die bereits erstellten 3D-Modelle („Designs“ genannt) aus der Vogelperspektive. Man kann sie in der Ansicht betrachten und drehen, ohne sie geöffnet zu haben. Das Öffnen geschieht mit dem Befehl „Tinker this“. Möchte man ein komplett neues Modell erzeugen, vergibt Tinkercad dafür einen fantasievollen Dateinamen, den man akzeptieren oder abändern kann.

Geometrische Grundformen und eine kleine Anzahl komplexerer Formen können vom rechten Bildschirmrand entnommen und per drag and drop als dreidimensionale Objekte auf der Arbeitsfläche abgelegt werden. Sie können einfach verformt, gedreht, gespiegelt und vervielfältigt werden. Aus ihnen können eigene Designs additiv zusammengesetzt und miteinander kombiniert werden, so dass die Einzelteile insgesamt zu einem Modell verschmolzen werden. Jede Form kann sowohl positiv als Raumkörper als auch negativ als Raumvolumen definiert werden, so dass z.B. aus einem Zylinder, der eine Fläche durchdringt, eine Bohrung erzeugt werden kann. Auch Beschriftungen können einbezogen werden, indem dreidimensionale Buchstabenformen eingefügt werden.

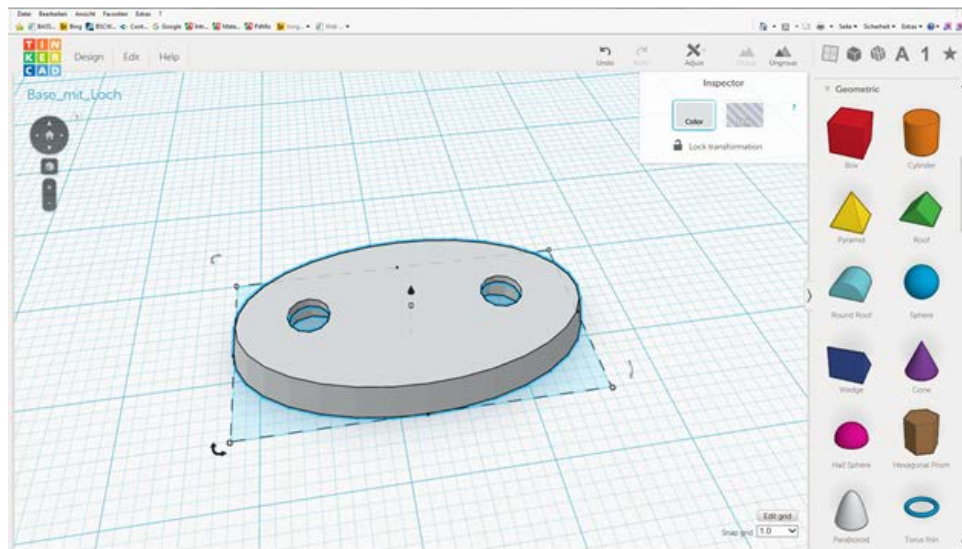


Abbildung: Arbeitsraum und geometrische Grundformen bei Tinkercad

Viele Funktionen sind über Tastatureingabe als shortcuts verfügbar. Unter der Registerkarte „learn“ finden sich einfache animierte Tutorials mit aufsteigendem Schwierigkeitsgrad. Eine PDF-Datei „Getting started“ als Einstiegs-Handbuch kann als Printmedium eingesetzt werden.

Die „Gallery“ macht 3D-Modelle nutzbar, die von anderen Nutzern freigegeben wurden. Über eine Importfunktion können STL-Dateien aus Onlineforen eingebracht werden. Diese „Meshes“ können zwar nicht verformt, aber miteinander verbunden oder durch Nutzung der „Hole“-Funktion beschnitten werden.

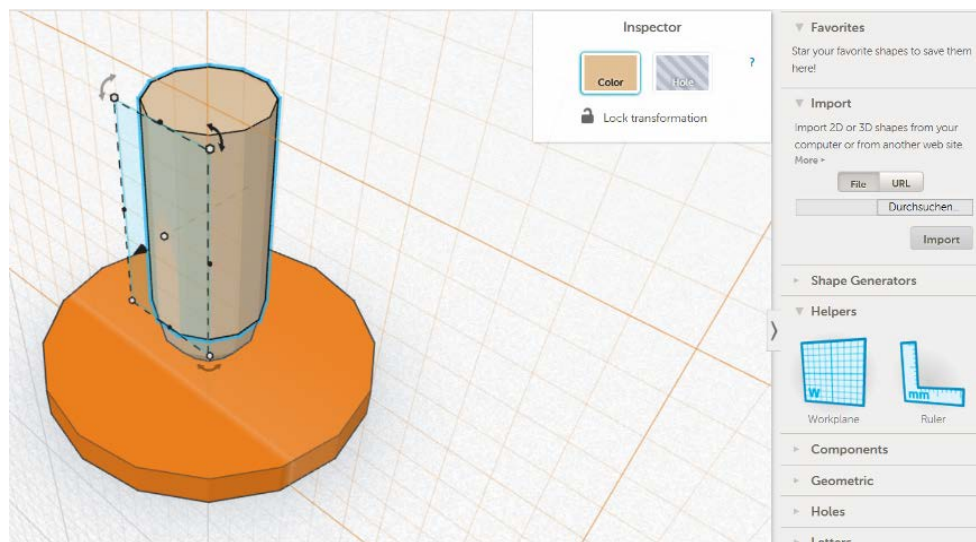


Abbildung: ungewöhntes Anlegen der Arbeitsfläche zur Bearbeitung der Höhendimension

Bei gedrückter rechter Maustaste können die Modelle gedreht werden. Um Körper in allen drei Dimensionen bearbeiten zu können, muss die Arbeitsfläche („workspace“) oft anders als gewohnt angelegt werden. Dies bleibt auch die einzige Schwierigkeit in der Bearbeitung.

Fertige Modelle können online bei Dienstleistern in Druck gegeben oder exportiert und nach dem Importieren in eine Drucksoftware selbst ausgedruckt werden.

Tinkercad erweist sich als Alternative zu Programmen, die stationär auf Rechnern installiert werden müssen. Die Applikation ist überall verfügbar, wo eine Internetverbindung möglich ist. Sie kann auch von Tablets aus bedient werden.

Modellieren von 3D-Modellen

Digitale Modellier-Software simuliert Bestandteile der additiven und subtraktiven Verfahren des dreidimensionalen Gestaltens bei 3D-Modellen. Das Verfahren wird daher auch als „sculpting“ bezeichnet. In der Regel bietet die Software eine Bibliothek an, welche geometrische Figuren, aber auch Modelle vom menschlichen Körper, von Tieren und Pflanzen anbietet oder 3D-Modelle z.B. von Online-Datenbanken importieren kann.

Das ausgewählte Modell kann sodann auf unterschiedlichste Weise modifiziert werden. Farbe und Textur für die Oberfläche können gewählt werden, es kann skaliert, gedreht, dupliziert werden. Auch können Modelle miteinander verschmolzen werden. Die Umgestaltung der Form allerdings ist die eigentliche Aufgabe der Software. Die Werkzeuge dafür erlauben das Herausformen von Beulen und Wölbungen unterschiedlicher Größe (allmähliches Anschwellen) und Form (spitz, abgerundet) ebenso wie das Hineinstülpen bzw. Aushöhlen. Mit anderen Werkzeugen lassen sich die Modifikationen wieder nach und nach zurücknehmen (verringern/verkleinern) oder angesetzte Formen eindrücken oder verschmelzen. Das Transformieren kann auf kleine Zonen (z.B. nur die Nasenspitze) oder große Bereiche (z.B. das gesamte Gesichtsprofil) wirken. Auch eine Glättung oder das Aufrauen ist möglich. Sollen symmetrische Modelle entstehen, hilft ein Tool dabei, alle Operationen, die auf einer Seite erfolgen, automatisch auf die andere Seite zu übertragen. Ist dies nicht an allen Stellen erwünscht, schaltet man die Funktion aus.

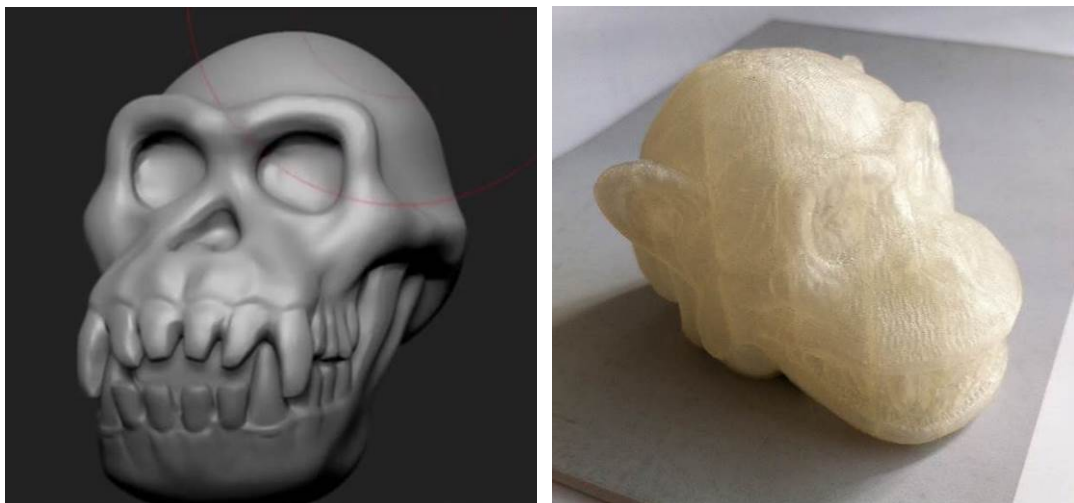
ZBrush



Bei ZBrush handelt es sich um ein sehr komplexes Programm, ein rascher Zugang ist daher nicht möglich. Zur Unterstützung gibt es allerdings kostenfreie Anleitungen. Zum Einstieg dient „Fundamentals“, weitergehende Tutorials und auch Klassenraumtutorials werden angeboten.

Es ist online verfügbar^{xx}. Die Testversion ist 45 Tage funktionsfähig, als Einzellizenz und Klassen-raumlizenz für 800 US\$ erhältlich. Plugins, z.B. Brushes, können ebenso dazugekauft werden wie differenzierte 3D-Modelle, nämlich Köpfe, Halbfiguren, menschliche Körper.

Der kleine Bruder von ZBrush ist Sculptris. Weiterhin existiert eine Online-Version unter dem Namen SculptGL.



Abbildungen: Mit ZBrush modellierte 3D-Modelle (Fotos: 3D-Druckzentrum Ruhr)

Sculptris



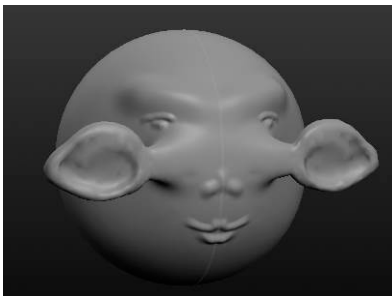
Die kostenfreie Software Sculptris Alpha6 wird mit einer ausführlichen und reich bebilderten Offline-Dokumentation geliefert, in der Wert darauf gelegt wird, dass bei dieser Software das kreative Gestalten im Vordergrund steht. „Handbuch“ und Menüführung sind auf Englisch verfasst.^{xx}



Ausgangspunkt ist eine Kugel, die geformt werden kann. Die Benutzungsoberfläche der Software kommt weitgehend ohne Begriffe aus. Eine übersichtliche Anzahl Buttons dient dem Gestalten.



Die Werkzeuge stellen alle Operationen bereit, die z.B. beim Modellieren mit Ton realisiert werden. Zudem lassen sich ebendiese Operationen des Einkerbens, Ritzens, Herausformens, Abflachens, Eindrückens, Aufsetzens, Herausziehens und des Glättens stufenlos in Größe und Stärke definieren.



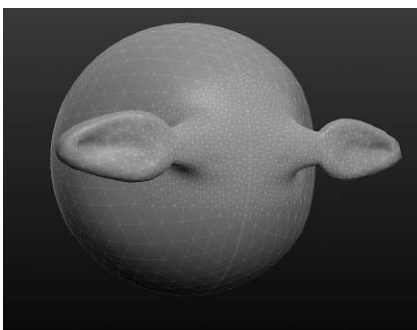
Die volle Kontrolle über den Gestaltungsprozess und -fortschritt ist permanent gegeben, indem die Darstellung des Modells jederzeit skaliert (linke Maustaste) und in alle Richtungen gedreht (rechte Maustaste) werden kann.

Wenn ein falsches Werkzeug oder eine falsche Voreinstellung benutzt wurde, können die Spuren mit der mehrfachen Undo-Funktion ungeschehen gemacht werden.

Eine sinnvolle Hilfe ist die Symmetriefunktion. Ist sie eingeschaltet, ist eine Hilfslinie zu erkennen, die als Spiegelachse wirkt und das auf einer Seite Geformte auf die andere Seite überträgt.

Wer häufig mit der Software arbeitet, kann anstelle der Buttons Tastaturbefehle (Hotkeys) nutzen.

Ist die Gestaltung weitgehend realisiert, lässt sich alles Geformte nachträglich vollständig oder in Teilbereichen vergrößern und verkleinern, verschieben, drehen oder stauchen.



Wird die Polygonnetzansicht eingeschaltet, ist zu erkennen, wo das Punktenetz besonders engmaschig ist. Unten links wird die Anzahl der Dreiecke dargestellt. Schon bei einfachen Formen handelt es sich um einen 5-stelligen Wert.

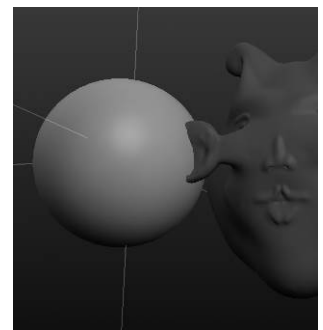
Auch steht eine Auswahl an Oberflächen zur Verfügung, die dem Modell z.B. den Anschein des Metallischen geben. Diese Optionen können dazu beitragen im Falle einer geplanten Übermalung des gedruckten Modells die richtige (Farb-)Wahl zu treffen.

Sollen mehrere Modelle entstehen, lassen sich weitere bearbeitbare Kugeln einfügen und genau platzieren. Auch ein Ineinanderstecken ist möglich.

Modelle des Formats .sc1 können importiert, erstellte Modell im OBJ-Format exportiert werden.



Alle Arbeitsschritte ließen sich sehr flüssig und ohne Wartezeiten ausführen. Weil die Arbeitsweise der Software der des realen Modellierens so sehr ähnelt, kann intuitiv-experimentell vorgegangen werden. Der eingangs erwähnte Anspruch wird voll erfüllt. Wünschenswert wäre, wenn bereits Köpfe oder Körper für die Umgestaltung zur Verfügung ständen. Bei der Software Sculpt und Sculp+ für iOS ist das z.B. der Fall.



SculptGL

SculptGL ist die Variante von Sculptris, die als Online-Applikation im Web angeboten wird. Online^{xxi} können 3D-Modelle neu erstellt sowie importierte STL-Dateien weiter bearbeitet werden. Die grundsätzlichen Funktionen gleichen denen anderer digitaler Modelliersoftware. Der Vorteil ist wie bei anderen Online-Applikationen, dass keine Programm-Installation erforderlich ist, somit auch an der Schule kein IT-Fachmann herangezogen werden muss, um die Software im Unterricht einzusetzen. Ein Internetzugang und ein Speichermedium sind die einzigen Voraussetzungen. Daher können Schülerinnen und Schüler auch zu Hause an ihren Modellen weiter arbeiten, wenn sie in der Schule die Aufgabenstellung und eine Anleitung mit den ersten Schritten erhalten haben. Die wenigen notwendigen Begriffe (Clear Scene, Import STL, Tool, Brush, Inflate, Smooth, Flatten, Drag, Symmetry, Export, ...) sind schnell gelernt, die Konzentration auf die inhaltliche Arbeit kann erfolgen. Die Beschränkung schon auf wenige Werkzeuge ermöglicht eine Menge an Gestaltungsspielräumen.



Abbildung: importierte STL-Datei und erste Bearbeitungsschritte

Blender

Blender ist eine Open Source 3D-Modelliersoftware^{xxii}. Ursprünglich als professionelle 3D-Animationssoftware entwickelt, also basierend auf 3D-Grafik, wurde sie 2002 zur Open Source Software erklärt und erweiterte ihre „3D-Sculpting“-Funktionen. Daher ist sie geeignet zum Modellieren von Mesh-Objekten, die Grundlage eines 3D-Drucks werden sollen. Wenn man Blender nutzen möchte, sollte man grundsätzlich einiges Basiswissen um die digitale Verarbeitung von 3D-Modellen haben: Meshes bestehen aus Punkten (Vertices), zwischen denen Linien (Edges) gezogen sind. Zwischen den Linien werden Flächen (Faces) aufgespannt. Diese Flächen sind das, was man hinterher im Bild von dem Modell am Bildschirm sieht. Als ursprünglich zur Animation entwickeltes Werkzeug kann Blender auch Oberflächen texturieren, beleuchten und Animationen aufzeichnen. Mit einer UV-Textur überzieht man Flächen mit Bildern, z.B. Oberflächentexturen oder Fotos. Die Kamera zeichnet Bewegungen auf.

Der Bildschirm ist in drei Teile aufgeteilt. Oben befindet sich das Info-Fenster mit Daten über das aktuelle Modell, das aus der Tradition der Animation her als Szene bezeichnet wird.

Im Zentrum der Arbeitsfläche steht das 3D-Fenster. Auf ihr erscheint ein Würfel, der wie die Kugel bei Sculptris die Grundlage aller dreidimensionalen Formen bildet, die aus ihm erzeugt werden. Als "plane" wird die Standfläche bezeichnet, auf dem das 3D-Modell positioniert ist.

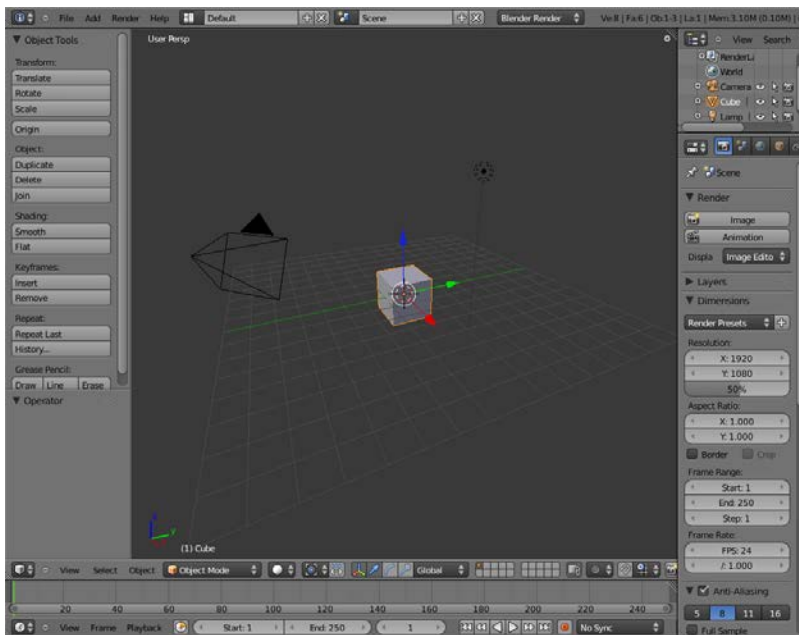


Abbildung: Startbildschirm von Blender

Aus dem vorgegebenen Würfel werden alle Formen erzeugt, indem er in verschiedene Richtungen und Formen extrudiert wird. Dabei werden neue Eckpunkte und Flächen erschaffen, die ihrerseits auch bewegt und weitergeformt werden können. Extrudiert man eine Partie, so erscheint eine Linie, die die Richtung der Extrusion festlegt. Bewegt man die Maus fort, sieht man die neu erschaffenen Vertices.

Eine Kamera erscheint als schwarzes Dreieck. Eine Lampe wird mit gestrichelten konzentrischen Kreisen simuliert. Das Kreuz mit dem weiß-roten Kreis ist der 3D-Mauszeiger. Er kann überall im 3D-Raum platziert werden. Er wird benutzt, um zu

zeigen, wo neue Objekte platziert werden, kann aber auch als Zentrum für Drehungen und Größenänderungen dienen.

Das Fenster unten wird Button-Fenster genannt. Dort können viele Einstellungen der Szene bearbeitet werden, so z.B. Materialien, Lichter, Animationseinstellungen, Render-einstellungen.

Blender ist eine 3D-Modellier-Software, die eine Fülle von Werkzeugen und Einstellmöglichkeiten aufweist und nicht leicht erschlossen werden kann.

So wird mit der rechten statt der üblichen linken Maustaste selektiert. Etliche Befehle sind über Tastaturkürzel erreichbar, die man sich merken muss, will man nicht die Software komplett individuell auf Mausbedienung anpassen.

Das Programm weist eine modulare Benutzeroberfläche auf, bei der man sich die benötigten Werkzeuge selbst zusammenstellen kann. Das Sculpting kann beispielsweise mit 20 verschiedenen "Pinseln" vorgenommen werden. Um sich die Software zu erschließen, bietet Blender Tutorials, die die grundlegende Funktionsweise des Programms, aber auch Profi-Features erklären. Positiv anzumerken ist auch, dass die Werkzeugfülle von Blender sich auch auf die Weiterbearbeitung importierter Scans oder aus dem Internet geladener Modelle bezieht.

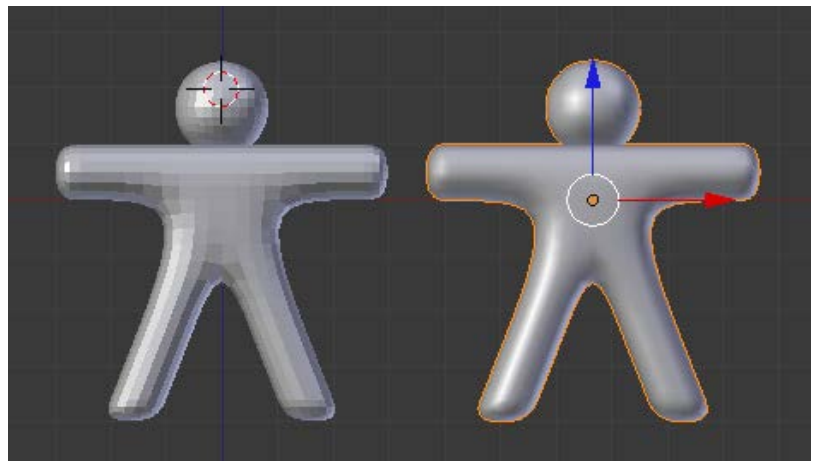


Abbildung: Mit Blender erzeugtes Polygonnetz vor und nach Anwenden des Werkzeugs „Smoothing“

Collagieren von 3D-Modellen

Eine Reihe von Online-Datenbanken für 3D-Modelle hat sich bereits im Internet etabliert. Sie enthalten Bildmaterial, das für digitale Collagen bzw. Assemblagen genutzt werden kann. Die dazu geeignete Software muss dreidimensionale Formen beschneiden, kombinieren, zu neuen Modellen verschmelzen, in der Polygonzahl anpassen und die „Remeshes“ in einem geeigneten Format für den Druck exportieren können. Einige der unter anderer Überschrift hier bereits vorgestellten Programme eignen sich auch für dieses Einsatzgebiet. Daher sind hier die wenigen Programme aufgeführt, die als Schwerpunkt das Verarbeiten von bereits existierenden und nicht das Erzeugen von neuen 3D-Modellen haben. Außerdem ist es ratsam, Modelle aus Online-Datenbanken grundsätzlich auf ihre Druckfähigkeit zu prüfen. Diese Fehlerkorrektur erspart unnötige Misserfolge beim Ausdruck, ist allerdings nicht Bestandteil jeder Software, mit der collagiert werden kann. Die hier aufgeführte Software verfügt weitgehend über diese Funktionen der Druckvorbereitung.

Netfabb



Netfabb^{xxiii} ist eine Software zur Bearbeitung von 3D-Meshes und additiven Fertigung. Netfabb ist neben der kostenlosen Basic-Version und einer Online-App^{xxiv} auch als erweiterte, kostenpflichtige Privat- und nochmals umfangreichere Professional-Version (Netfabb-Pro) erhältlich.

„Netfabb Basic“ bringt alle benötigten Werkzeuge für den 3D-Ausdruck mit. Das Tool ermöglicht den Import von 3D-Modellen aus anderen Anwendungen sowie die anschließende Bearbeitung. Netfabb schließt u.a. unerwünschte Lücken im Modell, erstellt wasserdichte Objekte und kann defekte Oberflächen reparieren. Dabei unterstützt es die Formate STL, X3D, WRL, GTS, CLI, SLI, SLC, SSL, CLS und G-Code.

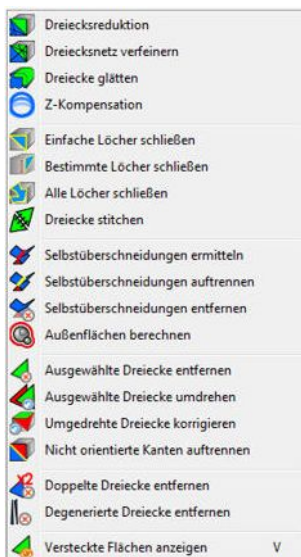


Abbildung: Netfabb-Reparaturwerkzeuge

Die notwendigen Arbeitsschritte zur Fehlerkorrektur erschließen sich in der Software nicht unmittelbar. Die folgenden Schritte haben sich als Weg gezeigt, auf dem die meisten Fehler und Druckprobleme in den Griff bekommen werden können:

- Project / New
- Part / Add
- Extras / Repair part
 - Dialogfeld „Automatic repair“: Default repair
 - Dialogfeld „Apply repair“
 - Remove old part
- Part / Export part / as STL
 - Speichern
 - Dialogfeld: Optimize
 - Dialogfeld Export

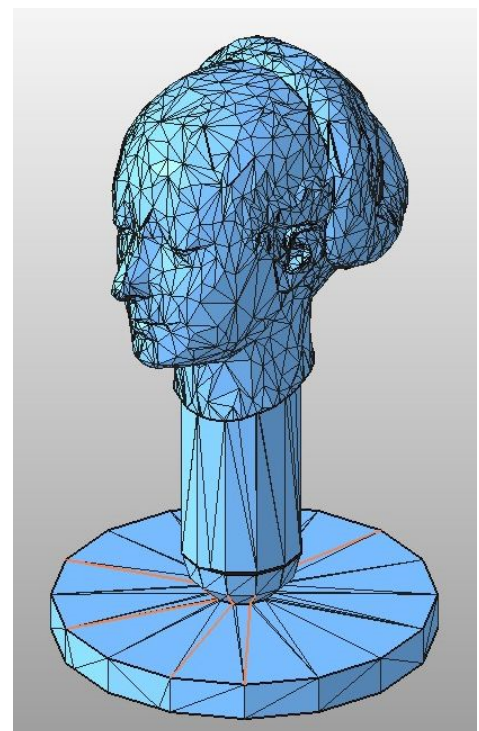


Abbildung: 3D-Modell aus einer Online-Datenbank, beschnitten und ergänzt als Rüste

Möchte man Meshes miteinander kombinieren oder collagieren, stößt man an die Grenzen von Netfabb-Basic und muss die Pro-Version erwerben. Mit ihr fügt man u. a. Zusatzteile ein und legt die Größe sowie die Ausrichtung des Gegenstandes fest. Entspricht das Ergebnis den Vorstellungen, so speichert man es im SLT- oder Netfabb-Format ab.

