

# EINFÜHRUNG IN DEN 3D-DRUCK

## *Tolle Ideen durch greifbares Design*

*Handbuch von Create It Real*

### Inhaltsverzeichnis:

Einführung	2
FDM 3D 3D-Druck	2
Terminologie	3
Dateiformate	4
3D-Drucker	4
CAD-Modellieren mit Tinkercad	5
Design-Aufgabe 1: Namensschild	5
STLs, Slicers und 3D-Druck	10
Überhänge	12
Ausrichtung	13
Intelligentes Design	13
Füllung und Konturen	14
Design-Aufgabe1: Zeichen-Aufgabe - Stärke-	16
Typen und 3D-Druck	
Design-Aufgabe 2: eine Autobahnbrücke	18
Anforderungen	18
Design und Druck	18
Berechnungen und Messungen	19
Selbsteinschätzung und Reflexion	19
Wie man in einem Projekt Struktur und	21
Freiheit in Einklang bringt	
Was sagt die Literatur?	21
Das Oresmische Koordinatensystem	23
Zusammenfassung	24



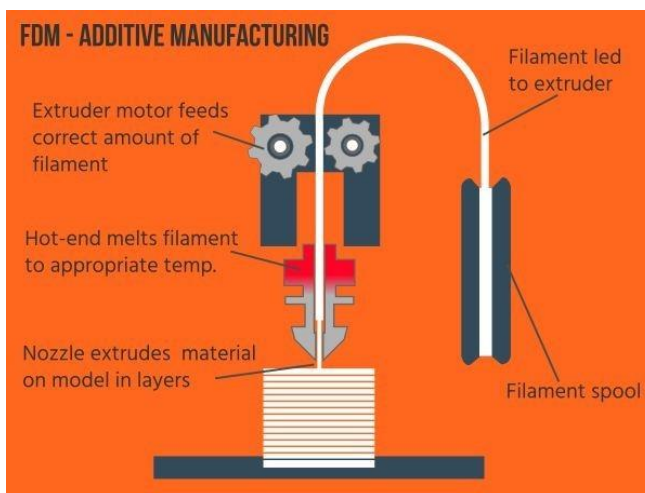
## Einführung

3D-Drucker dringen immer häufiger in Klassenräume und Bildungseinrichtungen ein, von der Grundschule bis zur Universität. Die Technologie bietet vielversprechende Möglichkeiten, die virtuelle Welt mit der physischen zu verbinden, indem sie die Möglichkeit aufzeigt, die auf einem Computer erstellten digitalen Designs zum Leben zu erwecken. Der Weg, Technologie erfolgreich in den Unterricht zu integrieren und sie zu einem allgegenwärtigen Werkzeug für jedermann zu machen, kann jedoch entmutigend sein. Dieser Leitfaden ist ein Versuch, diese Reise zu vereinfachen und den Punkt zu erreichen, an dem kraftvolle Ideen durch die revolutionäre Technologie des 21. Jahrhunderts vermittelt werden können.

Der Prozess der Inbetriebnahme von 3D-Druckern muss immer Schulleiter, Lehrer und natürlich Schüler mit einbeziehen. Dies macht es zu einer Aufgabe, die immer ressourcenintensiv ist, unabhängig davon, wie viel Unterstützung aus verschiedenen Bereichen gewährt wird.

Der Nutzen kann jedoch enorm sein. Diese Sammlung von Seiten enthält auch Beispiele für Unterrichtspläne, die mit hervorragenden Ergebnissen in Unterrichtsumgebungen getestet wurden. Während dieser Sitzungen vertieften sich die Schüler in die Projekte und es wurden viele interessante und fundierte Lernergebnisse beobachtet.