Meshmixer



Meshmixer^{xxv} ist eine 3D-Software der Firma Autodesk und gehört zu der 123D Software-Familie der Firma Autodesk, die 3D-Software für den Hobbyeinsatz anbietet. Gegenüber der üblichen Software ist der Ansatz der 3D-Software jedoch nicht die Konstruktion von Objekten, sondern die Veränderung von bestehenden 3D-Modellen. Daher bietet die Software nur ab Version 2 die Möglichkeit, neue Modelle zu erstellen, sondern besitzt nur die Optionen, ein oder mehrere Modelle zu importieren oder auf eine Sammlung programmeigener lokaler Modelle zuzugreifen, die auch miteinander kombiniert werden können. Die Modelle werden als Meshes (Polygonnetze) dargestellt, welche durch verschiedene Funktionen bearbeitet werden können.

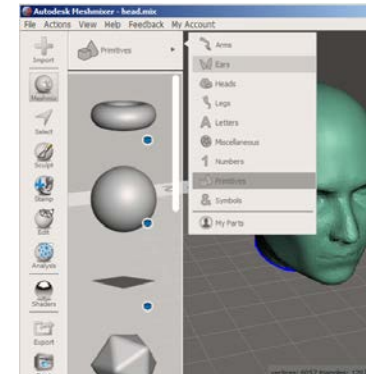


Abbildung: Kategorien von programmeigenen Modellen zum Import

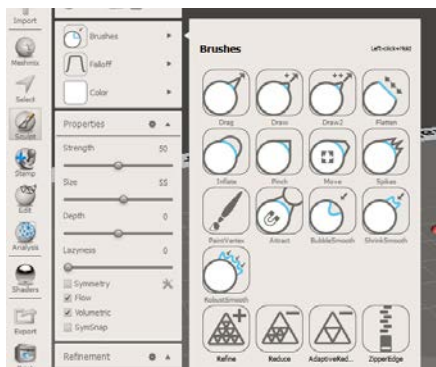


Abbildung: Auswahl an Funktionen zur Bearbeitung von Polygonen

Daher ist bei der Verwendung der Software ein Umdenken nötig, da es nicht darum geht, Eigenschaften von Objekten zu ändern (Länge, Breite, Kurven), sondern um die Polygonnetze der Modelle zu verändern.

Die Software kann Modelle in den Formaten obj, ply, stl und amf importieren. Ein Export ist zusätzlich in die Dateiformate dae und wrl möglich.

Des Weiteren ist eine Anbindung der konzerneigenen Webseite 123app.com integriert, um Modelle der Seite direkt aus der Software heraus zu importieren oder hochzuladen.

Ursprünglich als Software für den 3D-Drucker Makerbot erstellt (was stellenweise noch erkennbar ist), ist die Software aber durch die zahlreichen Export- und Import-Formate für alle gängigen 3d-Drucker geeignet. Besonders geeignet ist Meshmixer für das Erstellen von Stützkonstruktionen. Die Funktion „Analysis“ kann beim Ausdruck zu erwartende Probleme erkennen und automatisch stützende Bauteile generieren, die den Druck möglich machen und ggf. nach dem Druck entfernt werden können. Das Hilfesystem beschränkt sich größtenteils auf Online-Hilfen^{xxvi} (u.a. Tutorials, Videos, PDFs, Foren).

Die Verwendung der Software ist innerhalb der Bestimmungen der Autodesk-Lizenz kostenfrei möglich.

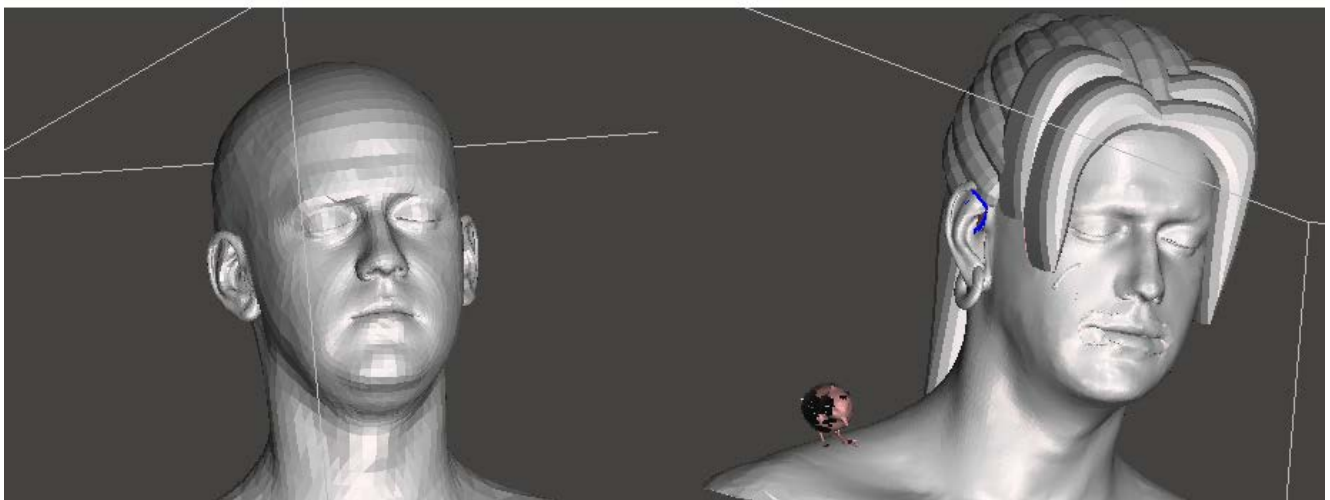


Abbildung: Umbau eines 3D-Modells durch Kombination von importierten 3D-Modellen mit Meshmixer



MeshLab ist das ultimative Open Source Werkzeug zur Verarbeitung von 3D-Scans. Aus den Punktwolken des 3D-Scanners können in MeshLab 3D-Modelle erstellt werden. Die Software wurde an der Universität Pisa entwickelt und basiert auf der VCG Bibliothek des Visual Computing Lab ISTI-CNR. MeshLab^{xxvii} ist angelegt als erweiterbares 3D-Software-System zur Anzeige, Verarbeitung und Reparatur der Polygon-Oberflächennetze von 3D-Modellen. Es ist für Windows, iOS und Android verfügbar.

Mit Mesh bezeichnet man ein Polygonnetz zur geometrischen Beschreibung von Oberflächen. Das Ergebnis eines Scans kann als Knotenliste oder vermaschtes Dreiecksnetz in MeshLab importiert werden. Vom Scan zum Mesh sind folgende Arbeitsschritte nötig:

- Bereinigung der Punktwolke
- Registrierung der Scans
- Berechnung der Oberfläche (Remeshing, Simplification, Surface Reconstruction)
- Reduktion der Daten und Glättung der Oberfläche
- Finishing

Bei der Arbeit mit MeshLab stehen umfangreiche Filter und Werkzeuge für diese Aufgaben zur Verfügung. Es können doppelte und nicht zusammenhängende Punkte beseitigt werden, auch kleine isolierte Flächen gelöscht, Löcher automatisch geschlossen und Non Manifold und Self intersecting Faces entfernt (vgl. das Kapitel „Polygonfehler“). Besonders wird das Poisson-disk-Sampling-Werkzeug zur Bearbeitung der Punktwolke geschätzt. Für den Datenimport werden die Formate PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN verwendet und für den Datenexport die Formate PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, VRML, DXF, GTS, U3D, IDTF, X3D. Die Unterstützung des neuen U3D-Formats muss besonders betont werden.

Um aus mehreren Punktwolken ein Modell zu erstellen, z.B. aus Einzelscans der Vorder- und Rückseite eines Modells, steht das „Merging“ zur Verfügung. Mit dieser Funktion können digitale Collagen erstellt werden.

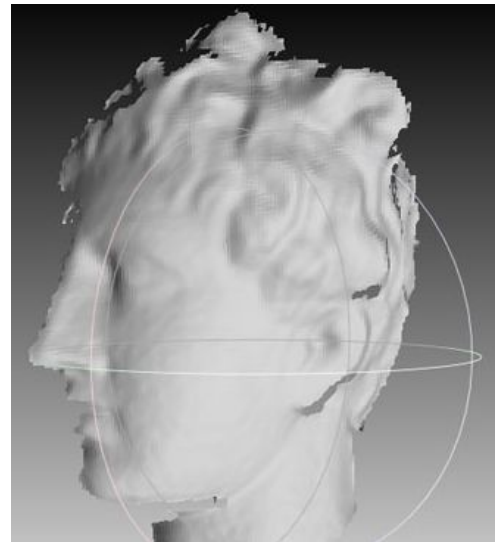


Abbildung: Darstellung einer Punktwolke als Ergebnis eines 3D-Scans in MeshLab

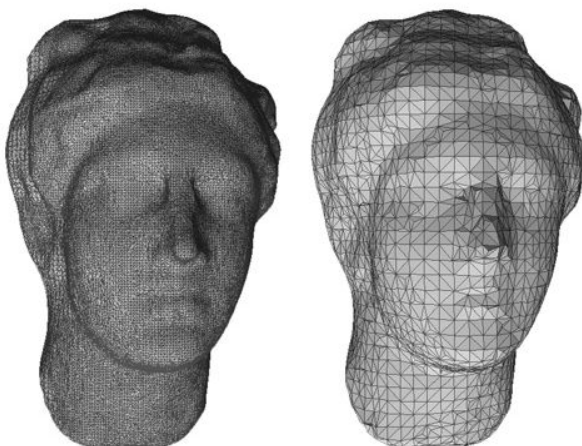


Abbildung: Mit MeshLab kann die Anzahl der Polygone und damit die Dateigröße reduziert werden.

MeshLab unterscheidet zwei Arten von Layern: Mesh-Layer und Raster-Layer. Mesh-Layer sind der Geometrie zugeordnet. Raster-Layer sind 2D-Daten, die Oberflächen der Modelle in Texturen und Farbe festlegen. Auch hierin bestehen Gestaltungsmöglichkeiten, die sich auf den Druck nicht auswirken: das Einfärben von Oberflächen oder das Überziehen mit Texturen.

Auch die Bemaßung des Modells oder seiner Teile kann mit MeshLab überprüft und das Modell auf eine geeignete Größe skaliert werden. Schließlich kann die Druckvorbereitung bis hin zum Slicen vorgenommen werden.

Drucksoftware

Neben Drucksoftware, die bei einer Reihe von Druckern im Kaufumfang enthalten ist, gibt es zur Druckvorbereitung auch kostenlose und leistungsfähige Alternativen, die hier besonders hervorgehoben werden sollen.

Slic3r

Slic3r ist eine kostenlose Freeware^{xxviii}, mit welcher 3D-Drucker professionell angesteuert werden können. Die Software deckt in der Druckvorbereitung (vgl. Kapitel „Grundlagen“) die Bereiche Stützkonstruktion, Fehlerkorrektur und Slicing ab. Sie ist lauffähig unter Windows, Mac OS X und Linux. Bei der Installation werden genaue Konfigurationsangaben zum anzusteuernenden Drucker abgefragt, u.a. Drucktemperatur, Bauraummaße und Filamentarten. 3D-Modelle können in den Formaten STL, OBJ und AMF importiert und gedruckt werden.

Stützkonstruktion: Slic3r berechnet, ob an dem zu druckenden Modell Stützmaterial angebracht werden muss und fügt es auf Wunsch ein.

Fehlerkorrektur: Wenn das Mesh des Modells Löcher enthält oder falsch ausgerichtete Kanten enthält (bekannt als Nicht-Mannigfaltigkeit), kann es zu Problemen im Druck kommen. Slic3r gibt mehrere Optionen an und behebt alle Probleme, die es kann. Nur wenige Probleme sind außerhalb seiner Möglichkeiten.

Slicing: Die Software zerlegt 3D-Modelle in einzelne Schichten, sodass am Ende eine druckbare Vorlage für den 3D-Drucker entsteht. Schon im „Simple Mode“ sind die Einstellungsmöglichkeiten zahlreich. Einstellungen zu Druckdetails können individuell vorgenommen werden, so beispielsweise die Geschwindigkeit und Temperatur bei der untersten Schicht (first layer). Slic3r unterstützt auch einige seltene Features wie den „Brim-Mode“, der sonst nur kostenpflichtiger Profi-Software vorbehalten ist. Im Brim-Mode wird ein kleiner Rand um das Objekt gedruckt, der für mehr Stabilität sorgt. Auch können Druckköpfe während des Druckens angesteuert werden. Wer seinen 3D-Drucker über die Open Source Software OctoPrint^{xxix} ansteuert, kann die Druckdaten auch direkt in diese Software laden. Slic3r lässt sich auch als Plug-in für die Software Repetierhost verwenden.

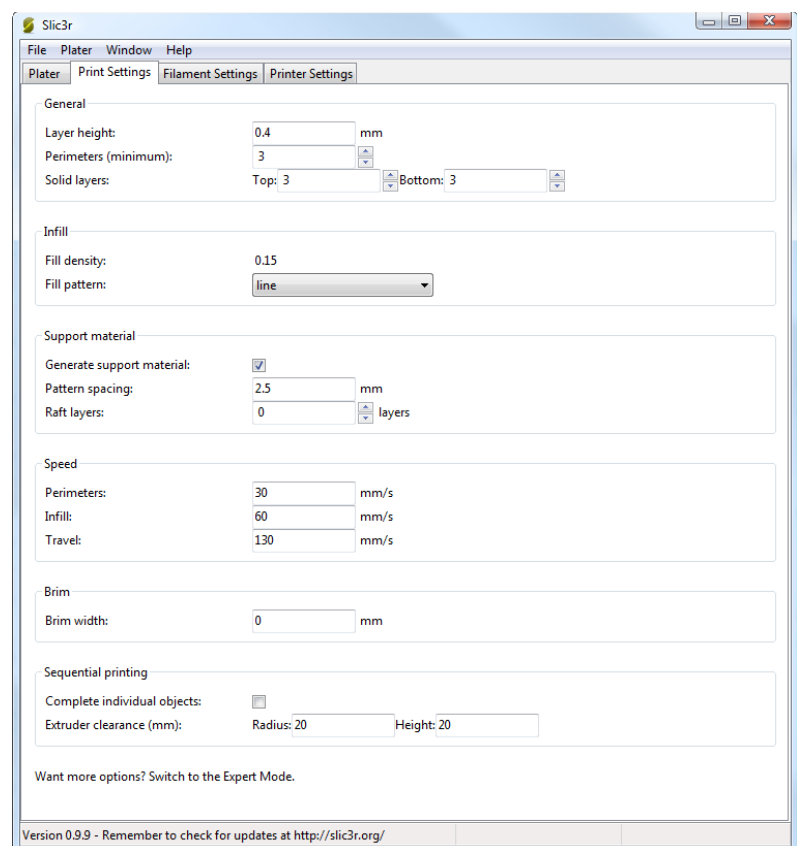


Abbildung: Druckeinstellungen mit Slic3r

Repetierhost

Repetier-Host ist eine Bedienoberfläche, mit der ein 3-D-Drucker über USB-Verbindung angesteuert werden kann. Hersteller ist die Firma Hot-World. Die Software, bei der keinerlei Lizenzgebühren anfallen, kann kostenlos heruntergeladen werden^{xxx}. Wer die zukünftige Entwicklung unterstützen möchte, kann spenden.

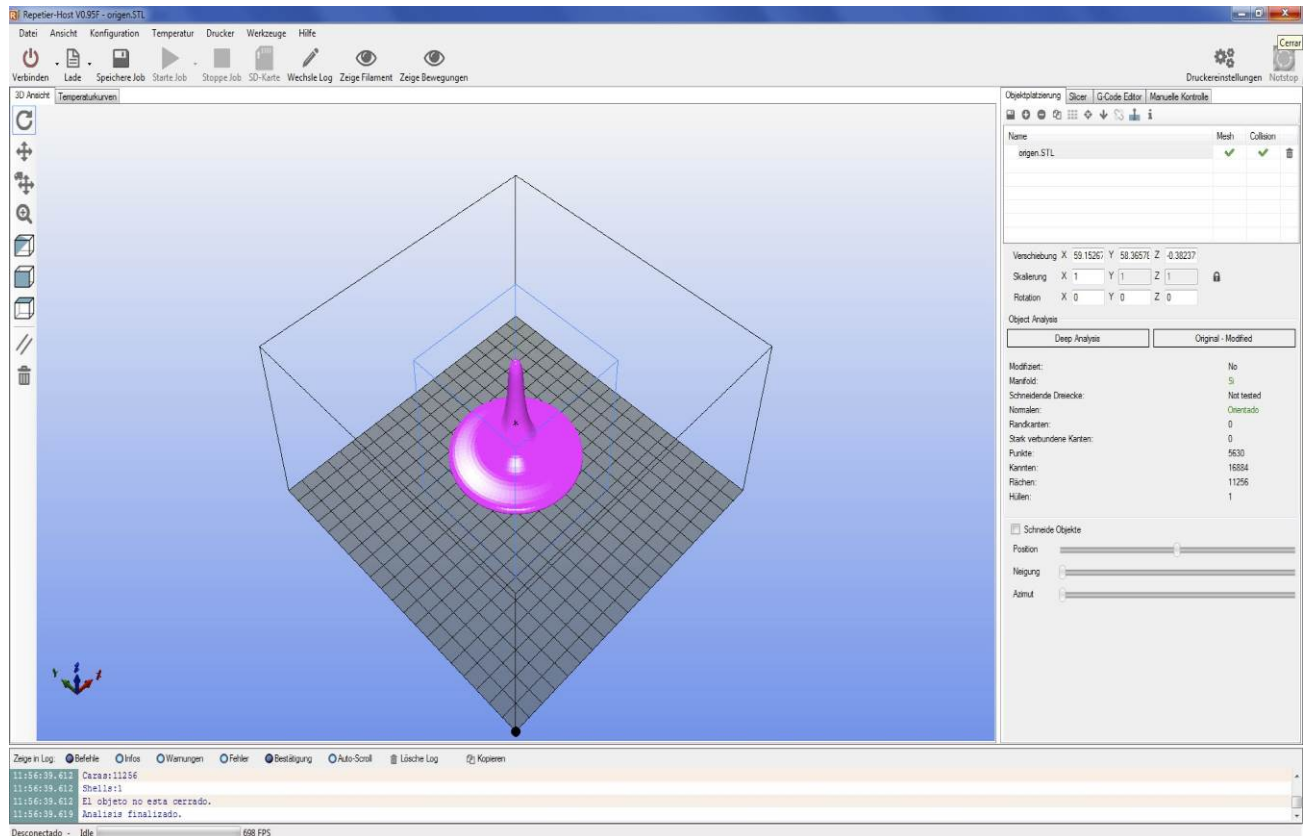


Abbildung: Druckeinstellungen mit Repetier-Host

Repetier-Host ist lauffähig unter Windows, Mac OS X und Linux. Nach der Installation erfolgt zunächst die Konfiguration, in der die Parameter für den Drucker (vgl. oben Slic3r) eingegeben werden. Die Unterstützung der Software durch Anleitungen und Tutorials im Internet ist besonders reichhaltig.

Repetier-Host enthält bereits Slic3r als Plug-in. Es ist jedoch grafisch ansprechender und bietet mehr Optionen zur Visualisierung der 3D-Modelle und deren Gcode. Repetier-Host kann Profile und Konfigurationen für den Druck, den Drucker und den Extruder verwalten und speichern. Eine wichtige Funktion ist die Überwachung des Druckvorgangs durch den Repetier-Server über Webcam, Smartphone oder Tablet.

Cura

Die kostenlose Drucksoftware Cura kann Dateien mit 3D-Modellen öffnen, bearbeiten und diese mit einem 3D-Drucker ausdrucken^{xxxi}. Sie wurde für den 3D-Drucker Ultimaker entworfen, funktioniert aber auch bei einigen anderen Druckern. Die Open-Source-Software unterstützt die Formate STL, OBJ, DAE oder AMF. Dabei kann zwischen Ansichten gewählt werden, die verschiedenen Aufgaben der Druckvorbereitung dienen:

- Normal ist die Standard-Ansicht, um die Objekte in verschiedenen Perspektiven betrachten zu können.
- Overhang zeigt in Rot an, wo eventuell Überhänge sind, die man unterstützen müsste.
- Transparent ermöglicht es, ins Innere des Modells zu schauen, um Fehler festzustellen.
- X-Ray findet Fehler, die einen falschen Code ausgeben könnten und daher rot markiert sind.
- Layers ist die Ansicht, in der man sieht, wie der Drucker Layer für Layer arbeitet.

Cura ermöglicht die Fehlerkorrektur, das Anbringen von Stützmaterial und das Slicen mit vielen Einstellmöglichkeiten sowohl für Einsteiger als auch fortgeschrittene Druckexperten. Die Software ist durch diverse Anleitungen und Tutorials dokumentiert.

Drucker

Bei den vielen bereits verbreiteten Verfahren der Herstellung dreidimensionaler Erzeugnisse wird in dieser Handreichung nur der kostengünstige 3D-Druck im **FDM- bzw. FFF-Verfahren** berücksichtigt. Diese Technologie basiert auf dem Schmelzschichtverfahren (auch als Fused Deposition Modeling bezeichnet, kurz FDM, oder als Fused Filament Fabrication, kurz FFF), einer Untergruppe einer Reihe von Fertigungsverfahren, die als „Rapid Manufacturing“ bezeichnet werden. Ein solcher 3D-Drucker stellt dreidimensionale Objekte aus Kunststoff oder anderem thermoplastischen Material her.

Die Zukunft wird zeigen, ob andere Verfahren, die momentan noch mindestens siebenfach höhere Anschaffungskosten aufweisen, wie beispielsweise das „Lasersinter-Verfahren“, im Preis soweit fallen, dass Schulen sie sich leisten können.

Im Folgenden werden die beiden grundsätzlichen Möglichkeiten dargestellt, die sich für Schulen anbieten, die in den 3D-Druck einsteigen wollen: die Anschaffung eines Druckers für die eigene Schule oder das, was heute gerne als „Outsourcing“ bezeichnet wird.

Druckeranschaffung

Es gibt einige grundlegende Kriterien, die beim Kauf entscheidend sein können. Um einen einfachen Vergleich herzustellen, werden im Folgenden wichtige Kriterien kurz erläutert. Des Weiteren werden, sofern möglich, die Werte des hier verwendeten Referenzmodells mit angegeben, sodass man einen ersten Anhaltspunkt hat. Eine Darstellung aller am Markt befindlichen Geräte ist hier nicht zu leisten, insbesondere da die Technik immer besser wird. In der Regel hat sich gezeigt, dass man mit den Standardstellungen weit kommt und dass dies für den schulischen Alltag auch ausreicht. Sollte man jedoch die Möglichkeiten des Druckers ausreizen wollen (beste Druckqualität, sehr schneller Druck), so muss man damit rechnen, dass man sich intensiv mit den Feineinstellungen auseinandersetzen und viel Zeit investieren muss, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen und Fehldrucke zu vermeiden.

Kriterium	Hinweis	Referenzmodell
Auflösung	Je feiner die Auflösung, desto besser das Druckergebnis. Allerdings wirkt sich eine feinere Auflösung negativ auf die Druckzeit aus.	➤ 20 µ
Geschwindigkeit	Auch die Druckgeschwindigkeit kann oftmals angepasst werden. Dabei gilt die Faustregel, je schneller der Druck, desto schlechter das Ergebnis.	30 – 300 mm/s
Bauraum	Die Größe einer Figur ist durch den Bauraum des Druckers limitiert.	223mm x 223mm x 205mm
Baumaterial (Filament)	Es gibt verschiedene Arten von Filamenten. Das Filament ist auf Rollen untergebracht, die am Drucker befestigt werden. Die wichtigsten Materialien sind PLA und ABS. Man sollte darauf achten, dass manche Drucker nicht mit allen Materialien umgehen können (siehe Text).	PLA und ABS

Datenübertragung	Um den G-Code zu übertragen, gibt es verschiedene Techniken: - Netzwerkanschluss/WLAN - Bluetooth - SD-Karte - USB-Stick Der Einsatz einer SD-Karte ist einfach, doch kann diese leicht verloren gehen. Auch erlaubt nicht jeder IT-Systembetreuer an Schulen die Einbindung portabler Laufwerke (USB-Sticks, SD-Karten) an den Schulcomputern. Den Drucker in das Netzwerk einzubinden ist auch nicht überall erlaubt. Hier ist eine Rücksprache mit einem Verantwortlichen sinnvoll.	SD-Karte
Anzahl Düsen	Einige Hersteller bieten 3D-Drucker mit zwei Düsen an. Dies bietet den Vorteil mit zwei unterschiedlichen Filamenten zu arbeiten, um zweifarbige Ausdrücke zu erhalten oder das Stützmaterial andersfarbig zu drucken.	eine
Wartung	Wie anfällig ist das Gerät für klemmende Teile, verstopfte Düsen? Wie schnell ist das Gerät auseinandergebaut und vor allem wieder zusammengebaut? Sind die Teile einfach erreichbar? Kann man selbst viel machen oder muss man sich an den Support wenden?	Ausbau der Düse in ca. 10 Minuten. Arbeitsplatte schnell entferbar.
Ersatzteile / Gewährleistung / Garantie	Eventuell geht ein Motor kaputt oder eine Düse verstopft und ist nicht mehr freizukriegen. Sind Ersatzteile schnell lieferbar? Gibt es günstigere Replikat? Wie lange dauert die Abwicklung eines Gewährleistungs- oder eines Garantiefalls? Was umfasst die Garantie und wie lange? Muss das Gerät sogar in das Land des Herstellers versendet werden?	Ersatzteile sind beim Hersteller oder auf diversen deutschen Elektronik-Shops erhältlich.
Zubehör	Manche Hersteller bieten zusätzliche Add-ons, um bspw. eine WLAN-Funktionalität nachzurüsten, oder um über Apps für das Smartphone den Druckstatus abzufragen.	Keines vorhanden.

Anleitung/Hilfe	Ist eine Anleitung auf Deutsch erhältlich, auch für die verwendete Drucker-Software? Wie erreiche ich den Hersteller? Gibt es sonstige Hilfen (Foren, Chats etc.)?	Englische Anleitung beigelegt, deutsche auf der Internetseite verfügbar. Reichlich bebildert, kurz aber genau erklärt. Hinweise zur Reinigung der Düse bei schwerwiegenden Verstopfungen jedoch gering. Verweis auf die Support-Hotline. Jedoch umfangreiche Hilfen durch die Community und der Hersteller-Webseite.
Bedienung	Ist der Drucker einfach zu bedienen? Welche Bedienelemente besitzt er?	Ein Menürad, kleines Monochrom-Display. Minimalistisch, aber funktional und leicht zu bedienen.
Robustheit	Ist der Drucker/das Material für den Einsatz in der Schule geeignet?	Stabiler Holzrahmen. Jedoch offener Bauraum zum Hineingreifen.

Alternativen zum Druckerkauf

Nicht jede Schule will sofort einen 3D-Drucker anschaffen. Eventuell will man auch erst ein Projekt durchführen, bevor man sich für einen Kauf entscheidet. Für solche Fälle bieten sich verschiedene Alternativen an:

Fab Labs

Eine Möglichkeit sind Fab Labs (engl. fabrication laboratory – Fabrikationslabor). Fab Labs sind Einrichtungen (von Vereinen, Universitäten etc.), die einer Werkstatt ähneln. Dem Prinzip von Fab Labs folgend, sind diese frei nutzbar und oft findet man dort technische Unterstützung. Eine Liste von Fab Labs findet sich im Anhang und im Internet.^{xxxii}

Partner-Netzwerke

Viele Schulen sind Teil von Partnernetzwerken bspw. den zdi-Zentren^{xxxiii}. Auch dort kann man sich erkundigen, ob Firmen Teil des Netzwerks sind und einen 3D-Drucker zur Verfügung stellen können.

Online-Dienste

Inzwischen gibt es auch Firmen, die ihre Dienste im Internet anbieten^{xxxiv}. So schickt man mittels Formular oder E-Mail seine Druckdateien an den Anbieter und erhält (nach ein paar Tagen) seine gedruckten Modelle per Post. Allerdings prüft der Anbieter die Druckdaten in der Regel nicht, sodass man erst nach ein paar Tagen ein eventuell falsch gedrucktes Modell erhält. Die Fehlerkorrektur ist oft als zusätzliche Leistung buchbar.

Einen Drucker selbst bauen

Die Alternative zu dem Kauf eines 3D-Druckers ist der Selbstbau eines solchen Geräts. Kommerzielle Anbieter bieten dafür viele verschiedene Baukästen an, die Lerngruppen unter Anleitung mit ein wenig handwerklichem Geschick selbst zusammenbauen können.

Die Kosten für komplette Druckerbausätze sind allerdings häufig sehr hoch. Günstiger wird es, wenn die Einzelteile über den Fachhandel bezogen werden. Im Internet gibt es die dazu passenden Stücklisten und Baupläne. Zum Teil sind dort Dateien zum Download hinterlegt, mit denen benötigte Bauteile des 3D-Druckers ausgedruckt werden können. Beispielsweise ist „RepRap“ ein gemeinfreier 3D-Drucker. Die meisten seiner Bauteile sind aus Kunststoff und können mit einem 3D-Drucker angefertigt werden. Er kann deshalb als sich selbst reproduzierende Maschine bezeichnet werden.^{xxxv}

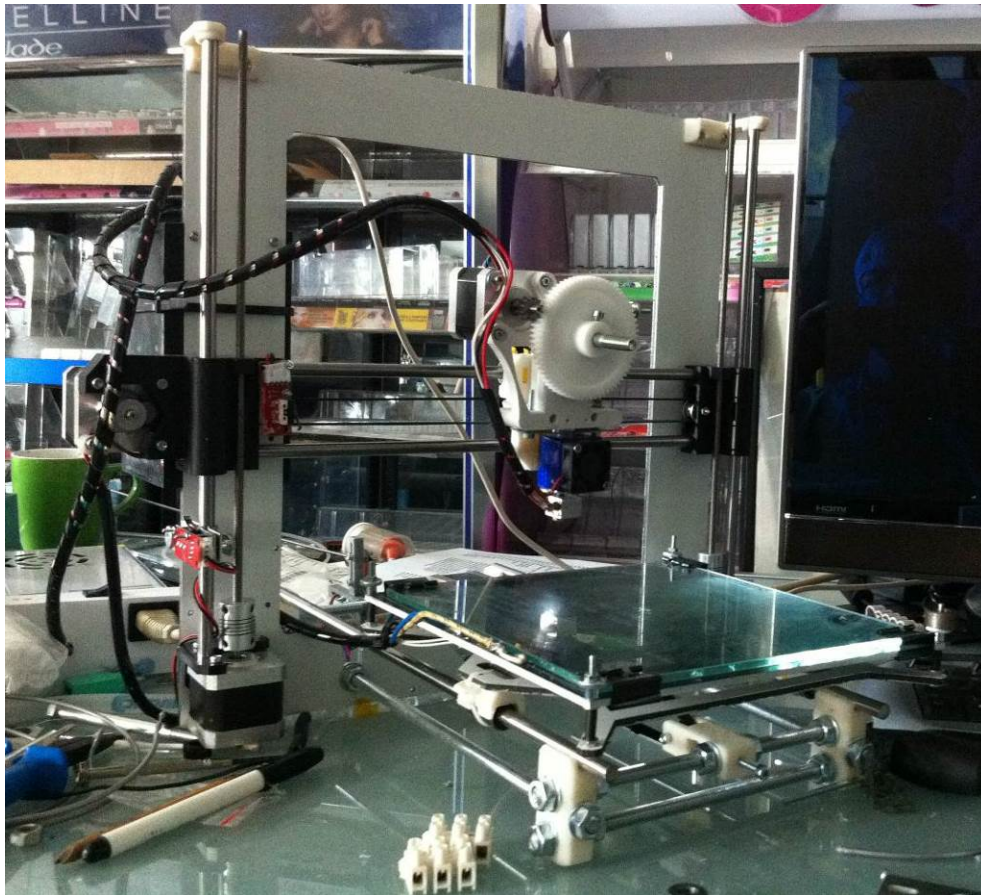


Abbildung: Ein 3D-Drucker, der aus einem Bausatz selbst montiert wurde

Die Online-Anleitungen, die Dokumentationen und der Support in Foren sind verständlich, so dass ein Selbstbau eines 3D-Druckers mit Lerngruppen machbar bzw. für den Technikunterricht empfohlen werden kann.

Sonstige Möglichkeiten

Eventuell findet sich im näheren Personenkreis jemand, der einen 3D-Drucker besitzt. Vielleicht besitzen die Eltern von Schülerinnen oder Schülern einen Drucker und stellen ihn zur Verfügung, oder es befindet sich eine Firma in der Nähe, die ihren 3D-Drucker zeitweise vermietet, beispielsweise ein Architekturbüro, das sein Gerät nur wenig verwendet.

Das Filament

Das Material, mit dem gedruckt wird und das als Filament bezeichnet wird, ist herkömmlicher Kunststoff. Dabei unterscheidet man zurzeit zwischen ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) und PLA (Polylactid). PLA gilt gemeinhin als „einsteigerfreundlich“, da es weniger Erfahrung im Druck benötigt.

Die Materialien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften, wie bspw. Schmelzpunkt, Witterungsbeständigkeit, Bearbeitbarkeit und anderen Kriterien. Insbesondere der Schmelzpunkt ist relevant für die Auswahl des Druckers. Wer sich näher mit diesen Eigenschaften vertraut machen will, findet dazu eine schnelle Orientierung im Online-Magazin „3druck.com“^{xxxvi}. Für den normalen Gebrauch ist dies jedoch nicht nötig, da die Drucker bzw. die Druckersoftware meist für das jeweilige Material Voreinstellungen besitzen, sodass man unmittelbar drucken kann.

Gesundheitliche Aspekte

Generell sind sowohl PLA als auch ABS in der Lebensmittelindustrie als Verpackungsmaterial oder in Spielzeugen zu finden. Informationen über gesundheitlichen Gefahren sind derzeit nicht bekannt. Eine Arbeit des „Institute of Technology“ von Illinois beschäftigte sich mit den Feinstaub-Emissionen von 3D-Druckern und kam zu dem Schluss, dass zwar eine erhöhte Feinstaubbelastung messbar ist, diese aber vergleichbar ist wie die von Laserdruckern^{xxxvii}. Insgesamt betrachtet ist es empfehlenswert, den Drucker in gut belüfteten Räumen zu betreiben.

Neben der Feinstaubgefahr sollten weitere Gefahren in Betracht gezogen werden. ABS enthält Styrol, das laut RISU^{xxxviii} in den Schulen in NRW nicht erlaubt ist, da es beim Drucken die Atemwege reizende Gase emittiert. Bei Einsatz von ABS ist daher ein separater Raum für den Drucker erforderlich. Im Schulbereich sollten solche Probleme bei PLA nicht auftreten. Es wird aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und ist biologisch abbaubar. Für den Druck von PLA ist ein beheiztes Druckbett nicht notwendig. Dennoch sollte beim Kauf von Filamenten beim Hersteller die Eigenschaften und die Verwendbarkeit (Lebensmittelechtheit, Temperaturgrenzen, Weichmacher, etc.) erfragt werden. So gibt es beispielsweise mit Polypropylen (PP) ein spezielles Filament für ein lebensmittelechtes Druckmaterial.^{xxxix}

Überwachung des Druckvorgangs

Die bisher handelsüblichen Drucker haben den Nachteil, dass die Drucker Fehler nicht erkennen und einfach weiterdrucken, wenn Fehler im Druckmodell entstehen. Dies kann dazu führen, dass die Düse des Druckers verstopft oder der gesamte Druckkopf mit Filament vollläuft.

In einem der Tests hat das dazu geführt, dass das Heizelement nicht mehr gekühlt wurde, verstopfte und der angeschlossene Sensor sowie das Heizelement zerstört wurden – ein Schaden von ca. 120,- €.

Da ein Druckvorgang mehrere Stunden dauern kann (der Druckvorgang des Globulihalters in der Abbildung dauerte beispielsweise 11 Stunden), ist es nicht möglich, diesen die ganze Zeit zu beobachten.

Zu Beginn der 3D-Druck-Bewegung behelf man sich mit Webcams, die man auf den Drucker montierte, um den Druckvorgang von der Ferne aus zu beobachten. Ein Abschalten aus der Ferne war damit allerdings nicht möglich. Später kamen aus der Community jedoch Lösungen, die auch dies erlaubten.

Inzwischen haben auch die Druckerhersteller reagiert und erweitern ihre Drucker um Lösungen. Im Folgenden finden sich zwei Beispiele.

OctoPrint^{xl} ist eine Software, die ein Webinterface zur Verfügung stellt, um den Drucker zu überwachen und zu steuern. Als Projekt in privater Hand wird es nun durch die Firma BQ unterstützt.



Abbildung: Tablett als Globulihalter, Ausdruck ca. 11 Stunden

Da OctoPrint nur auf einem Softwareprojekt basiert, benötigt man zusätzlich einen Kleincomputer, der an den Drucker angeschlossen wird.

Vom Funktionsumfang her kann man mit OctoPrint über das Netzwerk auf den Drucker zugreifen, technische Daten abrufen (bspw. Temperatur), auf eine WebCam zugreifen, den Druckvorgang starten/stoppen und vieles mehr.

OctoPrint ist als OpenSource erhältlich. Man benötigt jedoch ein wenig Hintergrundwissen, um das System auf einen Kleincomputer zu übertragen und zu konfigurieren. Auf der Seite von OctoPrint findet sich jedoch eine gute Dokumentation und ebenso eine Präsentation von Gina Häußge, der Gründerin von OctoPrint, mit der sie auf der MakerFaire Hannover 2014 einen guten ersten Überblick über das Projekt gab.

Auch die Drucksoftware Repetier-Host^{xii} ermöglicht die Überwachung des Druckvorgangs über Webcam, Smartphone oder Tablet (vgl. Kapitel Drucksoftware).

Einige Hersteller bieten in ihrer jüngsten Generation ihrer 3D-Drucker ab Werk eine Fernkontrolle an. Mit Softwarelösungen wie MakerBot Desktop für Computersysteme und MakerBot Mobile für mobile Geräte^{xiii}, kann man die Drucker über eine Netzwerkverbindung per Videostream überwachen und wird benachrichtigt, sobald ein Druck beendet ist. Neben der Überwachung kann man aber auch 3D-Modelle an den Drucker senden, auf eine Online-Datenbank für 3D-Modelle zugreifen und 3D-Modelle an den Drucker senden oder auf seine eigene Cloud zugreifen.

Man erkennt schnell, dass die herstellereigenen Lösungen einfacher zu bedienen sind. Der Nachteil liegt darin, dass sie nur für eine geringe Anzahl von Druckern geeignet sind und der Funktionsumfang vorgegeben ist. Lösungen wie OctoPrint sind vielfältiger zu nutzen und zu erweitern, benötigen aber auch mehr Einarbeitungszeit.

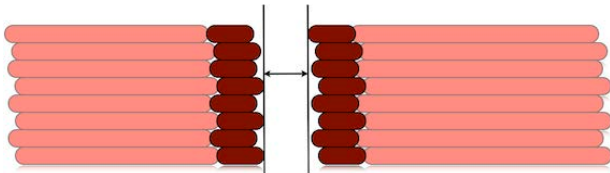


Abbildung: Fehlerhafter Druck durch versetzte Layers

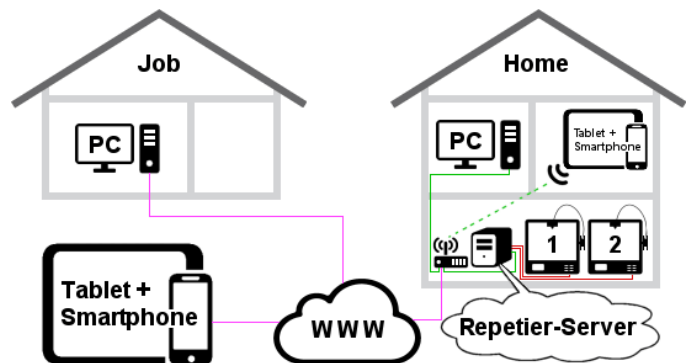


Abbildung: Überwachung des Drucks durch Repetier-Host
(Quelle: www.repetier.com/)

Fehlerhafte Druckvorgänge erkennen beide Lösungen nicht. Sie bieten jedoch mit einem Videostream die Möglichkeit der visuellen Fernkontrolle. Allerdings ist diese mit einer einfachen Webcam mit integriertem Webserver auch zu erreichen, wie sie im Handel zu finden ist.

Exemplarische Unterrichtsprojekte

Der Einsatz neuer Medien im Unterricht sollte kein Selbstzweck sein. Kriterium für die Eignung in der Schule kann nur ein Vergleich zwischen neuen Medien und den traditionellen Methoden und Medien sein. Das Medium kann Zugänge zu Inhalten erleichtern, den Kompetenzaufbau fördern und angestrebte Lernprozesse unterstützen. In die Beschreibung der Unterrichtsprojekte sind daher die folgenden Aspekte eingeflossen:

- Jahrgang
- Stundenumfang
- Thematischer Kontext – Unterrichtlicher Zusammenhang
- Intentionen - curriculare Begründung
- Aufgabenstellung
- Technische Voraussetzungen
- Vor- oder Spezialkenntnisse, Technikaffinität
- Dokumentation von Unterrichtsprozessen – methodische Vorgehensweise
- Ergebnisse
- Reflexion/Tipps
- Vorzüge des 3D-Druck im Unterrichtsprojekt im Vergleich zu traditionellen Medien

Unterrichtsbeispiele zum digitalen Konstruieren

Roboter erobern die Schule (Jahrgangsstufe 7)

Das hier vorgestellte Projekt zum Thema 3D-Druck im Kunstunterricht fand in einer siebten Klasse eines Aachener Gymnasiums statt. Die Klasse bestand aus 28 Schülerinnen und Schülern, geschlechterspezifisch ausgewogen. Zwei von ihnen hatten bereits einfache Erfahrungen im Umgang mit CAD-Software aus einer Arbeitsgemeinschaft an der Schule, ein Schüler konnte von zu Hause aus Erfahrungen in den Unterricht einbringen.

Der Kunstlehrer hatte bis dato keinerlei Erfahrungen mit der Technik, sodass ein Informatiklehrer ihn während der Planung und zu Beginn der Unterrichtsreihe unterstützte.

Die Planung selbst nahm schnell Konturen an. Ausgehend von einigen technischen Betrachtungen, was mit einem 3D-Drucker möglich ist und welche Software eingesetzt werden kann, kristallisierten sich zwei Ideen heraus.

Die erste Idee basierte auf dem Thema der Verfremdung. So sollten vertraute, alltägliche Objekte durch Hinzufügen von Extremitäten und anderen Körperteilen „zum Leben erweckt werden“.

Die zweite Idee bestand darin, mittels einfachen geometrischen Figuren, wie Kreis, Dreieck, etc., Roboter zu konstruieren.

Der Vorteil beider Ideen lag darin, dass die Figuren als solche weitergenutzt werden konnten, indem sie in Anlehnung an Kunstwerke von Slinkachu oder Cordal fotografisch in Szene gesetzt werden würden.

Letztendlich wurde die zweite Idee umgesetzt. Da sowohl die Schülerinnen und Schüler als auch der Kunstlehrer noch keine Erfahrungen im Umgang mit der CAD-Software hatten, erschien es leichter, mit einfachen geometrischen Formen zu arbeiten, statt bestehende Objekte zu verfremden.

Damit die Lernenden sich mit der CAD-Software vertraut machen konnten, wurde zunächst ein Einkaufswagenchip entworfen. Dafür erhielten sie eine 15-minütige Einführung, in der sie ihre Erfahrungen und Wissen über 3D-Druck formulierten und dieses Wissen durch den Informatiklehrer ergänzt wurde. Die Schülerinnen und Schüler wussten bis hierhin lediglich, wie man einen Kreis zeichnen und durch extrudieren in einen dreidimensionalen Körper umformen kann. Daraufhin wurde die eigentliche Aufgabenstellung durch den Kunstlehrer gestellt.

Aufgrund der Tatsache, dass nur acht Laptops zur Verfügung standen, musste die Lerngruppe in Teams arbeiten. In dieser Doppelstunde erstellten die Schülerinnen und Schüler letztendlich einen

Einkaufschip, der mit Initialen oder einfachen Formen gefüllt war. Unterschiede in der Bearbeitungsgeschwindigkeit waren nicht auszumachen. Selbst in den Teams, in denen Vorerfahrungen vorhanden waren, waren die Ergebnisse nicht weit von denen der anderen entfernt. Alle setzten sich intensiv mit der Software auseinander. Hilfe durch die Lehrpersonen war kaum nötig, da die Teammitglieder sich gegenseitig halfen und ihre Erfahrungen im Umgang mit der Software und „Tricks“, wie eine Idee umsetzen ist, teilten.

Der Druck der Einkaufschips fand nach dem Unterricht durch den Informatiklehrer statt. Interessanterweise musste der Druck dreimal neu gestartet werden. Ohne die Konfiguration am Drucker zu ändern, schlug der dritte Versuch nicht mehr fehl.

In der kommenden Einzelstunde erhielten die Schülerinnen und Schüler ihre eigentliche Aufgabe (siehe Arbeitsblatt als Anlage). In dieser Stunde war der Kunstlehrer alleine, was allerdings kein Problem darstellte, da die Schülerinnen und Schüler zur Planung ihrer Projekte zunächst Skizzen in ihrem Artbook anfertigten.

Auf Basis dieser Skizzen begannen die Schülerinnen und Schüler in der kommenden Doppelstunde ihre Roboter in der CAD-Software zu konstruieren. Da einer der Laptops defekt war, musste jedoch improvisiert werden. Drei Schüler erklärten sich dazu bereit, diese Aufgabe mittels Ton zu lösen, was ihnen nicht unrecht war, da sie das Arbeiten am Computer eher unbefriedigend fanden. So fand sich bereits eine erste Differenzierung.

Die restlichen Schülerinnen und Schüler arbeiteten eifrig an ihren Modellen, wobei hier aufgrund des größeren Ausmaßes des Projekts deutlich wurde, wie unterschiedlich sie arbeiteten. Einige hatten konkrete Ideen, die sie versuchten umzusetzen. Dafür holten sie sich im Internet Hilfe durch Anleitungen. Andere hingegen versuchten viele Funktionen der Software einfach auszuprobieren, um zu schauen, ob man diese nutzen könnte.

Insgesamt arbeiteten die Schülerinnen und Schüler drei weitere Stunden an ihren Robotern, wohl ohne technische Unterstützung des Informatiklehrers, was laut Aussage des Kunstlehrers aber auch nicht nötig gewesen sei.

Erst zur letzten Stunde kam dieser wieder in die Klasse, um das „Einsammeln“ der Dateien zu koordinieren.

Der eigentliche Druck fand wieder außerhalb des Unterrichtsgeschehens statt und stellte sich leider als schwierig heraus. Die Objekte waren komplexer als die Einkaufschips und mussten nun mit Stützmaterial gedruckt werden. Es bedurfte vieler Druckversuche und mehrerer Stunden, bis die richtigen Einstellungen gefunden waren, sodass der Druck gelang. Des Weiteren musste mit mindestens fünf Stunden Druckzeit pro Figur gerechnet werden. Aufgrund dieser zeitlichen Verzögerung wurde die fotografische Inszenierung zunächst zurückgestellt und mit einem anderen Thema begonnen. Die fotografische Inszenierung wurde nach den Sommerferien durchgeführt.

Der erste Versuch, 3D-Druck im Kunstunterricht einzubinden, kann als positiv gewertet werden. Die meisten Schülerinnen und Schüler fanden es abwechslungsreich, mit dem Computer als Werkzeug zu arbeiten. Eine erste Differenzierung konnte durch die Arbeit mit Ton gefunden werden. Die Tatsache, dass einige bereits Wissen über CAD-Konstruktionen mitbrachten, konnte positiv in die Arbeitsphasen eingebunden werden. Eine andauernde technische Unterstützung war nicht nötig, da sich die Schülerinnen und Schüler selbst viel Wissen aneigneten. Des Weiteren ist sich der betreuende Kunstlehrer sicher, die erforderlichen Kenntnisse, die er nebenher gewonnen hat, in einem weiteren Projekt mit einbringen zu können, sodass es eventuell nur noch punktuell nötig ist, Hilfe beim Informatik-Kollegen zu suchen.

Die Probleme beim Drucken können durch das Finden der entsprechenden Einstellungen minimiert werden, sodass dort mit einer Reduzierung der benötigten Zeit zu rechnen ist. Die langen Druckzeiten lassen sich nicht vermeiden. Eine noch nicht umgesetzte Idee ist, einige Interessierte am Drucker „auszubilden“ und ihnen das Drucken der Erzeugnisse zu überlassen, um somit die Lehrperson zu entlasten.



Abbildung: Ein Roboter auf dem Schulgelände

Design von Schmuckstücken oder Möbeln (Jahrgangsstufe 8)

Ein weiteres Unterrichtsvorhaben wurde ebenfalls in dem oben genannten Aachener Gymnasium durchgeführt, diesmal jedoch in einer achten Klasse. Diese bestand aus 24 Schülerinnen und Schülern. Die Vorkenntnisse bzgl. CAD oder 3D-Druck waren deutlich geringer. Nur ein Schüler hatte rudimentäre Vorkenntnisse in CAD-Design.

Ziel des Vorhabens war, es Schmuckstücke oder Möbelstücke zu designen. Die unterschiedliche Zielvorgabe sollte den Schülerinnen und Schülern eine gewisse Freiheit bzgl. ihrer Interessen lassen (siehe dazu das Arbeitsblatt im Anhang).

Konzeptionell bestand die Aufgabe aus drei Schritten:

1. Das Kennenlernen der Software
2. Planung der Objekte im Artbook
3. Umsetzung der Objekte im CAD-Programm

Diesmal erhielten die Schülerinnen und Schüler zur Umsetzung die Software Sketch-Up. Im Vorfeld einigten sich Informatik- und Kunstlehrer darauf, die Modelle auf geometrische Basisfiguren zu beschränken, da sowohl die Software, als auch CAD an sich, für die Lerngruppe neu war.

Der Verweis auf den experimentellen Charakter des Unterrichtsvorhabens sollte den Schülerinnen und Schülern Druck nehmen, sodass sie sich auf die Erkundung der Software einlassen konnten.



Abbildung: Schmuckdesign

Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten in Gruppen von drei bis vier Personen zusammen an einem Laptop.

Der Informatiklehrer während der achtstündigen Arbeitsphase nur in der ersten und dritten Stunde anwesend.

In der ersten Stunde erhielten die Schülerinnen und Schüler eine kurze Einweisung, deutlich kürzer, als für die Software SolidEdge im vorherigen Unterrichtsvorhaben nötig gewesen war. Hier konnte von dem kleineren Funktionsumfang und der geringeren Komplexität der Software Sketch-Up profitiert werden.

Es wurde auf die Problematik von Flächen hingewiesen (Zweidimensionalität), und ein Beispiel für die Erstellung eines geometrischen Objekts gezeigt (Zylinder). Die Schülerinnen und Schüler entwickelten

schnell ein Gespür für das Erstellen von dreidimensionalen Objekten, sodass die Einführung nur etwa 20 Minuten dauerte.

In der dritten Stunde wurde seitens der Schülerinnen und Schüler oft um Hilfe gebeten, da sie sich von den vorhandenen Grundfiguren in der Software lösten. Sie entdeckten das Freihandwerkzeug, mit denen sich komplexere Formen erstellen lassen. Allerdings stiegen auch die Fehler in den Modellen deutlich an. Deutlich wurde dies an zweidimensionalen Flächen, als auch an Löchern in Strukturen, was auch später beim Druck deutlich zu erkennen war (siehe unten).

Eine Mädchengruppe stach heraus, da die Schülerinnen Probleme mit der dreidimensionalen Ansicht hatten. Orientierungsschwierigkeiten waren zur Folge, die sie sehr „ausbremsten“.

Auffällig war auch, dass sich die Jungengruppen auf das Designen von Möbeln, die Mädchengruppen hingegen auf das Designen von Schmuckstücken beschränkten.

Für die Nachbearbeitung bzw. den Druck erhielt der Informatiklehrer die Druckdateien im Sketch-Up-eigenem Dateiformat, obwohl es für das Programm ein Add-on gibt, das in das STL-Format exportieren kann. Dies hatte jedoch den Vorteil, dass die Modelle nochmals geändert werden konnten. In zwei Fällen mussten noch Flächen entfernt werden (wobei dies nicht unbedingt nötig ist, da die verwendete Drucksoftware Flächen grundsätzlich ignoriert).

Was allerdings auffiel, war die steigende Anzahl von Löchern in den Modellen. Je höher deren Komplexität war (Stichwort Freihandwerkzeug), desto mehr Löcher befanden sich darin. Im Schnitt waren dies 3-10 Löcher pro Modell.

Ein sehr komplexes Modell beinhaltete jedoch ca. 170 Löcher. Aufgrund dessen wurde der Einsatz von netfabb gewählt, da diese Software ein automatisiertes Reparieren von Modellen beinhaltet (obwohl auch die Drucksoftware kleine Fehler selbst korrigiert).

Viele der Löcher waren nicht erkennbar. Die Schülerinnen und Schüler hatten die Kopieren- und Einfügen-Funktionen der CAD-Software sehr oft verwendet, um bereits erstellte Teilobjekte nicht neu zu kreieren. Dies führte zu Flächen, die sich dem Anschein nach berührten. Allerdings wiesen sie minimale, nicht sichtbare Distanzen auf.