## FDM Druck



Obwohl es für den 3D-Druck verschiedene Technologien gibt, werden häufig FDM- oder FFF-3D-Drucker eingesetzt. Andere Systeme wie SLA und SLS sind oft zu teuer oder unpraktisch für den Unterricht. Der FDM-3D-Druck funktioniert nach einem einfachen Prinzip, bei dem ein Druckkopf bewegt wird, während Kunststoff extrudiert wird und somit Objekte Schicht für Schicht aufgebaut werden. Einerseits gibt es viele einfache Prinzipien, andererseits

können die Besonderheiten des 3D-Drucks auch sehr kompliziert werden.

Bei der Verwendung dieses Herstellungsverfahrens können viele Probleme auftreten, für die es jedoch verschiedene Lösungen gibt. In diesem Kapitel werden einige davon vorgestellt. Es wird ein Vokabular für Schlüsselbegriffe des FDM-3D-Druck bereitgestellt und auf andere Quellen verwiesen. Die 3D-Druck-Community ist beim Teilen sehr aktiv, was bedeutet, dass für nahezu jeden Aspekt des FDM-3D-Drucks umfangreiches, hochwertiges Online-Material verfügbar ist.

## Terminologie<sup>1</sup>

Da der 3D-Druck immer noch ein relativ neues Gebiet ist, kann die Terminologie verwirrend oder sogar widersprüchlich sein. Im Folgenden finden Sie eine relativ kurze Liste mit Begriffen, die Ihnen den Einstieg erleichtern können. Die Liste bietet keine Garantie auf Vollständigkeit, aber gute Online-Quellen.

### **Additive Fertigung**

Bei der additiven Fertigung wird jeweils eine dünne Schicht eines dreidimensionalen Objekts aufgebaut. Der 3D-Druck ist nur eine Kategorie der additiven Fertigung, obwohl die beiden Begriffe häufig als gleichbedeutend angesehen werden.

### **Computer Aided Design (CAD)**

Computer Aided Design (CAD) ist eine Software, mit der Benutzer Modelle in zwei- oder dreidimensionalen Formaten erstellen können. Während CAD ursprünglich für den Einsatz in der Architektur- und Fertigungsindustrie entwickelt wurde, sind verbraucherfreundliche Anwendungen jetzt für wenig oder keine Kosten verfügbar.

### **FFF – Fused Filament Fabrication** (Herstellung von verschmolzenen Filamenten)

FFF ist eine additive Fertigungstechnologie, die auf dem Prinzip der schichtweisen Materialverlegung basiert. Sie hat Ähnlichkeiten mit dem Begriff FDM (Fused Deposition Modeling), FDM ist jedoch ein Markenzeichen. Daher wird ab diesem Zeitpunkt FFF verwendet.

### **Filament**

Filament ist das Material, das für den 3D-Druck verwendet wird. Es hat die Form eines Drahtes und wird normalerweise auf einer Spule aufgewickelt. Meist aus verschiedenen Kunststoffen bestehend.

### **PLA (Polylactic acid) - Polymilchsäure**

Ein harter, geruchloser Biokunststoff mit geringer Umweltbelastung. Es wird aus nachwachsenden Rohstoffen auf Stärkebasis gewonnen. PLA hat eine sehr geringe Schrumpfung, die sich ideal für 3D-Modelle und das Prototyping zu Hause eignet.

### **Ebenenauflösung**

Die Ebenenauflösung (oder Ebenenhöhe) beschreibt die Dicke einer Ebene des 3D-Drucks.

### **Slicing**

Der Prozess des Konvertierens eines 3D-Modells, z. B. einer STL-Datei, in eine druckbare Datei, z. B. einen G-Code oder einen F-Code. Das Modell wird in „Schichten“ unterteilt, sodass der 3D-Drucker es Schicht für Schicht aufbauen kann. Beispiele für Slicer sind: Cura, Slic3r, Simplify 3D und Create it REALs eigener Slicer REALvision.