Offensichtlich wurde dieses Problem bei einem Probedruck. Die Rundlehne eines Stuhls wurde in der Luft gedruckt. Sie hatte keine Verbindung zum Rest des Stuhls.

Ein Modell wurde nach Bearbeitung mittels Netfabb jedoch nicht gedruckt. Das Modell wurde in der Drucksoftware nicht angezeigt. Dementsprechend konnte kein G-Code erstellt werden. Die Gründe konnten nicht ermittelt werden. Der Druck gelang jedoch auch ohne vorherige Nachbearbeitung in Netfabb.

Insgesamt dauerte die Nachbearbeitung, inklusive der Betreuung des Druckvorgangs, ca. drei Zeitstunden. Die Druckvorgänge selbst liefen ohne Probleme durch.

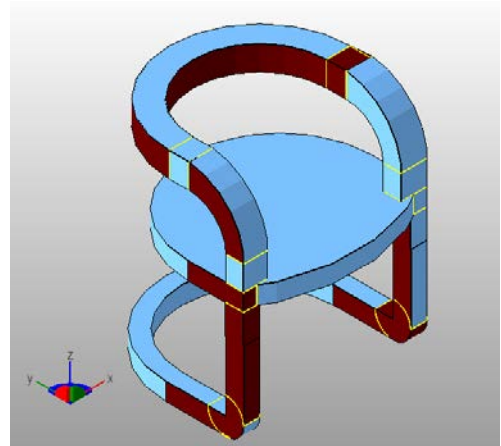


Abbildung: Entwurf Stuhldesign

Stuhldesign (Jahrgangsstufe 12)

Diese Unterrichtssequenz im Fach Gestalterisches Zeichnen wurde in der Jahrgangsstufe 12 einer Fachoberschule für Gestaltung durchgeführt. Die Lerngruppe bestand aus einundzwanzig Schülerinnen und fünf Schülern. Hinsichtlich der Erfahrung mit CAD-Programmen brachte circa ein Drittel der Klasse Vorwissen mit, zwei Schüler hatten bereits in ihrem Praktikum mit einem 3D-Drucker gearbeitet. Für das Projekt waren drei Doppelstunden im Umfang von je 90 Minuten vorgesehen, wobei eine Doppelstunde eine reine Einführungsstunde darstellen sollte.

In der Fachoberschule für Gestaltung Klasse 12 ist ein Exkurs in den Funktionalismus der Baukunst vorgesehen.^{xliii} Neben der theoretischen und zeichnerischen Auseinandersetzung mit Bauwerken ist ebenso ein Blick auf die Inneneinrichtung und im Speziellen Möbel lohnenswert. Der Zig-Zag Stuhl von Gerrit Rietveld, dessen Ziel eine funktionale Form war welche den Raum nicht verstellt^{xliv}, wurde bereits in der Unterrichtsreihe zuvor thematisiert, hier aber im Rahmen einer zeichnerischen Auseinandersetzung und Analyse des Stuhls. Der Zig-Zag Stuhl wurde perspektivisch dargestellt und Fragen wie „Ist der Stuhl ein bequemes Möbel? Warum zählt er zu den Designklassikern?“ diskutiert. Die Aufgabenstellung für den 3D-Druck bestand schließlich darin, den Stuhl so zu verändern, dass aus diesem „Ein Stuhl für einen König“ wird, demnach eine völlig Rietveld entgegenstrebende Umsetzung des Stuhls. Die Schülerinnen und Schüler waren unter anderem zu dem Schluss gekommen, dass es sich um ein sehr unbequemes Möbel handelt, auf welchem man nicht lange sitzt.

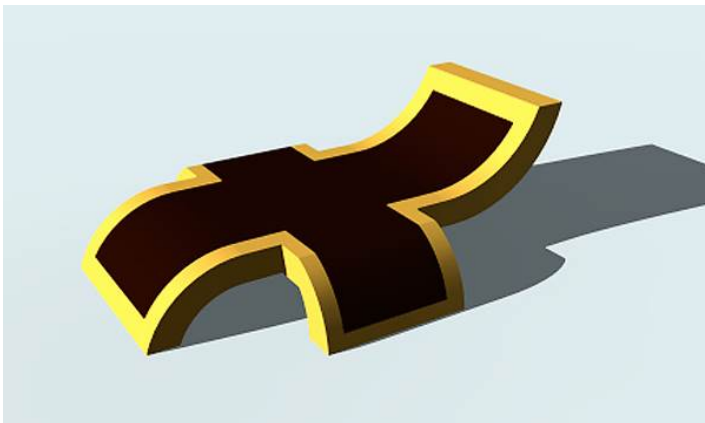


Abbildung: Stuhldesign (Foto: Werner-Jäger-Gymnasium Nettetal)

Für die Umsetzung der Aufgabe wurde der Zig Zag Stuhl im Vorfeld von der Lehrperson in einem CAD-Programm konstruiert und sollte nun durch Ausschneiden, Anbauen von Formen usw. entsprechend der Aufgabenstellung verändert werden. Auf diese Weise wurde vor allem Lernenden, welche keine bis wenig Erfahrung mit CAD-Programmen hatten, der Einstieg erleichtert. Bewanderte Schülerinnen und Schüler konnten somit ihre Kenntnisse vertiefen.

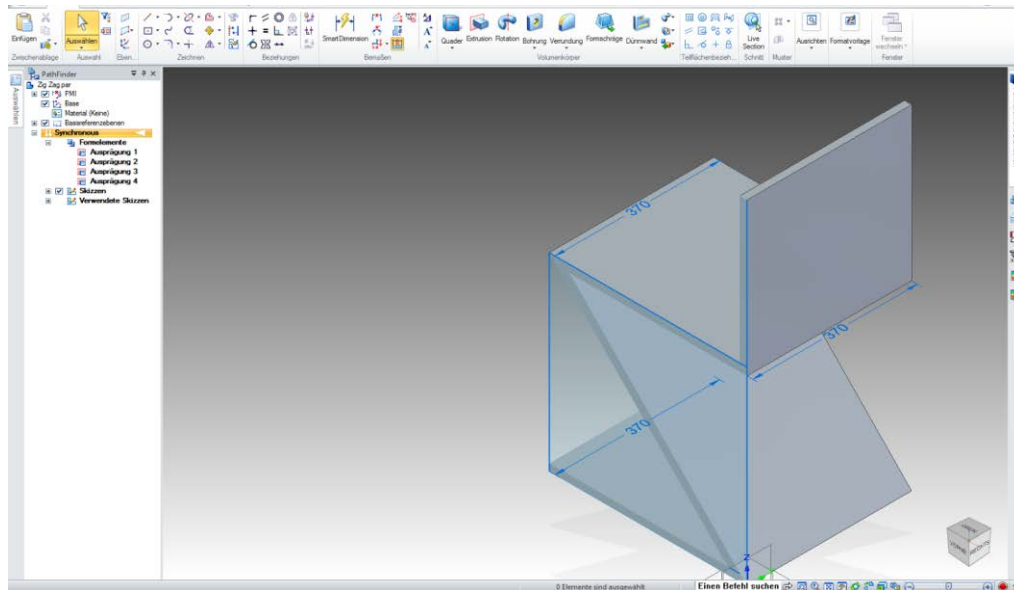


Abbildung: Vorkonstruierter Zig Zag Stuhl

Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler war es, zunächst in einem ersten Schritt die Benutzeroberfläche des gewählten Einstiegsprogrammes Tinkercad kennenzulernen. Anschließend schauten die Schülerinnen und Schüler ein online verfügbares Tutorial und bauten gleichzeitig den dort zu konstruierenden Gegenstand mit. Zusätzlich sollten die Lernenden Stühle recherchieren, welche ebenfalls dreidimensional gedruckt wurden. Die Idee dahinter war, zu sehen, welche Möglichkeiten der 3D-Druck bietet, aber auch, welche Probleme entstehen können. Die Lehrperson hatte sich für das Programm Tinkercad entschieden, da es mehrere Vorteile bietet: Erstens kann man das Programm von jedem Rechner aus starten, da man es nicht installieren muss, sondern online arbeitet. Es ist also möglich, zu jeder Zeit an jeden Ort auf das Programm zuzugreifen. Zweitens ist das Programm sehr einfach gestaltet, so dass die Funktionsweise innerhalb kürzester Zeit erschlossen werden kann.

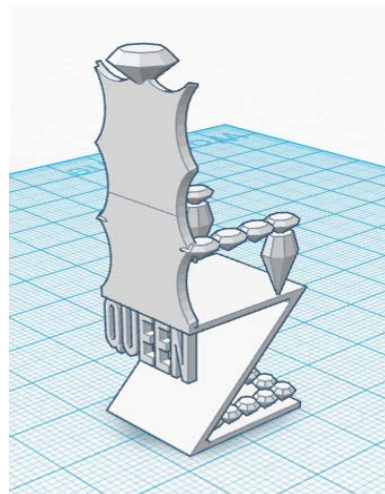
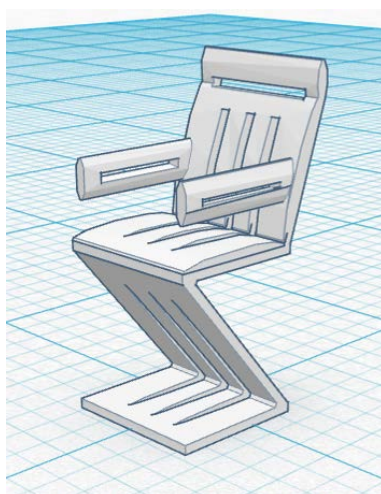
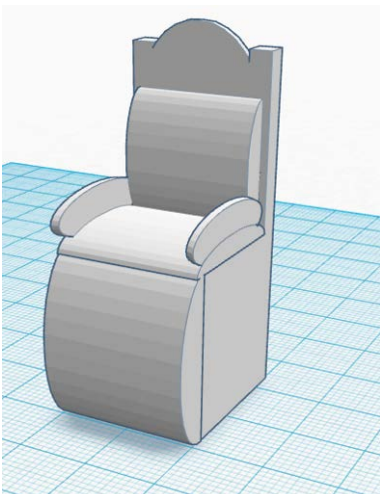
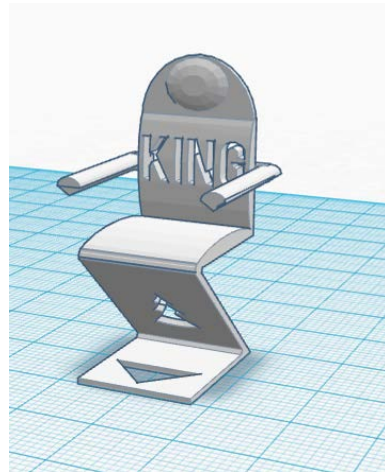
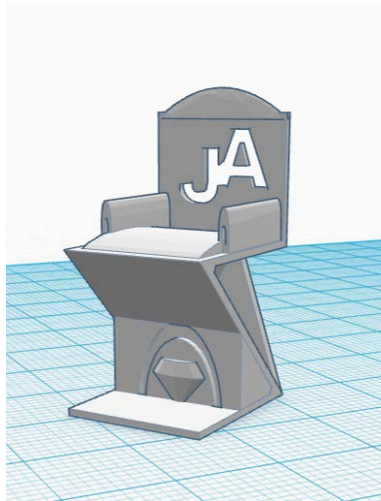
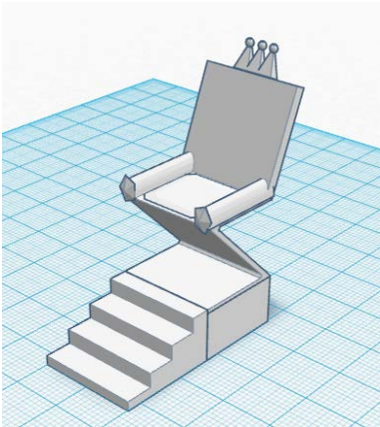
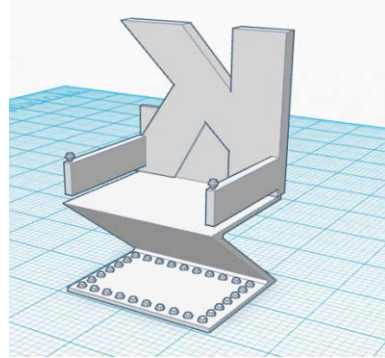
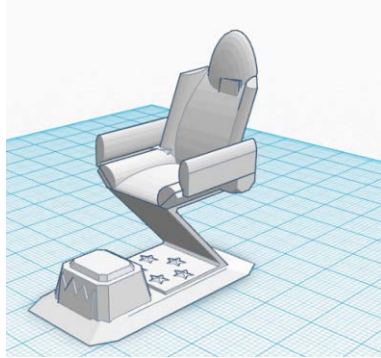
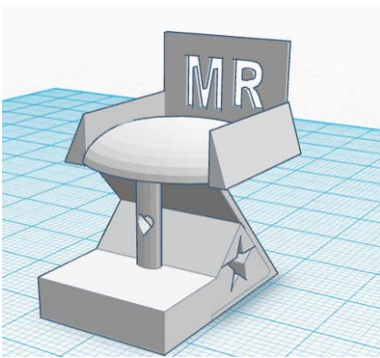


Abbildung: Zum Vergleich das Modell eines Stuhl Designs (Foto: Leibniz-Gymnasium Dortmund)

Schließlich wurden von den Schülerinnen und Schülern 12 Stühle in Partnerarbeit konstruiert. Es fiel auf, dass sich die Schülerinnen und Schüler bereits nach 45 Minuten das Programm erschlossen hatten und nicht wie vorgesehen nach 90 Minuten. Daran lässt sich erkennen, dass die Oberfläche für junge Menschen (digital natives) intuitiv ist. Den Lernenden bereitete das Erlernen großen Spaß bzw. bot die schnelle Erfassung einen zusätzlichen Lernanreiz und Erfolgsgarantie. Die übrige Zeit wurde zur Konstruktion der Stühle genutzt. Die Schülerinnen und Schüler durften später dem Druckprozess beiwohnen. Einige Lernende erhielten ihren ausgedruckten Entwurf, welches die Faszination weiter steigerte. Jedoch wurde von den Schülerinnen und Schülern moniert, dass das Programm stellenweise zu ungenau ist, obwohl man Maße für Objekte eingeben kann, basiert das Endprodukt nur auf einfachen geometrischen Funktionen und es ist nicht möglich, mittels verbundenen Punkten Objekte zu konstruieren. Der Funktionsumfang ist deutlich eingeschränkt. Jedoch eignet sich das Programm sehr gut als Einstieg. Alternativ könnten erfahrene Schülerinnen und Schüler komplexere Programme nutzen.

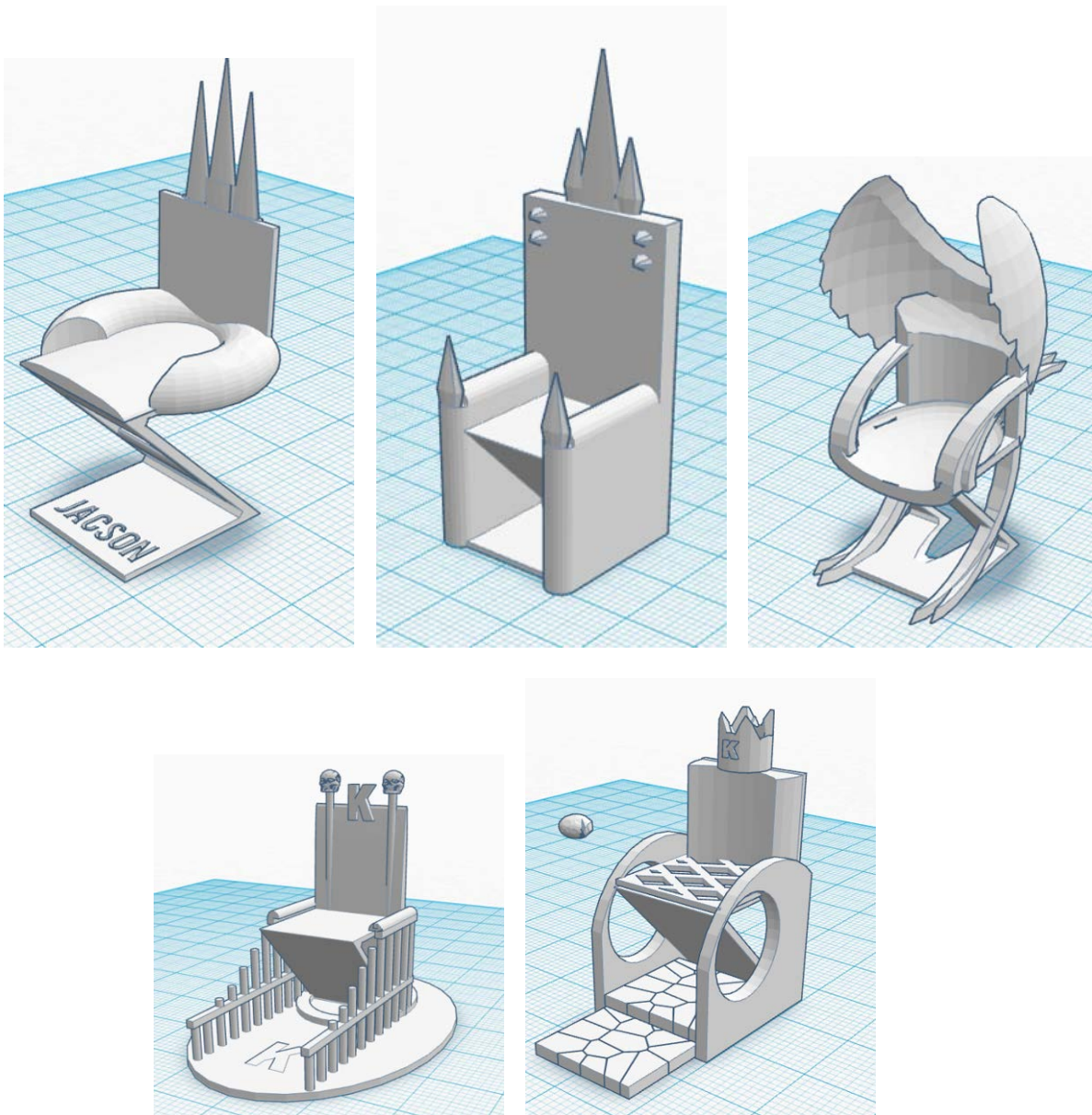
Das Programm wurde nach der Stuhlkonstruktion auf Eigeninitiative der Schülerinnen und Schüler ebenfalls für den Entwurf und die Materialberechnung eines zu bauenden Stuhls im Fach Holztechnik verwendet.

Einige Schülerergebnisse zum Thema Umgestaltung des „Zig Zag Stuhls“:



HANDREICHUNG 3D-Druck

Weitere Schülerergebnisse zum Thema Umgestaltung des „Zig Zag Stuhls“



Einige ausgedruckte Modelle:

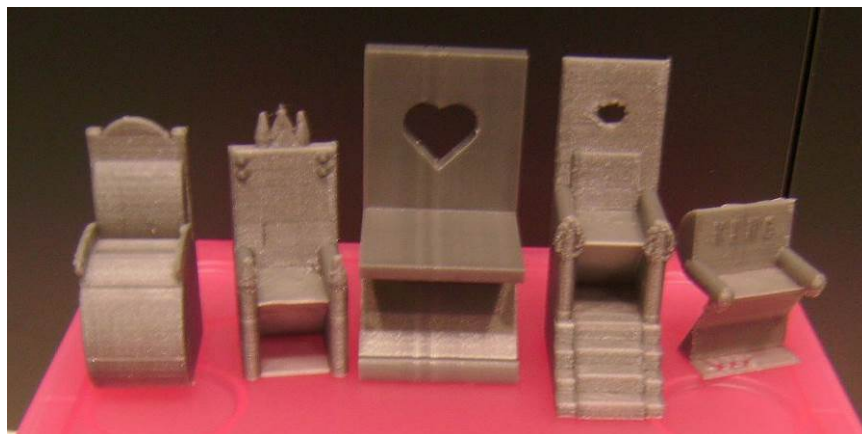


Foto: Börde-Berufskolleg, Soest

Design von Kickerfiguren (Jahrgangsstufe 12)

Das Unterrichtsvorhaben richtet sich an Lerngruppen, die Vorkenntnisse in der Anwendung von CAD-Software haben. Es wurde daher in einer Berufsschulklasse der Jahrgangsstufe 11 im metalltechnischen Bereich erprobt. Der Zeitumfang betrug 2 Doppelstunden zu je 90 Minuten.

Ziel des Unterrichtsvorhabens war es, eine individuelle Kickerfigur mit der CAD-Software zu konstruieren und diese für den 3D-Druck vorzubereiten.

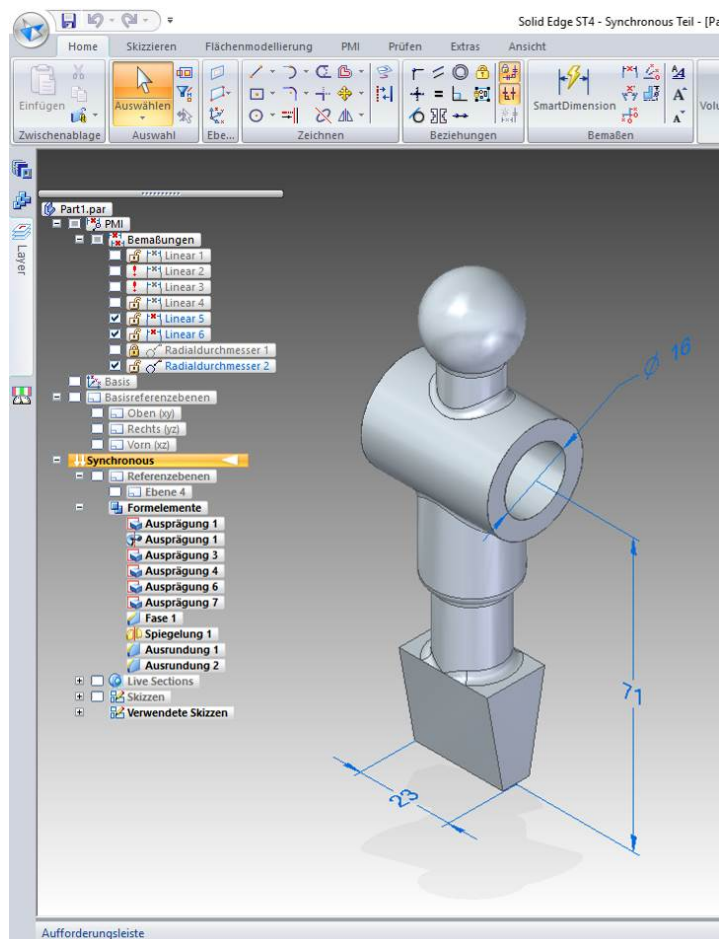
Die konstruktiven Vorgaben richten sich nach dem in der Schule vorhandenen Tischkicker:

- Stangendurchmesser 16 mm,
- Abstand Stangenmitte-Fußunterkante 71 mm,
- Abstand Stangenmitte-Kopfoberkante maximal 42 mm und Fußbreite 23 mm.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten allein oder zu zweit an einem Rechner. Bei Schwierigkeiten mit der CAD-Software Inventor sollten sie zunächst versuchen, diese in Gruppen zu lösen und nur in Ausnahmefällen den Lehrer zu fragen. Eine Internetrecherche war zugelassen. Auf diese Weise hatte die Lehrperson Zeit, sich um einzelne Schülergruppen intensiver zu kümmern.

Die Schülerinnen und Schüler waren während der gesamten Durchführungsphase sehr motiviert und arbeiteten konzentriert an ihrer Aufgabe. Teilweise arbeiteten sie sogar nach dem Unterricht an dem Projekt weiter und schickten der Lehrkraft ihre fertigen Dateien zu.

Die Aufgabe war bewusst keine klassische Konstruktionsaufgabe, wie sie im technisch geprägten beruflichen Umfeld der Schülerinnen und Schüler vorzufinden ist. Die Schülerinnen und Schüler sollten das gewünschte Aussehen ihrer Figuren mit der CAD-Software modellieren. Dadurch sollten sie Funktionen des Programms, die sie bei den bisherigen Aufgaben nicht benutzt hatten (Ausformen von B-Splines, geführtes Austragen, Rotation von Freiformkurven), kennenlernen.

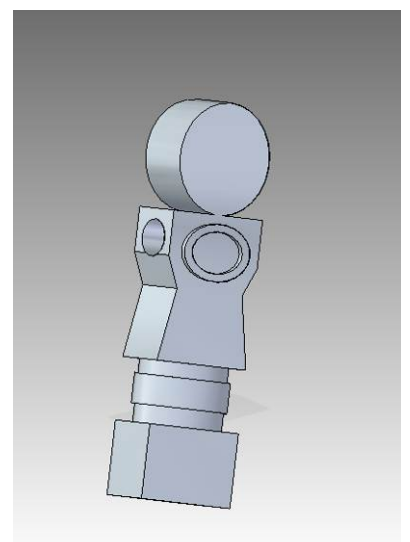
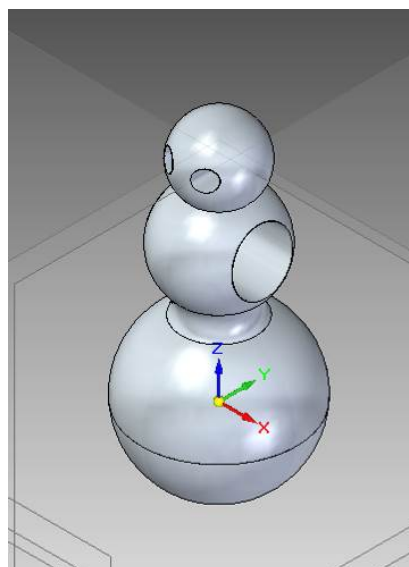
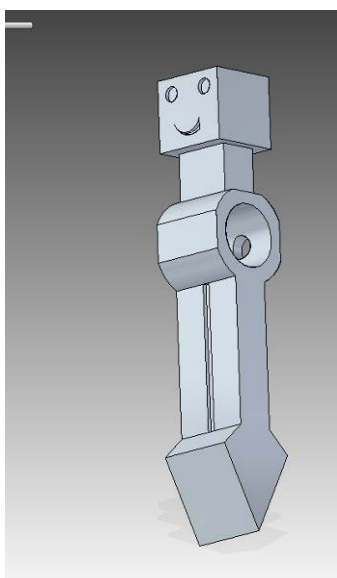
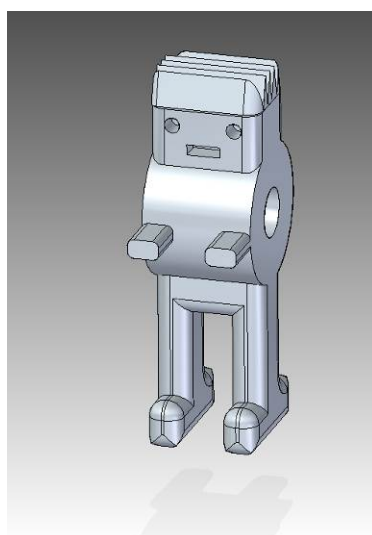
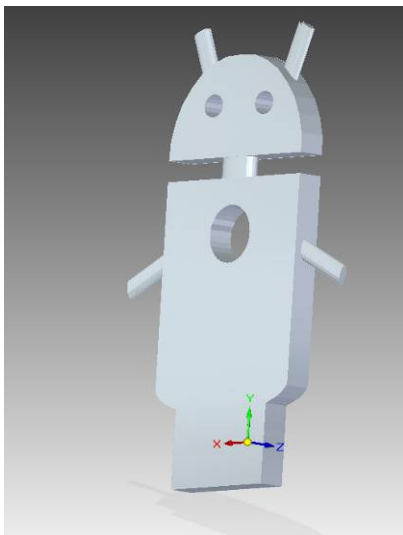
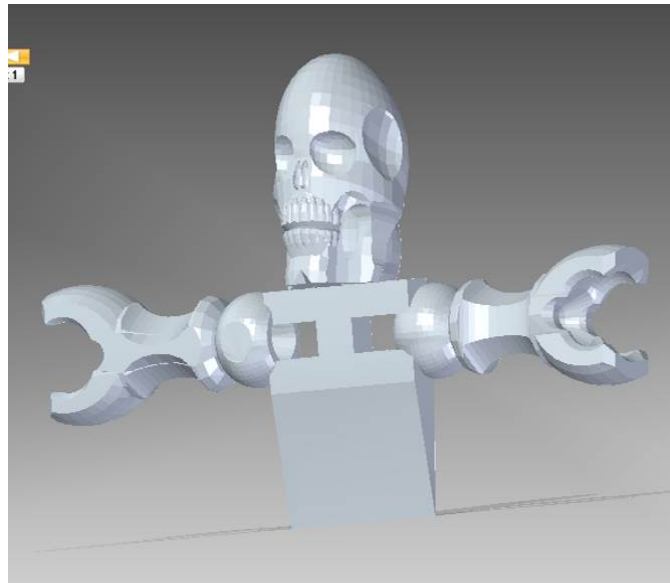
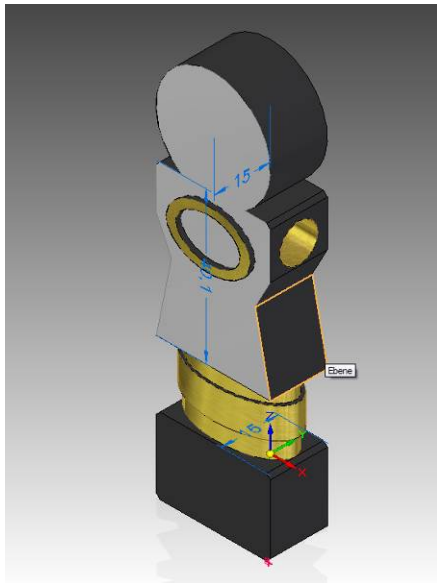


Schwierigkeiten gab es dabei, komplizierte Geometrien (z.B. Haare, Zacken, Kleidung, Schmuck oder sonstige Accessoires) mit der CAD-Software zu konstruieren. Die Schülerinnen und Schüler merkten schnell, dass Sie mit ihren bisherigen CAD-Kenntnissen an ihre Grenzen stießen bzw. dass die technisch ausgerichtete CAD-Software für diese Aufgabe nicht geeignet ist.

Zum Teil wurden die Figuren von den Schülerinnen und Schülern mit einer anderen Software (Tinkercad) online weiter bearbeitet. Für Lerngruppen mit wenig CAD-Erfahrungen oder ohne technischen Background kann mit dieser Software ein vorhandenes Modell weiterbearbeitet werden.

HANDREICHUNG 3D-Druck

Einige Schülerergebnisse zum Thema „Design von Kickerfiguren“:



Unterrichtsbeispiele zum digitalen Modellieren

Das digitale Modellieren oder auch Skulptieren („sculpting“) ermöglicht, verglichen mit dem digitalen Konstruieren, einen eher intuitiven Zugang. Erfahrungen mit Modelliermassen wie Plastilin, Ton oder Papiermachée sind genauso leicht auf die digitalen Werkzeuge übertragbar wie der Umgang mit Abtrenn- oder Abtragwerkzeugen. Es kommen 3D-Modelle in Betracht, bei denen es weniger auf technische Maßhaltigkeit ankommt.

Insekten- oder Alienköpfe (jahrgangsübergreifend Sekundarstufe I)

Die Software SculptGL wurde in einer Arbeitsgemeinschaft Kunst erprobt, an der 14 Schülerinnen und ein Schüler verschiedener Jahrgangsstufen der Sekundarstufe I teilnahmen.

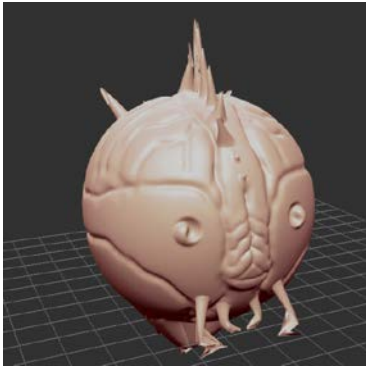


Abbildung: Ergebnis einer Schülerin

Weil nur eine Doppelstunde zur Verfügung stand, wurde die Aufgabenstellung auf die Bedingungen der Software abgestimmt. Beim Programmstart erscheint eine Kugel und füllt die Szene, wobei die Symmetrie-Funktion bereits aktiviert ist. Die Schülerinnen und Schüler erhielten die folgende Aufgabe: „Entwerfe auf Basis der Kugel eine Insekten- bzw. Alienkopf.“

Nach Erfahrungen der Autoren ist es leicht möglich, Phantasieköpfe oder insektenartige Köpfe zu entwerfen, da man durch die Symmetrie-Funktion schnell zu Ergebnissen kommt und bspw. an beiden

Seiten des Kopfs gleichzeitig Fühler erstellen kann. Die Reaktion auf das Thema „Insekten- und Alienköpfe“ war unterschiedlich.

Aufgrund der technischen Voraussetzungen an der Schule wurde die Gruppe gesplittet. Die Schülerinnen und Schüler der einen Gruppe arbeiteten paarweise an Laptops, die der anderen konnte alleine an ThinClients arbeiten. ThinClients unterstützen keine 3D-Anwendungen. Da die Software jedoch eine Web-Applikation ist, sollte geprüft werden, ob SculptGL als Web-Applikation auch für solche Systeme geeignet ist.

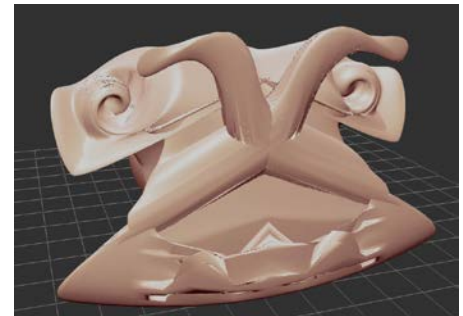


Abbildung: Ein weiteres Produkt - die Kugel ist nicht mehr erkennbar

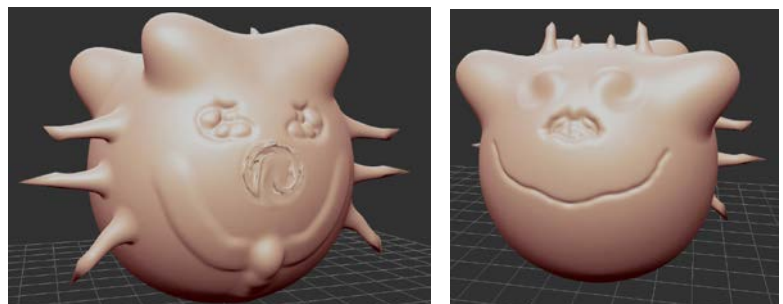


Abbildung: Ein eher einfaches Ergebnis - eine Art Ente

Erst nach gezielten Hinweisen entdeckten sie, dass man das Modell drehen kann, sich dadurch andere Ansichten eröffnen, die allseitig bearbeitet werden können und müssen.

Insgesamt kann die Doppelstunde als gelungen bezeichnet werden. Auf motivationaler Ebene hatten die Schülerinnen und Schüler Spaß und waren eifrig bei der Sache. Sie waren dem Thema teilweise eher abgeneigt. Das Beispiel einer sehr jungen Schülerin aus dem 6. Jahrgang zeigt, dass ihr die Aufgabenstellung nicht gerecht wurde. Sie hätte deutlich mehr Zeit benötigt, um mit den Herausforderungen des 3D-Designs an einem 2D-Bildschirm umgehen zu können.

Viele jüngere Schülerinnen erkannten zunächst nicht die Dreidimensionalität ihrer Modelle und bearbeiteten sie nur aus der frontalen Ansicht heraus.



Abbildungen: Vorderseite und Rückseite eines Modells

Die Ergebnisse waren unterschiedlich. Es wurden sehr einfache, aber auch komplexe Modelle entworfen. Einige Modelle sind ohne Stützmaterial nicht druckbar. Deshalb sollte man die Voraussetzungen für den Druck mit den Schülerinnen und Schülern besprechen.

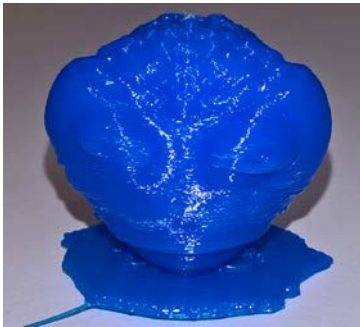


Abbildung: Ausdruck eines Alienkopfs. Die Augen sind schlitzartig geöffnet. Die Gehirnmasse ist im Entwurf deutlicher zu erkennen.

Testweise wurde ein Modell gedruckt. Man erkennt, dass die Formgebung der Figur nur schlecht ablesbar ist. Dies ist der Größe des Druckobjekts geschuldet, das nur 4 Zentimeter hoch ist. So gehen viele Details verloren, allerdings dauert der Druckvorgang nur 25 Minuten. Diese Zeit kann man auch im Unterricht einbauen.

Grundsätzlich bestanden keine Schwierigkeiten beim Import und Export. Diese lagen in der mangelnden Erfahrung der Schülerinnen und Schüler mit der Software, da die Oberfläche keiner üblichen Windows-Applikation folgt und fehlende Kenntnisse in der Dateistruktur den Umgang erschwerten.

Interessanterweise haben zwei Schülerinnen mit koreanischem Migrationshintergrund ihre Herkunftssprache als Benutzersprache ausgewählt. Benötigten sie Hilfe von der Lehrperson, musste zunächst auf Englisch gewechselt werden. Da den beiden Schülerinnen fachsprachliche Ausdrücke auf Koreanisch fremd waren, wechselten sie im Verlauf auf Englisch zurück.

Insgesamt kamen die Schülerinnen und Schüler mit der Modellierung zurecht. In der Einführung wurden die Werkzeuge der Software erläutert, weitergehende Optionen der Software wurden nicht verwendet. Die Funktion „Rückgängig“ war jedoch sehr gefragt. Vieles basierte auf dem Prinzip Versuch und Irrtum.

Es standen zwei Browser zum Aufruf der Webseite zur Verfügung. Ein veralteter Browser zeigte leichte Inkompatibilitäten und Fehler. Aufgrund der verschiedenen Systeme und Voraussetzungen kann nur angeraten werden, die Applikation im Vorfeld zu testen. Aktuelle Browserversionen sollten jedoch funktionieren.

Auf den Laptops war ein flüssiges Arbeiten möglich. Die Arbeit mit ThinClients empfiehlt sich nicht.

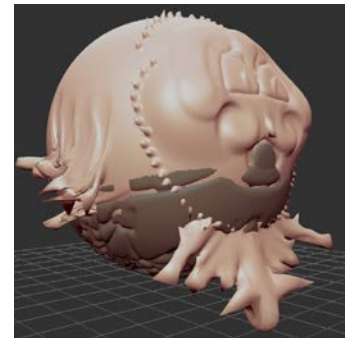


Abbildung: Modell, vermutlich in falscher Darstellung am Bildschirm



Abbildung: Ein Ei-Clown-Horror-Fisch?

Unterrichtsbeispiele zum digitalen Collagieren

Unterricht im Bereich des digitalen Collagierens ist aktuell noch mit Schwierigkeiten verbunden. Online-Datenbanken für 3D-Modelle bieten reichlich Material zum kostenlosen Download, das i.d.R. von den Urhebern zur Nutzung freigegeben ist. Diese Dateien liegen in unterschiedlichen Dateiformaten vor, die sich teils erst nach dem Download als gepacktes Archiv und dem Entpacken beurteilen lassen. Neben dem Polygonnetz sind oft Informationen zur Oberfläche enthalten, die die Darstellung für Schülerinnen und Schüler reizvoll erscheinen lassen, aber für den 3D-Druck überflüssig sind und von der Formgebung des Meshes ablenken. Ob das Polygonnetz überhaupt von der in der Schule verwendeten Software importiert werden kann, ob es ggf. durch Fehlerkorrektur-Software bis zur Druckfähigkeit weiterbearbeitet werden muss, lässt sich nur erproben.

So reizvoll die Aufgabenstellung auch erscheint, die mit der Bezeichnung „Mishmasch-Mesh“ im Internet^{xiv} dargeboten wird, so sehr ist in der Praxis zurzeit noch eine große Frustrationstoleranz aufzubringen.

Design-Collage eines Schul-Awards (Jahrgang 9 bzw. 11)

Der Bereich der plastischen Gestaltung wird im Kunstunterricht der Sekundarstufe I am Gymnasium einbezogen, wenn die Kompetenzen in den inhaltlichen Schwerpunkten Form und Material ausgebildet werden. Hier eröffnet der 3D-Druck neue Möglichkeiten für den Unterricht eröffnet. So kann handwerklich weniger geübten und damit oft weniger motivierten Schülerinnen und Schülern eine Möglichkeit eröffnet werden, sich der plastischen Gestaltung auf anderem Wege zu widmen.

An der Schule, in der dieses Unterrichtsprojekt durchgeführt wurde, wird seit mehr als 16 Jahren eine dreistündige Schuljahresabschlussfeier veranstaltet. Dort werden Schülerinnen und Schülern, die in unterschiedlichen Bereichen Bemerkenswertes geleistet haben, mit dem „HVK-Award“ ausgezeichnet. Im vorliegenden Unterrichtsprojekt sollte für jede der unterschiedlich ausgezeichneten Disziplinen ein eigener Award gestaltet werden. Es galt dabei, möglichst klar die jeweilige Disziplin der Preisverleihung zu verdeutlichen.

Gleichzeitig sollte ein für alle Entwürfe identischer, mit dem Schullogo versehener Sockel in jedem Entwurf berücksichtigt werden. Hierzu fertigten die Schülerinnen und Schüler Skizzen in Hauptansichten an.

Die Software SketchUp bot sich an, weil sie die Möglichkeit bietet, die in der Online-Datenbank „SketchUp-Warehouse“ verfügbaren 3D-Modelle miteinander zu kombinieren. Als Ausgangsbedingung wurde festgelegt, dass das Designobjekt in eine quaderförmige Verpackung mit quadratischem Grundmaß von 8 x 8 cm und 12 cm Höhe passt.

Bei der Durchführung ergaben sich in zweierlei Hinsicht Probleme. Zunächst erwies es sich als schwierig, ausgewählte Gegenstände miteinander in Verbindung zu bringen. Was aus einer Ansicht verbunden erschien, war aus anderer Perspektive als unverbunden zu erkennen. Der Entwurf muss ständig rotiert und die Maße sowie die Raumbezüge aus immer wieder neuen Blickwinkeln überprüft werden, was den Schülerinnen und Schülern unterschiedlich gelang.

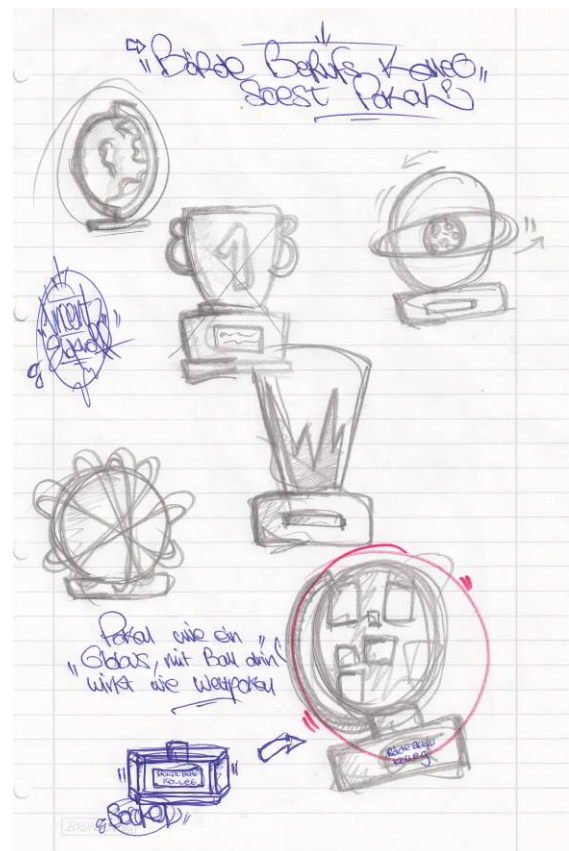


Abbildung: Entwürfe eines Schul-Awards (Börde-Berufskolleg, Soest)

Auch in einer zweiten Hinsicht ergaben sich Schwierigkeiten. Im Angebot des SketchUp-Warehouse befinden sich viele Modelle, denen die dritte Dimension fehlt, sowie viele Dateien ohne geschlossene Oberflächen. Attraktiv wirken Objekte mit „Skins“ in Farbe, die aber von der Formgebung ablenken.

Das Unterrichtsvorhaben wurde daraufhin abgebrochen und die Aufgabenstellung in einer höheren Jahrgangsstufe neu aufgegriffen.

Das folgende Unterrichtsvorhaben wurde im Fach Gestaltungstechnik in einer Fachoberschule für Gestaltung durchgeführt. Die Klasse bestand aus 29 Lernenden. Bezüglich des Vorwissens brachten circa drei Viertel der Klasse Erfahrungen mit CAD-Software mit, jedoch hatte keiner der Lernenden Erfahrung mit dem 3D-Druck.

Die Unterrichtseinheit umfasste drei Doppelstunden von jeweils 90 Minuten. In der ersten Doppelstunde wurden die Schülerinnen und Schüler allgemein mit dem 3D-Druck bekannt gemacht. Sie sahen einen Film dazu und recherchierten im Internet nach geeigneten Objekten. Anschließend bearbeiteten die Lernenden die Aufgaben eines Tutorials der Software Tinkercad, indem sie die Objekte des Tutorials nachbauten. Die Software Tinkercad wurde von der Lehrperson gewählt, da sie sich sehr gut als Einsteigerprogramm eignet. In der gleichen Unterrichtsstunde erfolgte auch der Arbeitsauftrag (siehe Anhang).

Ziel der Unterrichtseinheit war es, einen Pokal für ein Schulturnier zu konstruieren, welcher dreidimensional gedruckt werden sollte. Die Vorgabe dabei war, einen Sockel für den Pokal zu konstruieren und dabei eine Steckverbindung vorzusehen, durch die ein die Sportart symbolisierendes Oberteil aufgesteckt werden kann. Das Oberteil sollte aus einer Onlinedatenbank heruntergeladen werden, so dass die Lernenden diese nicht noch konstruieren müssen.

Der Auftrag der Konstruktion eines Pokals erfolgte im Rahmen der Unterrichtsreihe: „Ein Plakat für unser Sportturnier“. Die Schülerinnen und Schüler hatten im Vorfeld Plakate für das jährlich an ihrer Schule stattfindende Sportturnier entworfen. Die Reihe sollte nun durch den Ausdruck eines Pokals abgeschlossen werden. Gleichzeitig kann der Pokal für weitere Veranstaltungen genutzt werden. Auf den immer gleichen Sockel können je nach Veranstaltung verschiedene Pokale aufgesteckt werden.

In den folgenden beiden Unterrichtsstunden setzten die Schülerinnen und Schüler ihre Entwürfe um. Dem Großteil der Lernenden fiel es leicht, sich in das Programm hineinzufinden. Einige Schülerinnen und Schüler stellten sich als Experten heraus und halfen anderen bei Problemen. Generell bestätigte sich, dass sich das Programm für Einsteiger eignet, da sich die Schülerinnen und Schüler schnell die Funktionsweise der Software angeeignet hatten. Abschließend durften die Lernenden dem Druck beiwohnen.

Die verwendete Software wurde abschließend evaluiert. Die Lernenden mussten Fragen beantworten wie „Was sind die Vorteile des Programms? Wie könnte man das Programm verbessern? Kennen Sie weitere Programme zum Modellentwurf für den 3D-Druck?“. Als Vorteile der Software nannten sie, dass das Programm schnell zu erlernen ist, leicht zu bedienen, und dass die Software die Objekte online speichert und man seine Konstruktionen nicht extern auf einem Speichermedium wie z.B. einem USB-Stick sichern muss. Des Weiteren gaben sie an, dass die Software übersichtlich ist, kostenfrei und Hotkey-Funktionen bietet. Kritisiert wurde, dass man nicht alle Dateiformate einfügen kann, nur eine eingeschränkte Objektauswahl hat und dass nur wenige Feinheiten einzustellen sind. Außerdem fehle ein komplexes Menü, um Figuren schneller ändern zu können. Generell sind Bemaßungen schwierig. Aus Sicht der Lehrperson könnte man anschließend weitere Projekte mit komplexerer Software umsetzen.

HANDREICHUNG 3D-Druck

Einige Unterrichtsergebnisse von Schülerinnen und Schülern:



Einige zusätzliche Unterrichtsideen für den 3-D-Druck speziell im Kunstunterricht

Spiel- und Sammelfiguren stellen (ebenso wie Sammelkarten) einen großen Markt für Kinder und Erwachsene dar. Die Themen für die Figuren entstammen den verschiedensten Comic- und Fantasy-Welten. Figuren aus z.B. StarWars, Anime-Figuren, SpongeBob und Superhelden sind ebenso vertreten wie Sportfiguren (Basketball, Fußball etc.).

Die folgenden Themen sind im Kunstunterricht der Sekundarstufe I denkbar:

1. Fantasy- oder Comic-Figuren jenseits von Kermit, Batman, Robocop, Pokémon, Anime und SpongeBob entwickeln.

Didaktische Chancen:

- Im Falle arbeitsteiligen Arbeitens entstehen verschiedenartige Figuren, die auf Wunsch reproduzierbar sind - ein zentrales Merkmal der digitalen Medien.
- Im Unterricht können die oft gewaltverherrlichenden oder sexistischen Darstellungen reflektiert werden.
- Kleinfiguren mit ausladenden Formen, z.B. Extremitäten, sind in Ton nicht herstellbar.
- Ein Comic-Projekt kann um eine Einheit zur dreidimensionalen Gestaltung erweitert werden.
- Anschließend könnten kurze Legetrick-Filme (Stop-Motion mithilfe z.B. einer iPad-App) erstellt werden.
- Die Figuren können im Sinne der inszenierten Fotografie in eine gestaltete Bühne oder nicht speziell hergestellte Umräume eingesetzt und fotografiert werden.

2. Kleinlebewesen in Originalgröße rekonstruieren

Didaktische Chancen:

- Das genaue Beobachten und Wahrnehmen der Grundstrukturen von Lebewesen wird geschult.
- Filigrane Kleinfiguren sind in Ton nicht herstellbar.
- Die Objekte können für den Biologie-Unterricht genutzt werden.
- Die Beschäftigung mit den Kleinlebewesen (Spinnen, Fliegen, Insekten) ermöglicht einen neuen Blick auf die Objekte.
- Ein Zeichenprojekt kann den Grad der Abbildhaftigkeit thematisieren.

3. (Menschliche) Figuren auf geometrische Formen reduzieren – „Jedem seine Gliederpuppe!“

Didaktische Chancen:

- Verständnis für den Aufbau des menschlichen Körpers
- Komplexität auf Wesentliches reduzieren (Abstrahieren)
- Proportionslehre anwenden bzw. Proportionsstudien betreiben
- Im Anschluss oder zur Vorbereitung eines Unterrichtsvorhabens zur Personendarstellung (als Zeichnung oder Radierung)

4. Figur mit beweglichen Elementen – „Gliederpuppe ick hör dir trapsen“

Didaktische Chancen und Hinweise:

- Zusammenarbeit mit dem Fach Technik
- Eine Bühne mit Accessoires gestalten und die Figur entsprechend des Themas platzieren
- Inszenierte Fotos von Mini-Arrangements

5. Ausstattung eines Puppenhauses – „Playmobil 2.0“

Didaktische Chancen und Hinweise:

- Bau oder Nutzung eines bestehenden Puppenhauses
- Möbeldesign und Innenraumdesign thematisieren
- Ausstattung verschiedener Funktionsräume (Wohn-, Arbeits-, Schlaf-, Wellness-, Konferenzraum)
- Eventuell die Zimmer im Stil verschiedener Epochen ausstatten
- Mögliche Kriterien: Ergonomie, Vielfalt, Innovation, Funktionalität

6. Figurengruppe im Raum - In Anlehnung an Alberto Giacometti oder Duane Hanson
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Haltungen als Ausdrucksträger
 - Positionen variieren und damit Beziehungen (Nähe, Distanz, Ablehnung) darstellen
 - Mehransichtigkeit von Plastiken fotografisch dokumentieren
 - Grenzen der fotografischen Darstellungsfähigkeit von Plastiken aufzeigen, indem sinnvolle und das Arrangement verschleiende Aufnahmen gemacht werden.
7. Ausstechformen gestalten - Jedes Plätzchen braucht eine Form!
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Ggf. in Kooperation mit einem Schülerfirma-Projekt oder in Kooperation mit dem Fach Wirtschaft
 - Formen auf die Jahreszeit abstimmen oder Anlehnung an den Namen oder das Logo der Schule
8. Druckstock für den Hoch- oder Tiefdruck - Der Drucker übernimmt den Radierstift und das Linolschnittmesser
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Stempel können ohne Schnittwunden erstellt werden.
 - Fehler sind korrigierbar.
 - Feinste Linien, Formen und Muster sind machbar.
9. Weihnachtsbaumschmuck - Alles zwischen Sternen und Engeln ist möglich
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Jede Schülerin bzw. jeder Schüler trägt mit einem anderen Objekt zur Gesamtgestaltung bei.
 - Die verschiedenen Ergebnisse sind kombinierbar.
10. Mobile aus flächigen Objekten - Tierformen oder abstrakte Formen
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Einstieg in den 3D-Druck für die Orientierungsstufe
 - Abstraktion auf die Kontur
 - Ggf. in Anlehnung an Keith Haring
11. Schlüsselanhänger - Verwechslungen ausgeschlossen
Didaktische Chancen und Hinweise:
 - Individuelle Motive
 - Funktionalität ist zu beachten: Haltbarkeit, Öse für einen Schlüsselbundring oder eine Metallkette.

Probleme beim Druck – Erste Lösungsansätze

Die Probleme, die beim Druck entstehen können, sind vielschichtig. Viele verschiedene Faktoren nehmen Einfluss auf den Druck. Im Internet gibt es bereits viele Anlaufstellen, die helfen, Probleme zu lokalisieren und zu beheben. Es dauert seine Zeit, insbesondere bei komplexen Druckmodellen, bevor man ein Gefühl für das Gerät und das verwendete Material entwickelt.

Für weitergehende Informationen und Hilfestellungen ist es sinnvoll, den Hersteller bzw. die Herstellerwebseite zu konsultieren. Jedes Modell hat seine Eigenheiten. Auch in Foren und auf Webseiten der 3D-Community ist es möglich, individuelle Hilfe zu erhalten.

Zu Beginn kommt es oft zu Problemen, denen man als Anfänger ratlos gegenübersteht. Visual troubleshooting guides bieten einen ersten einfachen Zugang zur Problemfindung. Beispiele für solche Seiten finden sich bei einem norwegischen Drucker-Distributor oder auf den Seiten des RepRap-Projekts^{xlvi}.

Hier nur ein grober Überblick über die am häufigsten vorkommenden Probleme:

Allgemeine Drucktipps

- Für den Einstieg ist es sinnvoll, nur mit einem Filament-Material zu arbeiten, da die Eigenschaften leicht variieren. Das betrifft die Art des Filaments (ABS/PLA), aber auch Filamentsorten verschiedener Hersteller oder sogar Farben einer Filamentsorte.
- Der Standort des Druckers sollte nicht ständig wechseln, um nötige Kalibrierungen nicht mehrmals vornehmen zu müssen. Auch die Umwelteinflüsse sollten konstant gehalten werden. So verhält sich das Filament in der Abkühlungsphase in einem kalten Keller anders als auf einem warmen Dachboden oder in einem zugigen Flur.
- Es empfiehlt sich, immer nur einzelne Werte (Temperatur, Druckgeschwindigkeit, Materialdurchfluss, etc.) zu ändern, um das Druckergebnis zu optimieren.
- Man sollte sich Zeit nehmen. Der Drucker muss erst aufheizen, bevor der Druck startet und man das Ergebnis sieht. Sofern die ersten Lagen korrekt gedruckt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Druck korrekt durchläuft, stark gestiegen. Erst dann sollte man den Raum verlassen.
- Man sollte so wenig Masse wie möglich in dem Modell verwenden. Das reduziert die Druckzeit. Die Drucksoftware bietet Möglichkeiten, Hohlräume mit Stützmaterial zu füllen.
- Speziell für die Schule: Versprechen Sie Ihren Schülerinnen und Schülern nichts. Man sollte mit ihnen die Technik besprechen, aber auch deutlich machen, dass es viel Zeit und Experimentierfreude benötigt, und ein Druck auch fehlschlagen kann. Sie reagieren dann mit viel Verständnis. In bestimmten Gruppen kann eine Fehlersuche andererseits auch motivierend wirken.

Auswahl klassischer Druckprobleme

Warping

Unter Warping versteht man ein Verziehen der Form, vor allem das Hochziehen/Wölben der Ecken, sofern das Filament zu schnell erkaltet. Abhilfe besteht in der Verwendung eines beheizten Druckbetts oder der Verwendung von Mitteln zu besserer Haftung auf dem Druckbett (spezielles Tapeband, Klebeband, Haarspray, Kleber, etc.). Im Rahmen von Testdrucken konnte ein zu kaltes Zimmer bzw. die Zugluft als Verursacher ausgemacht werden. Des Weiteren sollte das Druckbett gereinigt sein. Man kann auch Konstruktionsänderungen vornehmen, um Spannungen vorzubeugen. Manche Drucksoftware unterstützt auch Hilfsmittel, wie bspw. einen Rand oder Sockel unter das Modell zu drucken.

Das Filament stockt oder wird nicht flüssig aus der Düse gedrückt

Hier können viele Faktoren das Problem verursachen. Zunächst einmal sollte man das Filament bzw. den Motor, der das Filament einzieht, untersuchen. Es kann passieren, dass der Motor sich zu tief in das Filament eingrät, weil es sich beispielsweise auf der Rolle verhakt hat. Man spricht hier von Filament grinding. Man findet entsprechende Spuren auf dem Filament.

Des Weiteren sollte man prüfen, ob die Temperatur der Düse korrekt eingestellt ist. Ist diese zu kalt, kann das Filament nicht schnell genug schmelzen. Evtl. ist auch das Heizelement oder der Temperatursensor defekt.

Üblicherweise ist jedoch die Düse verstopft und sollte gereinigt bzw. ersetzt werden (Herstellerangaben beachten! Oft gibt es auch Alternativlösungen aus der Community). Die Düse ist ein Verschleißteil und muss irgendwann ersetzt werden.

Das Filament haftet nicht auf dem Druckbett

Auch hier sollte man auf ein sauberes Druckbett achten und Hilfsmittel zur besseren Haftung austesten (siehe Warping).

Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass das Druckbett korrekt kalibriert wurde. Die Düse drückt das Filament immer leicht auf die untere Filamentlage bzw. auf das Druckbett. Sollte der Abstand zu groß sein, ist der Druck, den die Düse ausübt, nicht groß genug.

Skipped Layer

Unter Skipped Layer versteht man Lücken, die beim Drucken in der horizontalen Ebene entstehen können. Es sieht so aus, als hätte der Drucker eine Lage des Filaments teilweise oder ganz vergessen. Probleme können beispielsweise bei der Extrusion, also dem Herausdrücken des Filaments aus der Düse, entstehen. Das kann an einer zu kalten Düse liegen, als auch an einem Filament grindig. Die Düse kann aber auch verstopft sein.

Zudem kann auch in den Einstellungen ein zu niedriger Extrusionswert eingestellt sein, oder es gibt Probleme mit dem Motor, der die Z-Achse steuert. Ebenso ist es möglich, dass die Z-Achse gefettet/geölt werden muss, damit der Druckkopf bzw. das Druckbett gleichmäßig laufen kann.

Die meisten Probleme, die bei Testdrucken entstanden, waren auf mangelhafte Kalibrierungen zurückzuführen.

Diese kleine Auswahl ersetzt nicht die intensive Beschäftigung mit der Thematik. Das ist sicherlich einer der Punkte, die den 3D-Druck so zeitintensiv, aber auch interessant machen.

Nachbearbeitung der Modelle

Die Notwendigkeit eines Feinschliffs nach dem Ausdruck wurde bereits im Kapitel Grundlagen dargestellt. Hier sei noch einmal darauf verwiesen, dass erforderliche Nacharbeiten darin bestehen können, Stützstrukturen zu beseitigen, Oberflächen zu glätten und einzeln gedruckte Teile zusammenzukleben. Gestaltungsmöglichkeiten bieten sich auch im Bereich der Farbe.

Polygonfehler

Im Kapitel „Vom Scan zum Ausdruck“ wurde bereits über die vielen Arbeitsschritte berichtet, die Scandaten zu Druckdaten von 3D-Modellen durchlaufen müssen. Auch downgeloadte Internet-Dateien sollten auf Fehler überprüft werden. Fehlerhafte Polygonnetze (Meshes) können Druckfehler verursachen. Hier eine Auswahl der häufigsten Fehler.

👉 Modell nicht geschlossen („wasserdicht“)

Gemeint ist, dass alle Punkte in dem Model miteinander verbunden sind. Gibt es eventuell winzige Löcher oder einen Verschnitt? Für den 3D-Druck müssen alle Punkte und Linien miteinander verbunden sein, damit das Modell ein komplett „geschlossenes Mesh“ bildet.

👉 Bad edge

Bad edges sind Löcher, die entstehen, wenn zwei Polygone keine gemeinsame Kante haben.

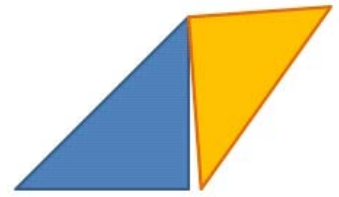


Abbildung: bad edge

👉 Non-manifold edges (Objekt „nicht-mannigfaltig“)

Eine Fläche wird nicht-mannigfaltig, wenn diese eine Kante hat, die für mehr als zwei Flächen eine Kante ist. Dies kann der 3D-Drucker nicht verarbeiten.

👉 Flächen nicht richtig ausgerichtet

3D Objekte bestehen aus vielen Flächen. Alle Flächen haben eine Innen- und eine Außenseite. Die Außenseiten müssen wirklich nach außen zeigen. Die sogenannten „Normalen“ der Flächen des Objekts sollten somit alle in die richtige Richtung zeigen. Wenn das Objekt Flächen hat, deren Normalen invertiert sind, dann kann ein 3D-Drucker oft nicht feststellen, welche Seite die Außenseite (oder die Innenseite) des Objekts ist.

👉 Duplicate lines or faces

In einem Mesh können Raumkörper sich gegenseitig durchdringen. Solche doppelt oder redundant definierten Bereiche sind unnötig und sollten beseitigt werden.

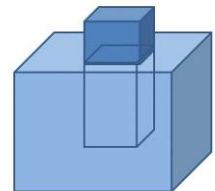


Abbildung: Duplicate faces



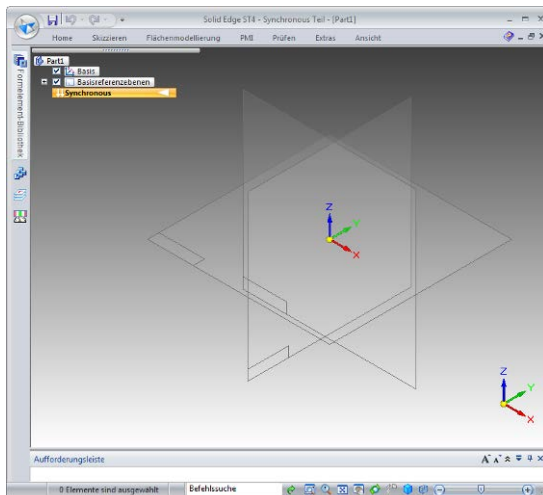
Abbildung: triangles cutting each other

Besonders problematisch sind Flächen, welche eigentlich zusammen einen dreidimensionalen Körper bilden sollten, sich stattdessen aber gegenseitig durchdringen („triangles cutting each other“)

Anhang

Beispiel der Arbeitsschritte bei der Konstruktion eines 3D-Modells

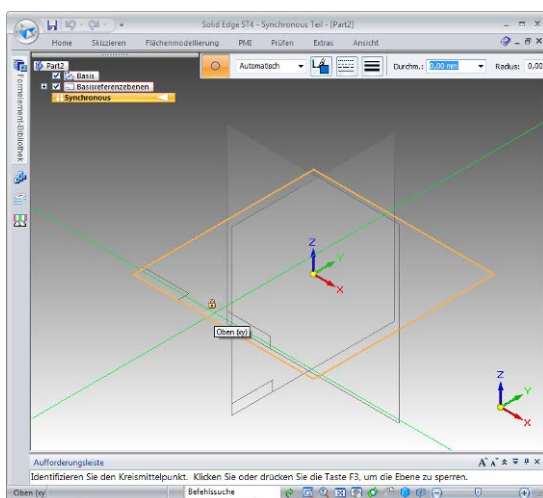
1. Der Zeichenraum:



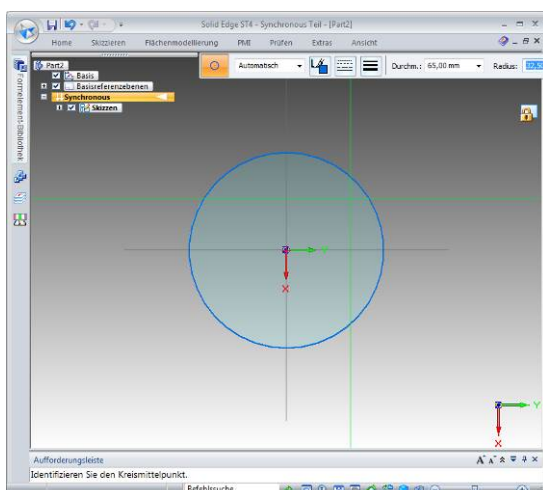
Der dreidimensionale Zeichenraum ist ein kartesisches Koordinatensystem. Er beinhaltet drei senkrecht aufeinander stehende Zeichenebenen. An dem Schnittpunkt der Ebenen befindet sich der Koordinaten Ursprung.

2. Modellierung einer Tasse:

Variante 1: Addition und Subtraktion von geometrischen Formen

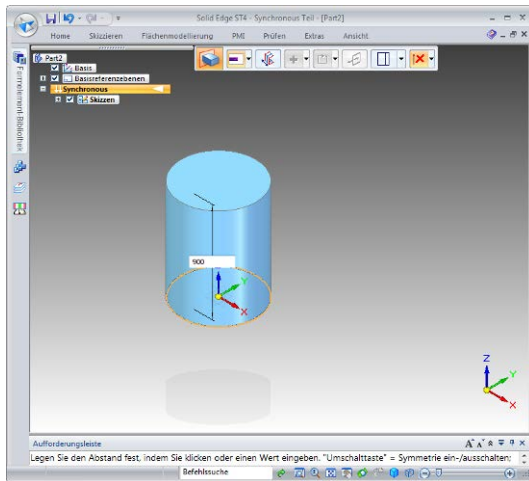


Auswahl der Zeichenebene



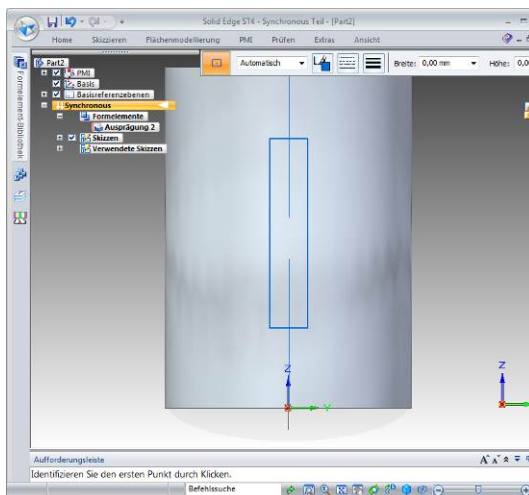
Zeichnen der Grundfläche eines Kreis mit 650mm Durchmesser

HANDREICHUNG 3D-Druck



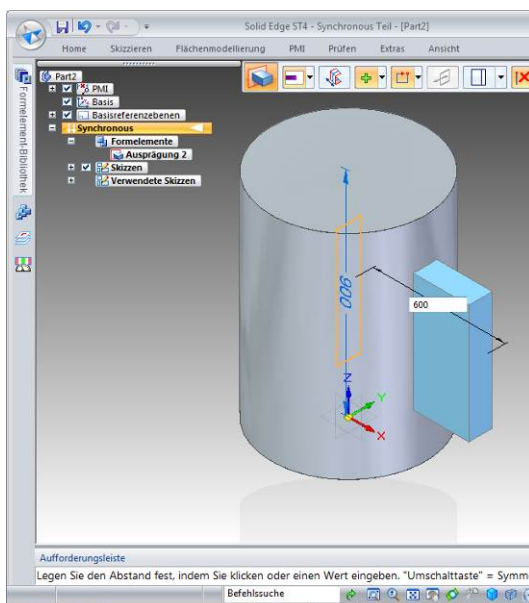
Extrudieren der Grundform

Austragen des Zylinders



Modellierung des Griiffs

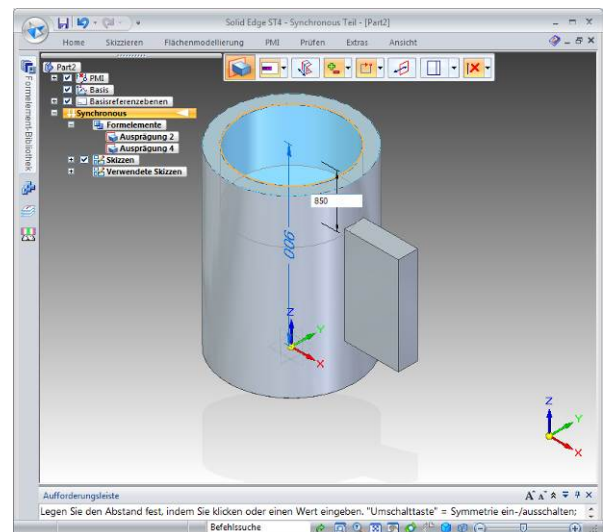
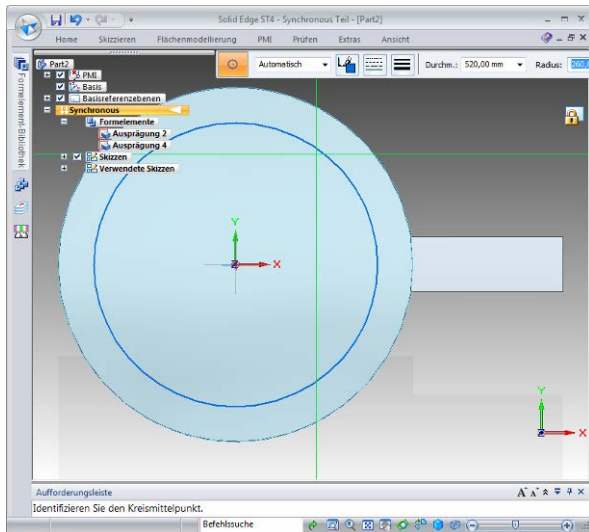
Zeichnen der rechteckigen Grundfläche mit einer Breite von 100 mm und einer Höhe 500 mm



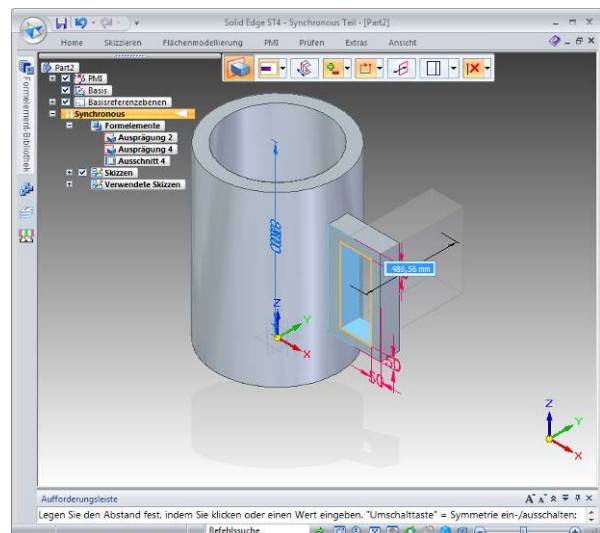
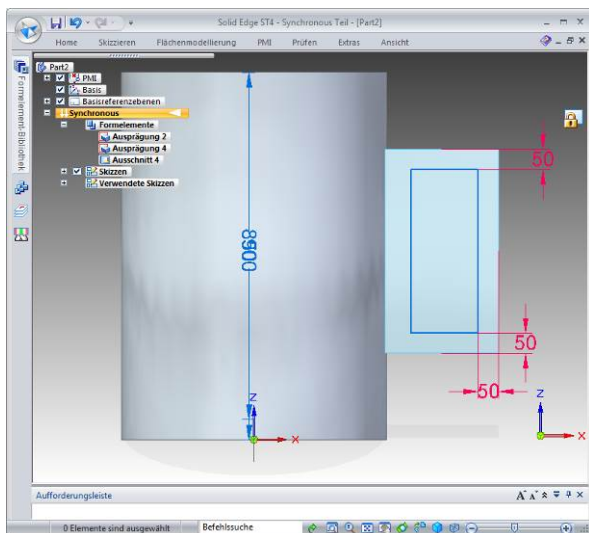
Austragen des Rechtecks

Zeichnen der Innenfläche und Subtraktion eines Zylinders für den Tasseninhalt

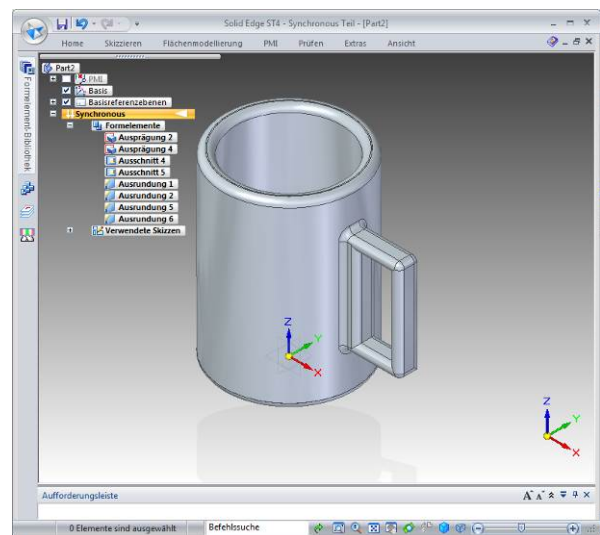
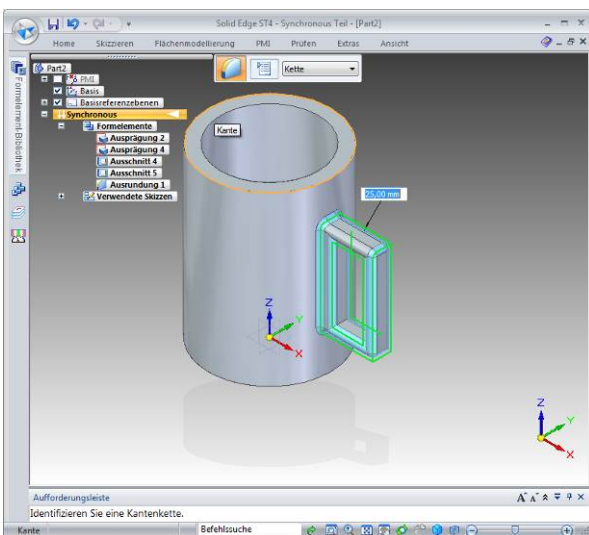
HANDREICHUNG 3D-Druck



Subtraktion der Griffaussparung

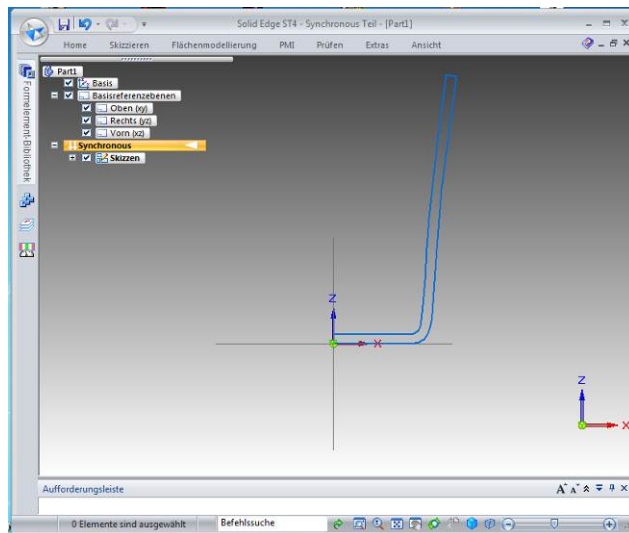


Verrundung der Kanten

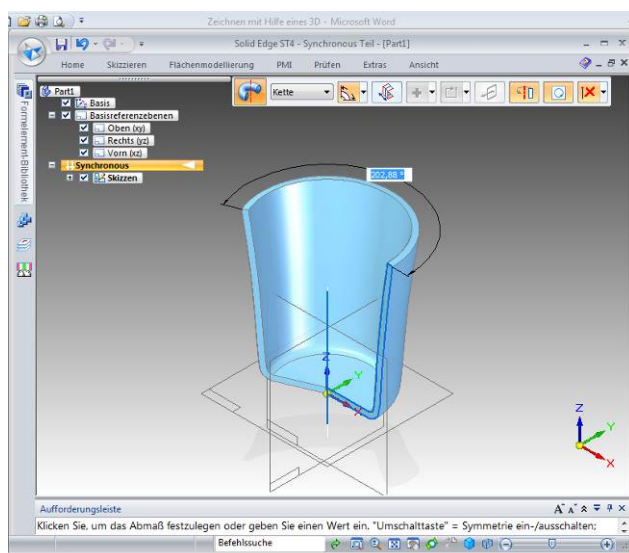


Variante 2

Rotation von Freiformflächen (B-Splines)

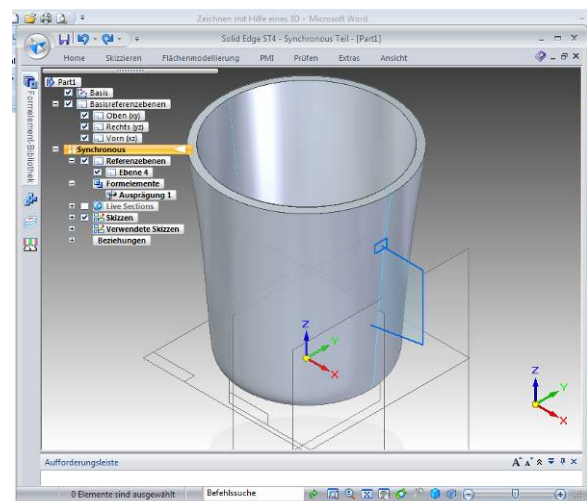
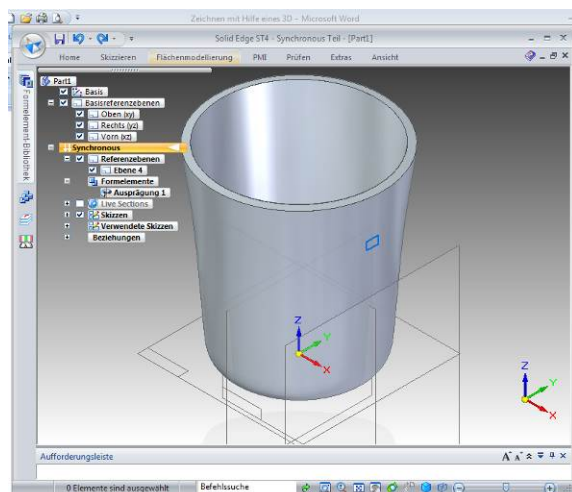


Zeichnen der Freiformfläche



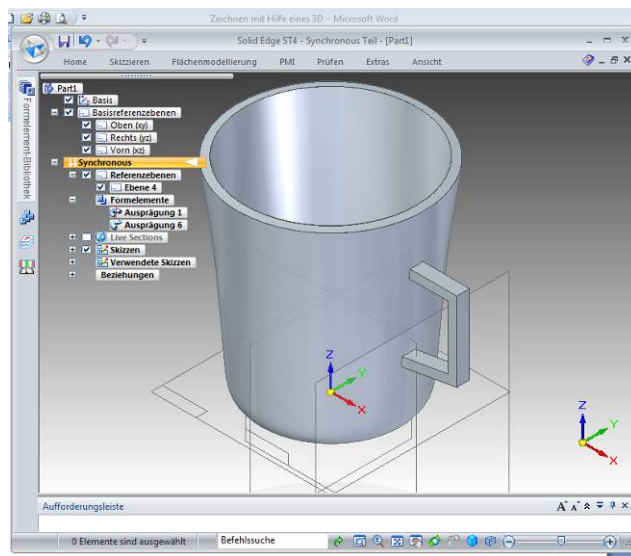
Rotation der Fläche um die Mittelachse

Zeichnen des Profils und des Pfades

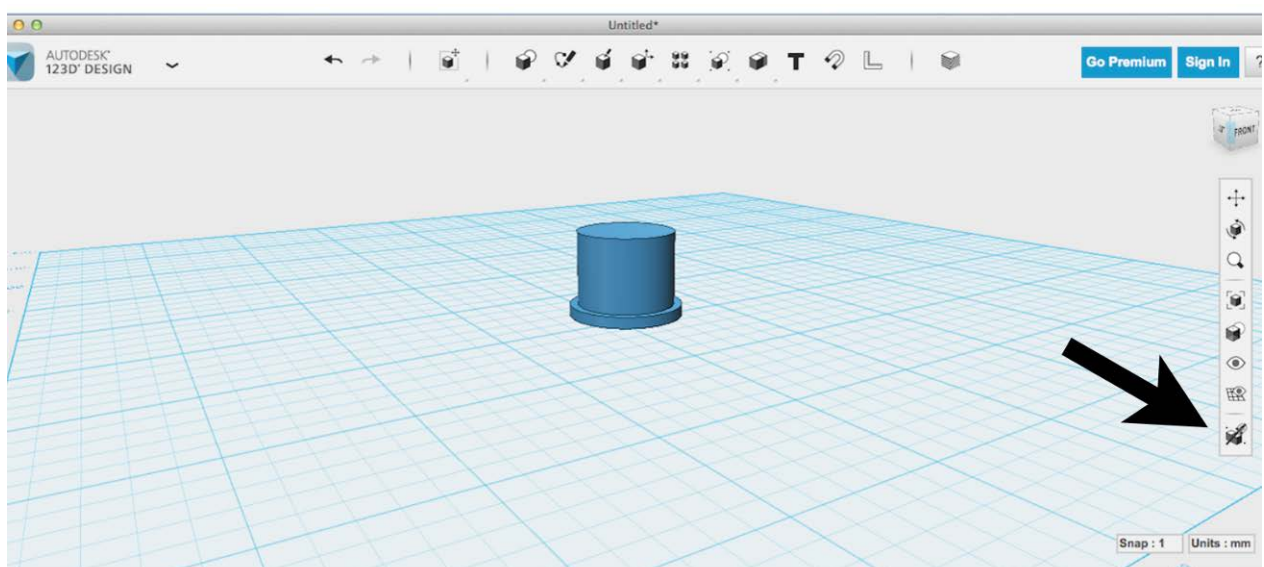
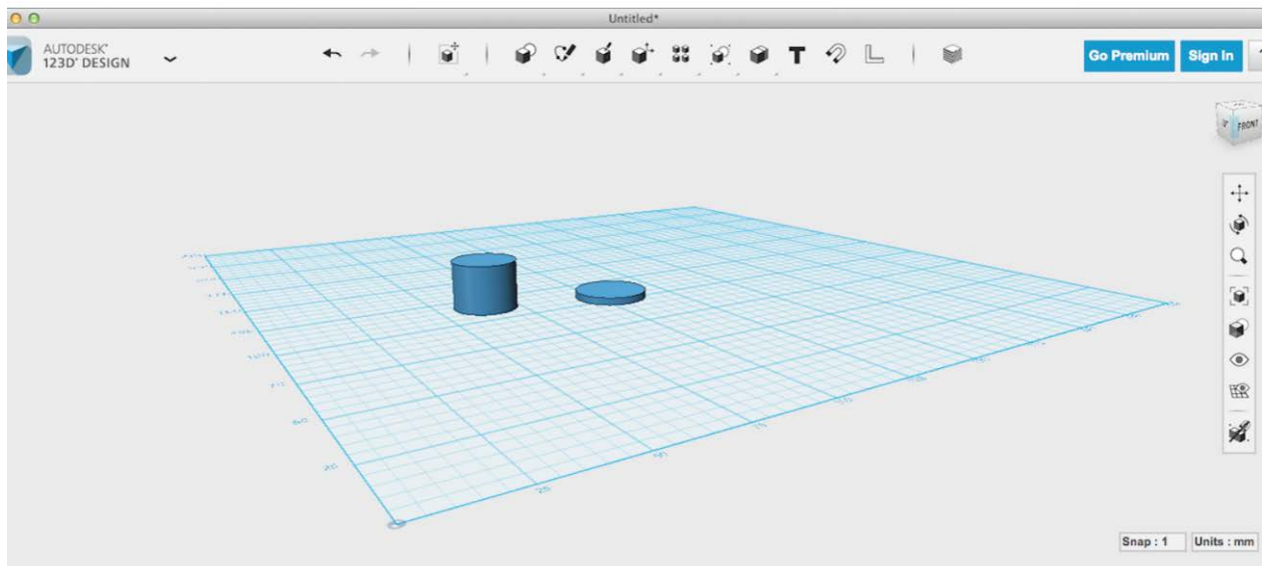
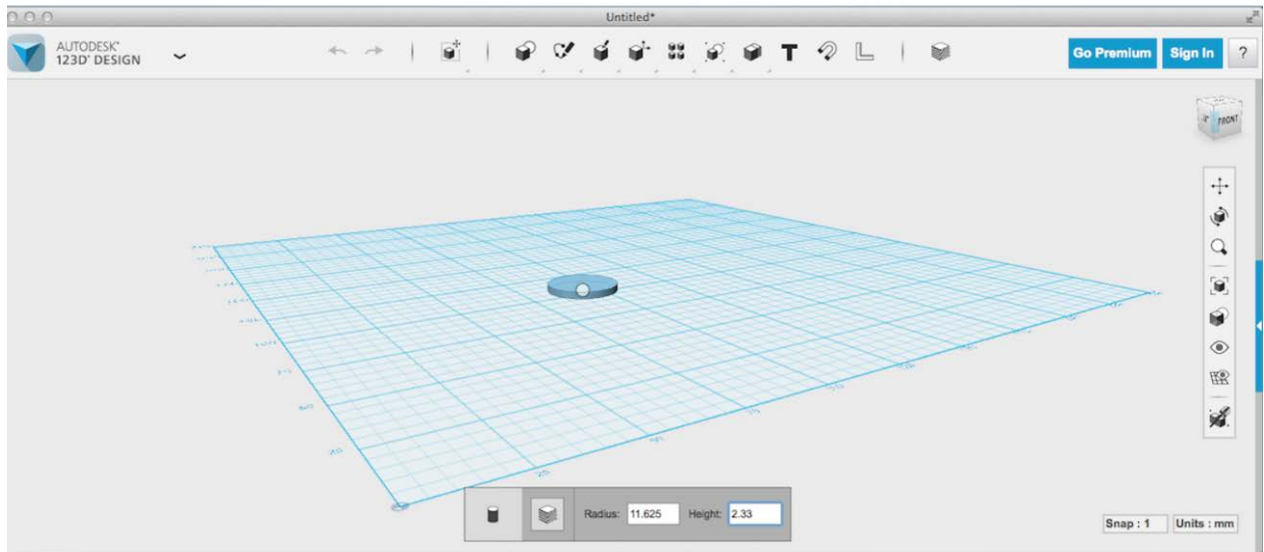


HANDREICHUNG 3D-Druck

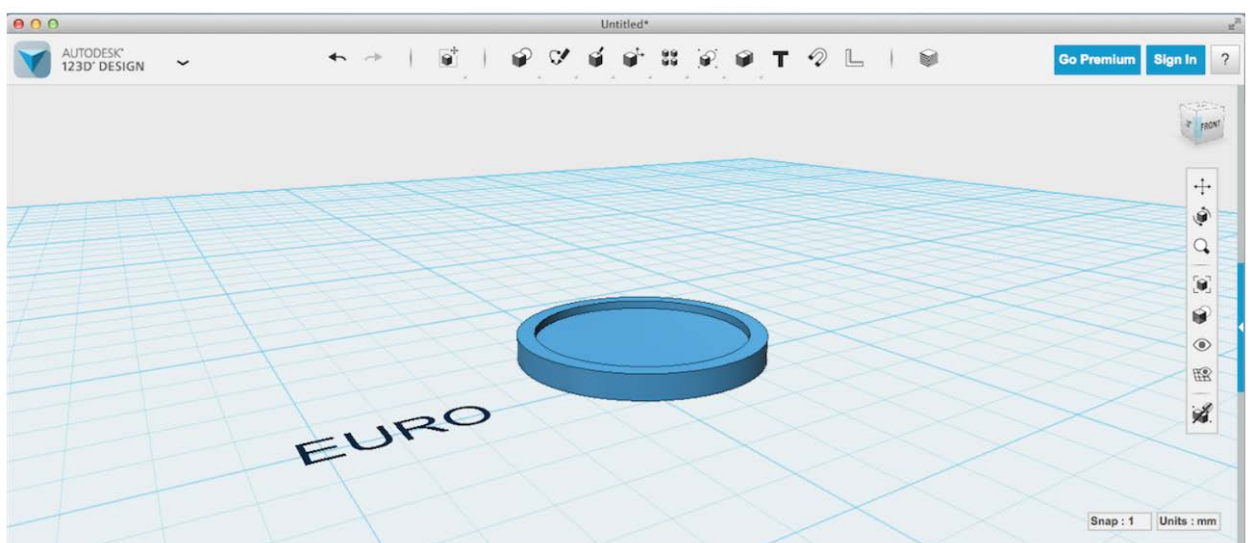
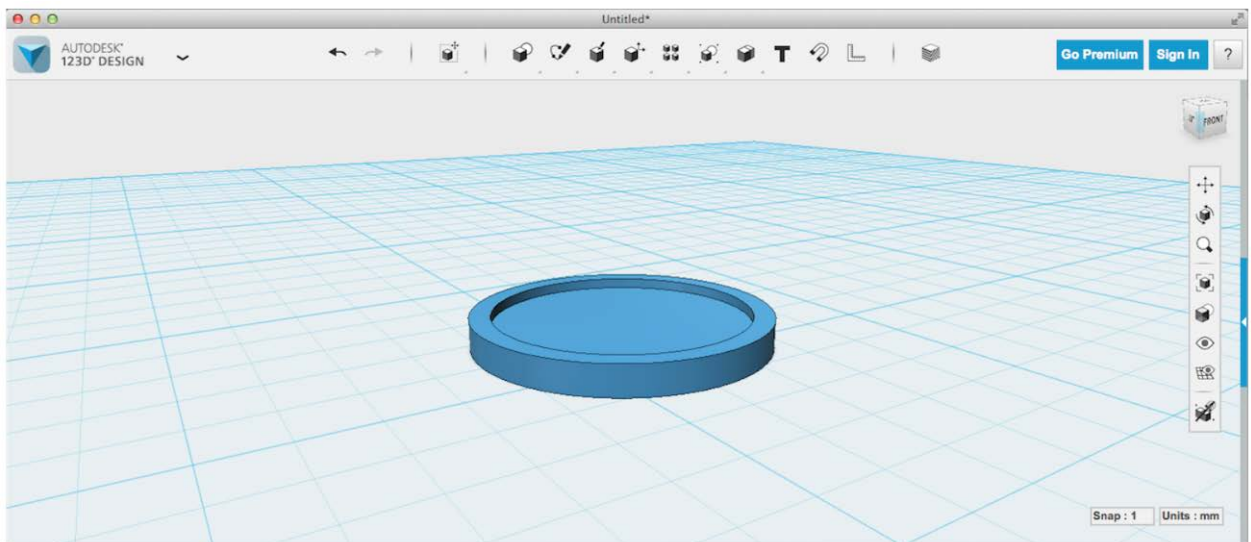
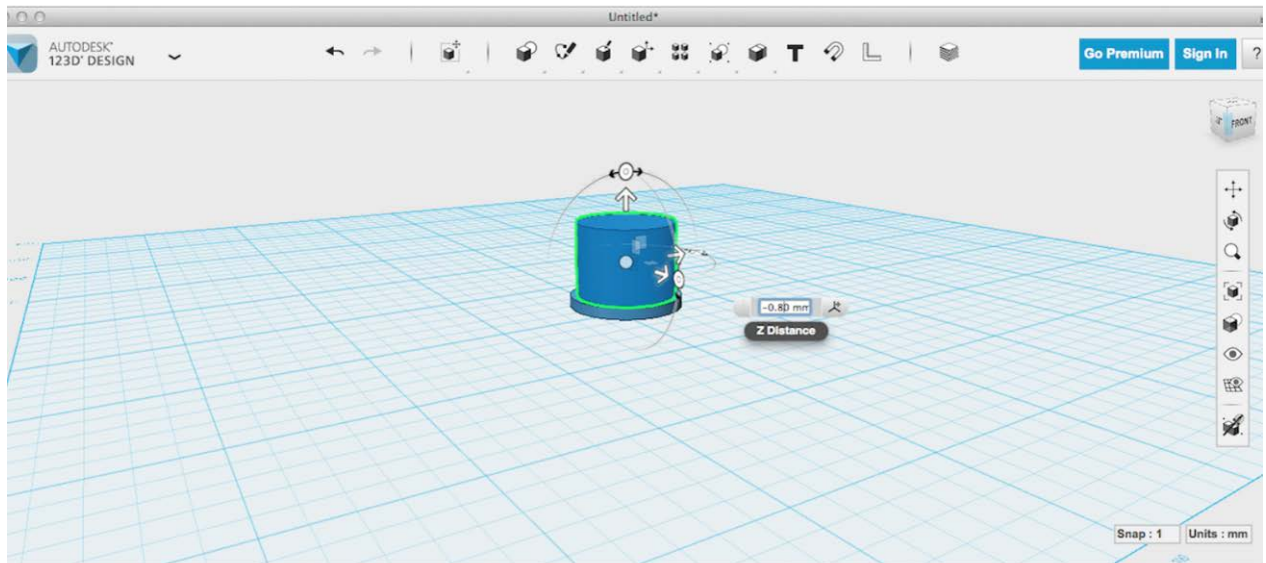
Geführte Austragung des Griffs



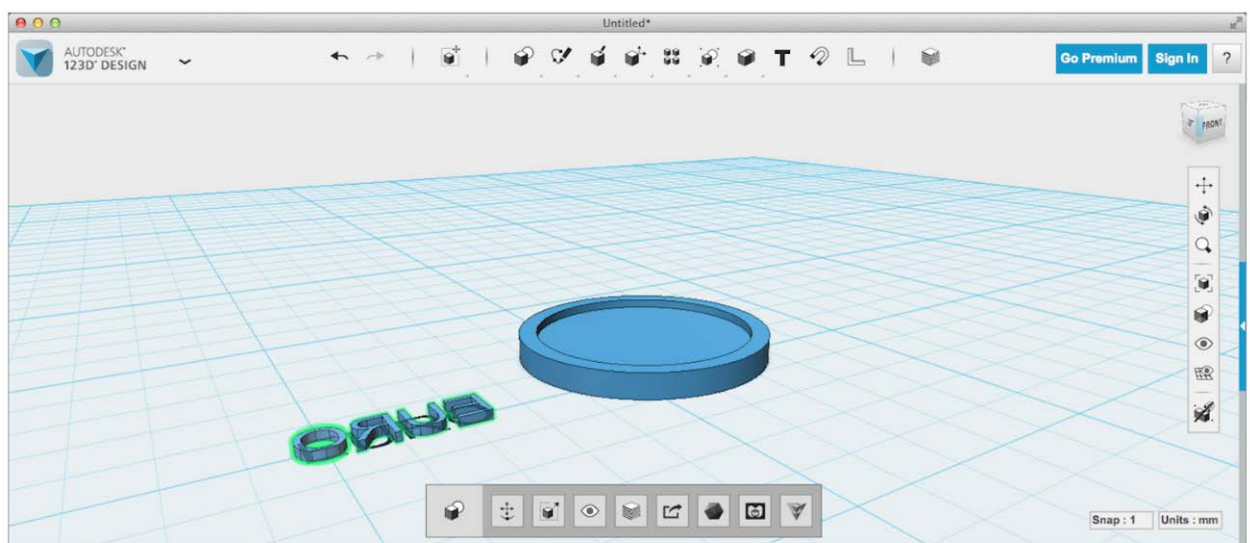
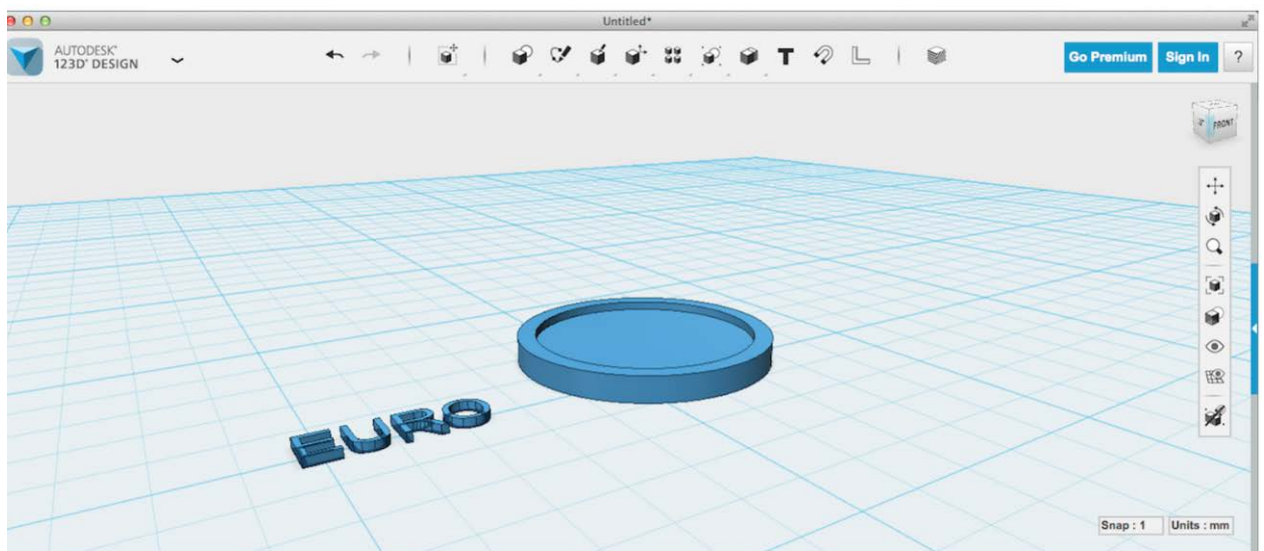
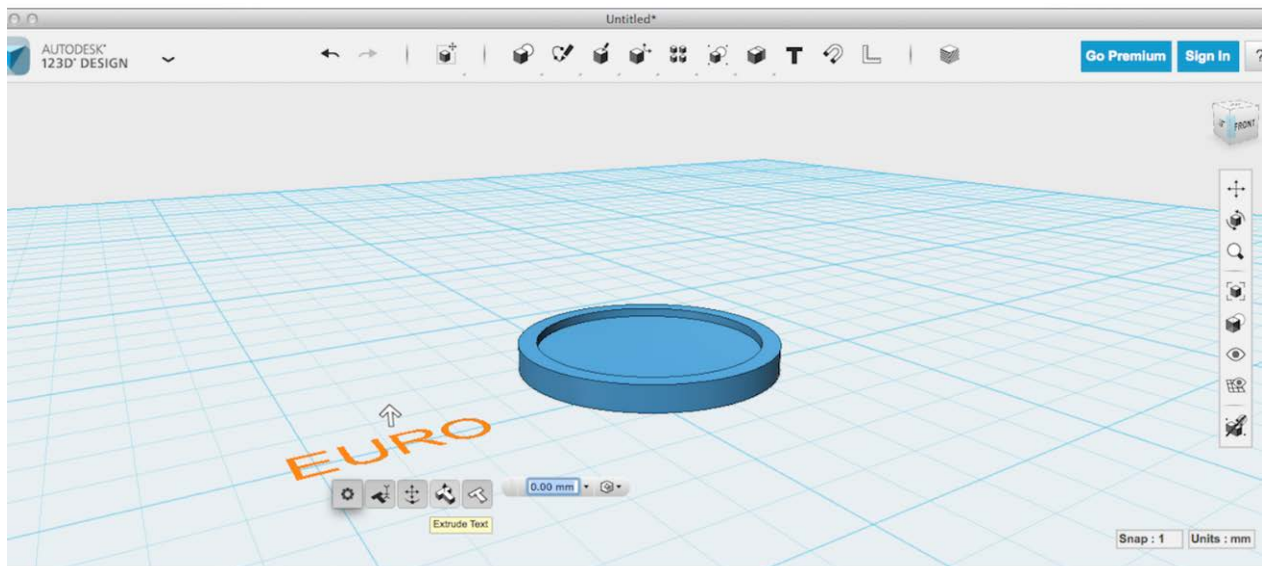
Workshop Entwurf eines Einkaufswagenchips



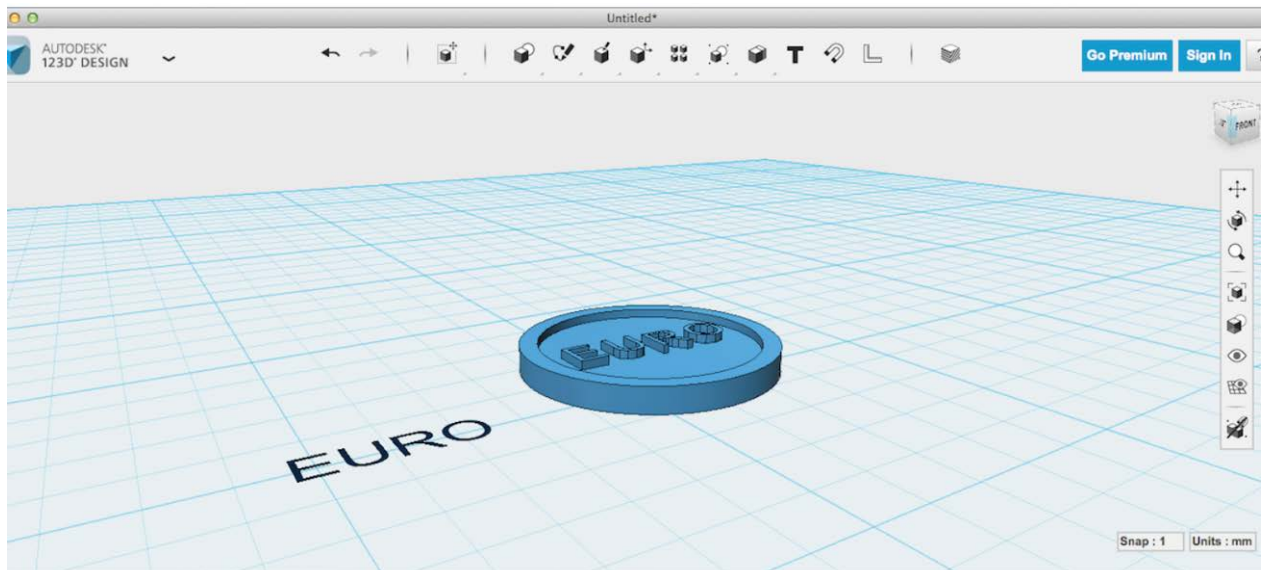
HANDREICHUNG 3D-Druck



HANDREICHUNG 3D-Druck



HANDREICHUNG 3D-Druck



Der individuelle Entwurf eines Einkaufswagenchips eignet sich als Einstiegsaufgabe.
Abbildungen: Unterrichtsergebnisse von Schülerinnen und Schülern

HILFE!!! Roboter erobern das Einhard! Zum Glück sind sie klein...

Menschen schwimmen durch Pfützen, kämpfen gegen Insekten oder werden von Zigaretten erschlagen. Wie das sein kann? Der Streetart-Künstler *Slinkachu* hat durch Fotografien seiner Arbeiten Berühmtheit erlangt, in denen er kleine Modellfiguren in typische Stadtlandschaften setzt und damit gewohnte Größenverhältnisse verändert.

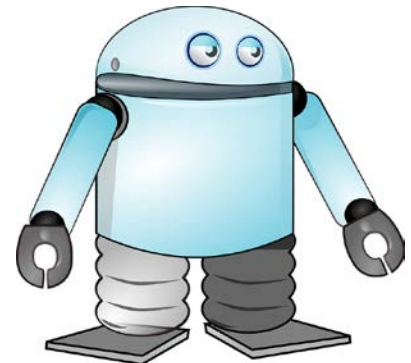


Abbildung: pixabay

Eure Aufgabe besteht darin, kleine Roboter auf das Einhard loszulassen!

Geht dazu in folgenden Schritten vor:

- 1) Fertigt Skizzen eines Roboters an, dessen Aufbau auf geometrischen Figuren beruht. Erarbeitet weiterhin ein Konzept, in welcher Position/Haltung ihr den Roboter später fotografieren möchtet.
- 2) Setzt die stärkste Skizze am PC als Entwurf für einen 3D-Druck aus. Beachtet dabei die Allansichtigkeit der Figur und die Körperhaltung. **Die Maße der Figur sollen 40x80x120 mm nicht überschreiten.**
- 3) Platziert den Roboter im Schulgebäude und inszeniert eine Szene zum Thema. Gerne dürft ihr den Roboter mit Requisiten ergänzen. Recherchiert im Internet zu den Streetart-Künstlern *Slinkachu* und Anton Tang und deren Arbeiten, um Merkmale einer guten fotografischen Inszenierung festzustellen.

Viel Spaß!

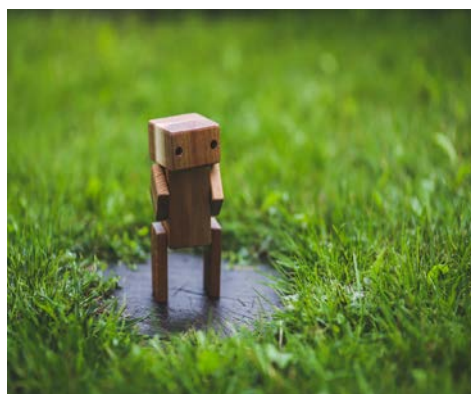


Abbildung: pixabay

Schmuckdesign aus dem Drucker!

Bildet eine 3er-Gruppe und bearbeitet die folgende Aufgabe:

„form follows fantasy and emotion“ – Schmuckdesign

Die Herausforderung ist es, ein tragbares Schmuckstück (Ring, Ohrring, Armband, Kette oder Schlüsselanhänger) aus geometrischen Formen zu designen.



Abbildung: pixabay

Geht dazu in folgenden Schritten vor:

- 1) Erschließt euch zunächst die Funktionsweise der Software, indem ihr einfache geometrische Körper zu Schmuckstücken zusammensetzt (diese müssen hinsichtlich des Designs nicht durchdacht sein und werden auch nicht bewertet).
- 2) Recherchiert im Internet zu Schmuck aus geometrischen Formgebilden und gedrucktem Schmuck. Jeder in der Gruppe hält die Ergebnisse der Recherche im Artbook fest und entwirft zeichnerisch eine Skizze des Schmuckstücks im Artbook, welche dem Grundsatz „form follows fantasy and emotion“ folgt.
- 3) Setzt die geeignetste Skizze der Gruppe am PC als Entwurf für einen 3D-Druck um. Beachtet dabei die Allansichtigkeit des Objektes und die Herausforderung, es aus geometrischen Formen zu bilden. Außerdem müsst ihr es an die Maße des menschlichen Körpers anpassen.

1. Hinweis: Euer Schmuckstück kann als Ganzes gedruckt werden (Ring, Anhänger) oder in Form mehrerer kleiner Teile (Kette, Armband, Ohrring). Im zweiten Fall können die ausgedruckten Einzelteile später über eine Kette oder Aufhängungen verbunden werden.

- 4) Platziert den Schmuck an einem Model, haltet dies fotografisch fest und gestaltet einen Werbetext zum Produkt.

2. Hinweis: Es wird eine Dokumentation der gesamten Arbeit im Artbook erwartet, d.h. neben Recherche und Skizze sollen auch die Vorgehensweise beim Design, eventuelle Änderungen/Probleme, eine kritische Bewertung des Endproduktes und die Werbung zum Produkt von jedem Gruppenmitglied schriftlich festgehalten werden.

Viel Spaß und Erfolg!

Möbeldesign aus dem Drucker!

Bildet eine 3er-Gruppe und bearbeitet die folgende Aufgabe:

„form follows function“ – Möbeldesign

Die Herausforderung ist es, den Prototyp eines Möbelstücks (Tisch oder Stuhl) aus geometrischen Formen im Maßstab 1:20 zu designen.

Geht dazu in folgenden Schritten vor:



Abbildung: pixabay

- 1) Erschließt euch zunächst die Funktionsweise der Software, indem ihr einfache geometrische Körper zu Möbelstücken zusammensetzt (diese müssen hinsichtlich des Designs nicht durchdacht sein und werden auch nicht bewertet).
- 2) Recherchiert im Internet zu Möbeln aus geometrischen Formgebilden und gedruckten Möbeln. Jeder in der Gruppe hält die Ergebnisse der Recherche im Artbook fest und entwirft zeichnerisch eine Skizze des Möbelstücks im Artbook, welche dem Grundsatz „form follows function“ folgt.
- 3) Setzt die geeignetste Skizze der Gruppe am PC als Entwurf für einen 3D-Druck um. Beachtet dabei die Allansichtigkeit des Objektes und die Herausforderung, es aus geometrischen Formen zu bilden. Außerdem müsst ihr den Maßstab einhalten.

1. Hinweis: Den Maßstab berechnet ihr, indem ihr jede Länge des wirklichen Produkts durch 20 teilt. Beachtet außerdem, dass ihr für den Druck Stützmaterial einfügen könnt.

- 4) Fertigt eine Zeichnung des Möbelstücks als „fertiges“ Produkt an (Farbe, Stofflichkeit) und bewerbt es in einem Werbeplakat.

2. Hinweis: Es wird eine Dokumentation der gesamten Arbeit im Artbook erwartet, d.h. neben Recherche und Skizze sollen auch die Vorgehensweise beim Design, eventuelle Änderungen/Probleme, eine kritische Bewertung des Endproduktes und die Werbung zum Produkt von jedem Gruppenmitglied schriftlich festgehalten werden.

Viel Spaß und Erfolg!

Umgestaltung des „Zig Zag Stuhls“

Bilden Sie Zweiergruppen und bearbeiten Sie die folgende Aufgabe:

Gegeben ist der Zig Zag Stuhl von Gerrit Rietveld. Dieses Möbel soll unter der folgenden Thematik umgestaltet werden: Zig Zag für einen König. Das heißt, Sie bearbeiten den gegebenen Stuhl so, dass er für einen König ein angemessenes Sitzmöbel darstellt (egal für welche Funktion, z.B. Thron, Tischstuhl, WC).

Arbeitsschritte:

Gehen Sie wie folgt vor:

1. Erschließen Sie sich zunächst die Software und schauen sich anschließend das Tutorial an. Bauen Sie den gegebenen Gegenstand des Tutorials nach, um die Funktionsweise der Software besser zu verstehen.
2. Stellen Sie nun Überlegungen zur Veränderung des Zig Zags Stuhls an und skizzieren Sie diese.
3. Setzen Sie Ihre Entwürfe am Rechner um.

Allgemeine Informationen zum „Zig Zag Stuhl“

Rietveld entwarf den aus Ulme gefertigten Stuhl zwischen 1932 und 1934. Er hat eine Höhe von 75cm, eine Breite von 37 cm und eine Tiefe von 44,5 cm. Die Sitzhöhe des Zig Zag Stuhls beträgt 42,5 cm. Das Material wird durch Messingschrauben zusammengehalten. Zusätzlich befinden sich Schwalbenschwanzverbindungen zwischen der Sitz- und Rückenfläche. Hölzerne Keile, die zwischen den spitzen Winkeln des Stuhles sitzen, stabilisieren den Stuhl.

Gerrit Rietvelds Ziel war, mit dem Stuhl eine funktionale Form zu erschaffen, welche den Raum nicht verstellt.

Der heutige Produzent des Zig Zag Stuhls ist die Firma Cassina, die 1971 das Recht erwarb, alle Möbelentwürfe Rietvelds herzustellen.^{xlvi}



Abbildung: Rietveld-Stuhl (Foto: Wikimedia)

Viel Erfolg!

Design von Kickerfiguren

Aufgabe: Konstruieren Sie mit Hilfe eines CAD-Programms eine Tischkicker-Figur.

Sie können die Figur individuell gestalten. Ihre Funktion in einem Tischkicker-Spiel darf dadurch nicht eingeschränkt sein.

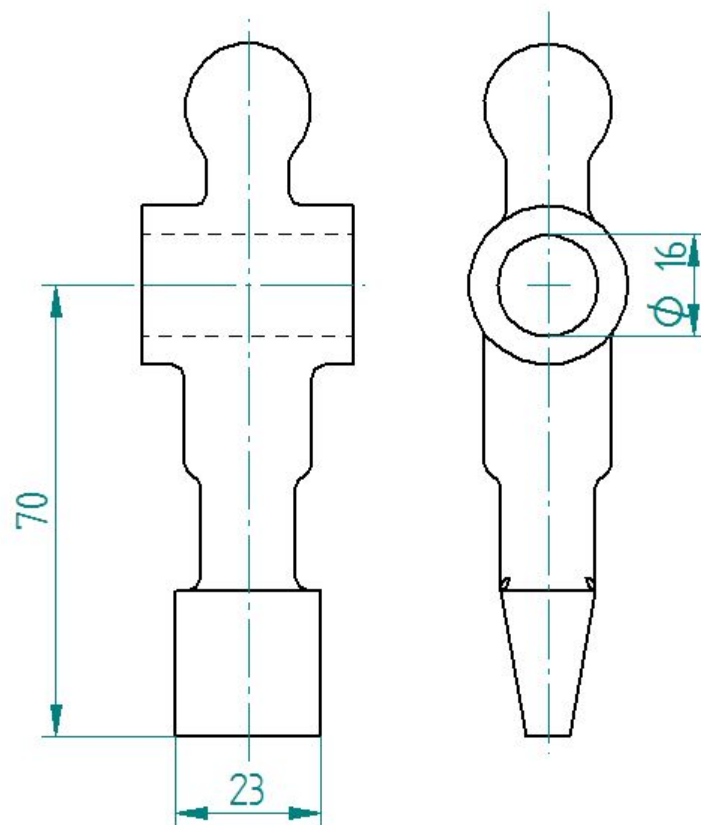
Die Figur soll folgende Hauptmaße besitzen:

Stangendurchmesser 16 mm,

Abstand Stangenmitte-Fußunterkante 71 mm,

Abstand Stangenmitte-Kopfoberkante maximal 42 mm und

Fußbreite 23 mm.



Viel Erfolg!

Designcollage Schulaward

Aufgabe: Entwerfen Sie das 3D-Modell eines Schulawards, der Collageelemente aus dem Internet und selbst entworfene Elemente kombiniert.

Erläuterung: Jährlich findet an unserem Berufskolleg ein Sportturnier in den Sportarten Völkerball, Fußball und Volleyball statt. Dafür suchen wir Pokale.

Der Schulaward, den Sie entwerfen, besteht aus einem Pokal und einem Sockel.

Der Sockel: Ein Teil der Aufgabe besteht darin, einen Sockel zu designen, welcher durch verschiedene Aufsätze für mehrere Sportarten genutzt werden kann. Vorgabe ist, dass am dem Sockel deutlich unser Berufskolleg erkennbar wird (z.B. durch einen Schriftzug, das Logo der Schule etc.). Wichtig ist, dass Sie in den Sockel eine Steckverbindung für den Pokal einbauen.

Der Pokal: Ihre Rechercheaufgabe besteht darin, passend zur jeweiligen Sportart fertige 3D-Modelle von einer Online-Datenbank auszuwählen und herunterzuladen (z.B. einen Fußball, welcher schon dreidimensional erstellt wurde), die sie dann weiterbearbeiten können, indem sie sie mit eigenen Elementen kombinieren. Der Pokal soll auf den von Ihnen erstellten Fuß aufgesteckt werden. Dementsprechend müssen Sie für das heruntergeladene Objekt eine passende Steckverbindung konstruieren.



Abbildung: pixabay

Arbeitsschritte: Gehen Sie in den folgenden Schritten vor:

1. Erschließen Sie sich zunächst die Software, indem Sie den gegebenen Gegenstand des Tutorials nachbauen.
2. Recherchieren Sie im Internet diverse Modelle für Sportpokale und machen Sie sich in Einzelarbeit Skizzen für Ihren Entwurf.
3. Diskutieren Sie die Skizzen in Dreiergruppen! Setzen Sie die für die Lösung der Aufgabe geeignetste Skizze Ihres Teams am Rechner für den 3D-Druck um.

Hinweis: Es wird eine Zusammenstellung der gesamten Arbeit in Ihrem Skizzenbuch erwartet, d.h. neben Recherche und Skizze sollen auch die Vorgehensweise beim Design, eventuelle Änderungen/Probleme und eine kritische Bewertung des Endproduktes schriftlich und in Skizzen festgehalten werden.

Viel Erfolg!

Glossar an Fachbegriffen zum 3D-Druck

ABS

Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, ein synthetisches Terpolymer, das beim 3D-Druck als Druckmaterial zum Einsatz kommt.

Add-ons

Ein Add-on ist ein Modul, welches die bestehende Hard- oder Software erweitert.

Autodesk Lizenz

Autodesk ist ein US-amerikanisches Software-Unternehmen für digitales 2D- und 3D-Design. Verbraucher können hier Lizenzen für CAD-Software erhalten.

Bridging

Das Überspannen von leerem Raume oder Drucken ins "nichts", bei 3D Druckern als Funktion vorgesehen, einstellbar in der Drucksoftware.

CAD

Unter CAD (von engl. *computer-aided design*) versteht man das Konstruieren eines Produkts mittels eines Computers.

Chassis

Grundgerüst bzw. Rahmen eines Objektes.

CNC

Computerized Numerical Control (CNC) bezeichnet ein elektronisches Verfahren zur Steuerung von Werkzeugmaschinen, welche auch CNC-Maschinen genannt werden.

Digital Light Processing

3D-Drucktechnik, bei der mit Licht gearbeitet wird.

Distribution

Vertrieb

Druckerdüse

Teil eines Tintenstrahldruckers, durch den die Tinte auf das Papier geschossen wird. Kommt auch im 3D-Druck zum Einsatz, verdrückt dabei jedoch flüssiges Bindemittel.

Drucksoftware

Die im Begleitmaterial des Druckers mitgelieferte Drucksoftware erledigt mehrere Aufgaben, die für den Druck notwendig sind. In der Praxis lassen sich diese Aufgaben nicht immer voneinander abgrenzen.

- Analyse des STL-Modells auf Druckprobleme, teils auch Einfügen von Stützmaterial bei Überhängen.
- Slicing (s.u.)
- Erstellung von Steuerdaten für den Drucker, die den Druckkopf steuern (auch bekannt als G-Code, s.u.).

Emission

„Ausstoß“, Aussendung von Störfaktoren in die Umwelt

Epoxidharz

Kunstharz, das zum Kleben und zum 3D-Drucken verwendet wird und nach dem Trocknen außerordentlich hart ist.

Extruder

Teil eines FDM-3D-Druckers, das das zu verdruckende Material aufträgt. Wird auch oft als Hotend bezeichnet.

Fabbing

Herstellung eines Produkts am Ort seines Bedarfs.

Fab Labs

Offene Werkstätten mit dem Ziel, Privatpersonen den Zugang zu Produktionsmitteln und modernen industriellen Produktionsverfahren für Einzelstücke zu ermöglichen.

FDM- bzw. FFF-Verfahren

FDM, Abkürzung für „Fused Deposition Modelling“ und FFF für „Fused Filament Fabrication“, zwei Bezeichnungen für dasselbe 3D-Druckverfahren der Schmelzschichtung. Dies ist ein weitverbreitetes Verfahren, bei dem ein Werkstück schichtweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff aufgebaut wird.

Filament

Kunststoffdraht, der als zu verdruckendes Material im FDM- bzw. FFF-Druckverfahren verwendet wird.

Filament-grinding

Es kann passieren, dass die Transportrolle für den Filamentvorschub sich zu tief in den Filamentfaden eingrät, weil er sich beispielsweise auf der Rolle verhakt hat. Man findet entsprechende Spuren auf dem Filament.

G-Code

Spezieller Code (bzw. Befehlsliste), mit dem 3D-Drucker gesteuert werden. Vergleichbar mit Postscript.

Hotend

Heiße Spitze eines 3D-Druckers, aus dem das Filament austritt, wird auch oft Extruder genannt.

Konvertierung

Wandeln eines Dateiformats in ein anderes Dateiformat.

Laminated Object Manufacturing

3D-Druckverfahren. Die Form wird aus Kunststoffschichten aufgebaut. Jede neue Schicht wird auf die vorhandene Schicht laminiert und dann die Kontur geschnitten, bevor die nächste Schicht aufgebracht wird.

Maker

Betreiber von Fabbing (s.o.) mit Anteilen eigener Erfindungen.

Mesh

Polygonnetz zur Darstellung einer dreidimensionalen Objektoberfläche. Ein Meshobjekt besteht aus Kontrollpunkten (Vertices), zwischen denen Linien (Edges) aufgespannt sind. Zwischen den Linien sind Flächen (Faces) aufgespannt. Diese Flächen werden am Bildschirm sichtbar gemacht (gerendert).

Modelling Toolset

Funktionsumfang eines 3D-Programms, das dem 3D-Modellieren von Objekten dient.

Non-Manifold Edges (Nicht-Mannigfaltigkeit)

Typischer Fehler von 3D-Scans, der zu Druckfehlern führt: falsch ausgerichtete Kanten im Polygonnetz.

NURBS

Abkürzung für „Non-Uniform Rational B-Splines“, sind Kurven, die mathematisch präzise definiert werden können, wodurch auch die Erstellung von ebenso präzise definierbaren Flächen zwischen den Kurven möglich wird.

Open Source

Software, deren Quellcode frei zugänglich ist und die sich unter gewissen Bedingungen ohne weitere Kosten verwenden lässt.

Perimeter

Wandstärke eines hohlen oder mit Füllung gedruckten Objekts.

Photopolymere

Lichtempfindliches Kunstharz.

PLA

Polyactide oder Polymilchsäuren, Abkürzung für „Polilactic Acid“. Thermoplastischer Biokunststoff, der derzeit der am meisten verwendete Kunststoff im Bereich der FDM- bzw. FFF-3D-Drucker.

Plotter

Zeichengerät bzw. Alternative zum Drucker zur Nutzung mit dem Computer, das auf zwei bewegliche Achsen und darauf montierten Stiften basiert. Wird speziell für die Darstellung großformatiger Pläne oder Konstruktionszeichnungen verwendet.

Plug-in

Ergänzungsprogramm, das die Funktionalität einer Softwareanwendung erweitern kann.

Polygonnetz

Aufbau eines virtuellen 3D-Objekts als Konstrukt aus einer Vielzahl von Polygonen. Ein Polygon ist eine geometrische Figur, die man erhält, indem man mindestens drei voneinander verschiedene Punkte in einer Zeichenebene miteinander verbindet, sodass durch den entstandenen Linienzug (*Polygonzug*) eine Fläche umschlossen wird.

Polymer

Spezielles Kunstharz.

Prototyp

Versuchsmodell für ein neues Gerät oder ein anderes Objekt.

Prototyping

Herstellung eines Prototyps.

Rapid Manufacturing

Serienproduktion auf Rapid-Prototyping-Maschinen bzw. 3D-Druckern.

Rapid Prototyping

Herstellung von Prototypen mit 3D-Druckern.

Raft

Netz, das zuerst auf das Bett gedruckt wird, worauf das Modell zur besseren Haftung gedruckt wird.

Remeshing

Neuerzeugen eines bestehenden 3D-Objekts mit einer verbesserten Struktur.

Sculpting

Spezielle Technik des 3D-Modellierens, die das abtragende Verfahren der Bildhauerei simuliert.

Slicer

Programm, das Modelle für den Druck aufbereitet, in dem es sie in Schichten aufteilt. Diese Schichten repräsentieren die einzelnen Drucklagen, die der Drucker später auf der Druckplatte aufträgt.

Slicing

Vorgang des schichtweisen Zerlegens eines 3D-Objekts in Vorbereitung auf den 3D-Druck.

Solid

Im Unterschied zum Mesh sind beim Solid die Oberflächen geschlossen. Daher werden sie in entsprechend festgelegten Materialien und mit angegebenen Farben dargestellt.

Solid Surface

Spezielle Art von 3D-Modellen, die nicht durch Polygone, sondern durch NURBS gebildet werden.

Skalierung

Änderung der Größe.

STL-Format

Die STL-Schnittstelle (*Surface Tessellation Language*) ist eine Standardschnittstelle vieler CAD-Systeme. Sie stellt geometrische Informationen dreidimensionaler Datenmodelle bereit.

Stützstrukturen (auch als Supportmaterial bezeichnet)

Strukturen, die beim 3D-Druck verwendet werden, um frei hängende Strukturen an 3D-Objekten drucken zu können.

Subdivisionsoberflächen

Geometrien, die ausschließlich aus viereckigen Polygonen bestehen und daher immer wieder unterteilt werden können.

Subtraktionskörper

Ergebnis einer Operation, bei der zwei Objekte miteinander verbunden werden und dann eines vom anderen abgezogen wird.

Topografie

Struktur einer Oberfläche.

Überhänge

Typisches Problem beim 3D-Druck im FDM- bzw. FFF-Verfahren. Damit vorkragende Bauteile und Schrägen von mehr als 45° druckbar sind, müssen oft Stützstrukturen (s.o.) eingeplant werden (vgl. Bridging).

Vacuumkammer

Kammer, die zu 3D-Druckzwecken luftleer gesogen werden kann.

Vertex, (Plural: Vertices)

Kontrollpunkte, aus denen Polygone und Polygonkanten gebildet werden können.

Warping

Formverzug durch thermische Spannungen beim Erkalten des Filaments während des Druckvorgangs.

Wichtige Links und Adressen

Wichtige Internet-Präsenzen:

- Online-Magazin zum 3D-Druck: 3Druck.com <https://3druck.com/>
- Wiki zu open-source-3D-Druckern: <http://reprap.org/wiki/RepRap/de> (RepRap.org ist ein Projekt von Adrian Bowyer. Er entwickelte einen 3D-Drucker, der seine Teile selbst replizieren kann. Somit ist es möglich, nur mit Hilfe eines RepRap Druckers, weitere RepRaps zu konstruieren.
- Open Source Projekte im 3D-Druck: <http://opensourceecology.org/>
- Kommerzielle deutsche 3D-Druck-Dienstleister: <https://3druck.com/dienstleister/>
- Kommerzielle 3D-Druck-Dienstleister weltweit: <https://www.3dhubs.com/>
- Übersicht Software zur Meshreparatur <http://meshrepair.org/>

Adressen von FabLabs und offenen Werkstätten

- zdi-Partnernetzwerke: <http://www.zdi-portal.de/>
- Verbund offener Werkstätten: <http://www.offene-werkstaetten.org/>
- Liste von FabLabs: http://wiki.fablab.is/wiki/Main_Page oder <https://3druck.com/labs>
- Liste von FabLabs bei Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/FabLab%E2%80%99Liste_von-Fablabs

Online-Datenbanken für 3D-Modelle:

- 123D, <http://www.123dapp.com/Gallery/content/all>
- 3D Part Source, <https://3dpartsource.com/>
- 3DTin <http://www.3dtin.com/>
- 3D-Warehouse, <https://3dwarehouse.sketchup.com>
- Blendswap, <http://www.blendswap.com/>
- Endless Forms, <http://endlessforms.com/>
- Freebie 3D Models <http://tf3dm.com/3d-models/freebie>
- Grabcad, <https://grabcad.com/>
- M3D <https://printm3d.com/downloads>
- Pinshape, <https://pinshape.com>
- Sketchfab, <https://sketchfab.com/>
- TF3DM, <http://tf3dm.com/>
- Thingiverse, <http://www.thingiverse.com/>
- Traceparts, <http://www.traceparts.com/de/>
- Turbosquid, <http://www.turbosquid.com/>
- Viewshape, <https://viewshape.com/>
- Wamungo, <http://www.wamungo.de/>
- YouMagine, <https://www.youmagine.com/>

Suchmaschinen für 3D-Modelle:

- Yeggi <http://www.yeggi.com/de/>
- Yobi3D <https://www.yobi3d.com/>

Anmerkungen

- i Der Ausdruck „Fused Deposition Modeling“ und seine Abkürzung FDM sind geschützte Marken der Firma Stratasys. Eine alternative Bezeichnung dieses Verfahrens lautet Fused Filament Fabrication (FFF) und wurde von Mitgliedern des RepRap-Projektes geprägt, um einen markenrechtsfreien Wortgebrauch zu ermöglichen.
- i Jean Piaget, zit. nach Marianne Franke, Didaktik der Geometrie, Berlin 3. Aufl. 2016 S. 93ff.
- iii Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/CAD>.
- iv 3Druck.com ist ein Online-Magazin mit Informationen und Nachrichten über 3D-Drucker.
- v Eine unfallgefahrminimierte Modellbaumaschine namens „PLAYMAT“ kann in Betracht gezogen werden.
- vi In der Liste von Klebstoffen bekannter Hersteller werden Pattex Plastix, UHU Max Repair oder UHU Allplast für PLA empfohlen.
- vii Eine Aufstellung von Open Source Software im 3D-Bereich findet man unter <http://opensourceecology.org/>.
- viii Solid Edge Download unter https://www.plm.automation.siemens.com/de_at/.
- ix 123Design Download unter <http://www.123dapp.com/design>.
- x Erklärung zur Attribution-NonCommercial-ShareAlike-Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.
- xi Download Sketchup unter <http://www.sketchup.com/de/download>.
- xii Entstehungsgeschichte von Sketchup unter <http://www.sketchup.com/de/about/sketchup-story>.
- xiii Pro-Version für Lehrkräfte unter <http://www.sketchup.com/de/education>.
- xiv Download OpenSCAD unter <http://www.openscad.org>.
- xv Heise-Webseite: <http://www.heise.de/>.
- xvi Download SCAD unter <https://blockscad.einsteinsworkshop.com/>.
- xvii Prezi-Webpräsentation unter <http://www.heise.de/make/artikel/Flaschenclip-mit-OpenSCAD-so-geht-s-2696993.html>
- xviii Online-Account von TinkerCad unter <https://www.tinkercad.com/>.
- xix Download ZBrush unter <http://pixologic.com/zbrush/downloadcenter/>.
- xx Download Sculptri ebenfalls unter <http://pixologic.com/zbrush/downloadcenter/>.
- xxi Online-Account von SculptGL unter <http://stephaneginier.com/sculptgl/>.
- xxii Download Blender unter <https://www.blender.org>.
- xxiii Download Netfabb unter <http://www.netfabb.com/>.
- xxiv Online-App unter <https://netfabb.azurewebsites.net/>.
- xxv Download Meshmixer unter <http://www.meshmixer.com>.
- xxvi Online-Hilfen unter <http://www.meshmixer.com/help/index.html>.
- xxvii Download MeshLab unter <http://meshlab.sourceforge.net/>.
- xxviii Download Slic3r unter <http://slic3r.org/download>.
- xxix Download OctoPrint unter <http://octoprint.org/>.
- xxx Download Repetier-Host unter <https://www.repetier.com/>.
- xxxi Download Cura unter <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>.
- xxxii Liste der FabLabs unter <http://wiki.fablab.is/wiki/Portal:Labs> oder <https://3druck.com/labs>.
- xxxiii zdi-Portal unter <http://www.zdi-portal.de/>.
- xxxiv Liste an 3D-Druck-Dienstleistern unter <https://www.3dhubs.com/> oder <https://3druck.com/dienstleister/>.
- xxxv Weitere Informationen zum RepRap-Druckerbausatz unter <http://reprap.org/wiki/RepRap/de>.
- xxxvi Online-Magazin 3Druck.com unter <http://3druck.com>. Vergleich der Filamente unter <http://3druck.com/lieferanten-haendler/fdm-3d-druck-abs-oder-pla-sind-die-unterschiede-2020380/>.
- xxxvii Vergleich der Emissionen von 3D- und Laserdrucker unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086>.
- xxxviii RISU NRW unter <http://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/nutzersicht/materialeintrag.php?matId=4848&marker=Richtlinien>.
- xxxix Lebensmittelechter Kunststoff für 3D-Drucker unter: <http://3druck.com/3d-druckmaterialien/pp-filament-lebensmittelechter-kunststoff-fuer-3d-drucker-bei-german-reprap-erhaeltlich-5813999/>.
- xl Download Octoprint unter <http://www.octoprint.org>.
- xli Download Repetier-Host unter <https://www.repetier.com/>.
- xl ii Druckerherstellere Lösung zur Drucküberwachung z.B. unter <http://support.3dverkstan.se/article/23-a-visual-ultimaker-troubleshooting-guide>.
- xl iii Lehrplan Gestaltungstechnik unter http://www.berufsbildung.nrw.de/cms/upload/_lehrplaene/d/gestaltungstechn-fos_40192.pdf, S.17, aufgerufen am 15.03.2016
- xl iv Rietveld-Stuhl unter <http://www.design-museum.de/de/sammlung/100-masterpieces/detailseiten/zig-zag-gerrit-thomas-rietveld.html>, aufgerufen am 15.03.2016

- ^{xlv} Vgl. <http://www.heise.de/ct/ausgabe/2013-14-3D-Modelle-aus-Fundstuecken-collagieren-2319695.html>.
^{xlvi} RepRap-Projekt unter <http://reprap.org/wiki/RepRap/de>.
^{xlvi} Vgl. <http://www.design-museum.de/de/sammlung/100-masterpieces/detailseiten/zig-zag-gerrit-thomas-rietveld.html>, aufgerufen am 08.02.2016.

Abbildungsnachweis

Alle Grafiken, Fotos und Screenshots, die keinen Nachweis in der Bildunterschrift tragen, wurden von den Autoren der Handreichung erstellt. Das Copyright hält QUA-LiS NRW.