<sup>1</sup> Diese Liste ist durch Inspiration folgender Quellen entstanden: <https://ultimaker.com/en/resources/11720-terminology>  
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/definitive-3d-printing-glossary> <https://all3dp.com/1/3d-printing-terms-terminology-glossary/>

## Dateiformate

- **STL**

.stl ist ein sehr weit verbreitetes 3D-Druck-Format

- **G-Code**

Der G-Code ist ein Dateiformat, das für 3D-Druck Modelle nach dem Slicing verwendet wird.

- **F-Code**

Der F-Code ist ein Dateiformat, das von Create it REAL für hohe Geschwindigkeiten verwendet wird. Der F-Code ist ein niedriger Code als der G-Code und wird vor allem auf der Create it REAL Plattform verwendet.

## 3D-Drucker

- **Extruder**

Allgemein gültiger Name für die Teile die, die Extrusion des Filaments kontrollieren. Ein Extruder ist der Teil des 3D Druckers der das Filament von der Spule (Filament Rolle) in das sogenannte Hotend einführt.

- **Druck-Kopf (print head)**

Der Teil des 3D-Druckers, bei dem das Material herausgedrückt wird. Es besteht aus mehreren Komponenten einschließlich der Spritzdüse beim FFF

- **Düse (nozzle)**

Der Teil des Druckers, aus dem das flüssige Material herausgepresst wird.

- **Druckbett**

Die Begriffe Druckerbett oder build plate werden auch abwechselnd gebraucht. Es handelt sich um eine flache Oberfläche, auf die die Objekte schichtweise aufgebaut werden.

- **Bettleveling**

Druckbettleveling (auch Kalibrieren genannt) ist das Ausrichten des Druckbettes, damit es den richtigen Abstand zur Düse hat und somit das Objekt nicht anklebt. Je nach Druckermodell kann dies automatisch oder manuell erfolgen.

- **XYZ/Koordinaten-Achse**

Beim 3D-Druck wird in den meisten Fällen das 3D-Koordinatensystem verwendet (x und y als Fläche und z die Höhe, in welche die Schicht aufgebaut wird. Ausnahmen sind das Delta- und das Bipolarsystem.

- **Schrittmotoren**

Schrittmotoren sind am häufigsten verwendeten Motoren, um einen 3D-Drucker zu steuern. Ein 3D-Drucker besteht meistens aus mindestens vier Schrittmotoren, einer an jeder Achse und ein weiterer um das Filament einzuführen.

- **Steuerung**

Um einen Drucker zu steuern bedarf es einer Druckerplatine mit Steuerungssoft- und Hardware. Create It Real hat seine eigene Hauptplatine (Bluefin) zur Druckersteuerung entwickelt und gebaut. Aber auch verschiedene Arduino-Platinen werden für 3D-Druck verwendet.

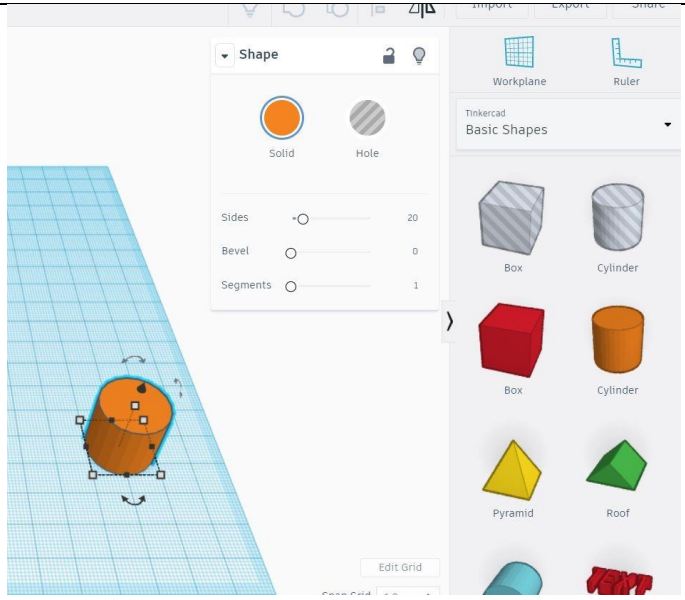
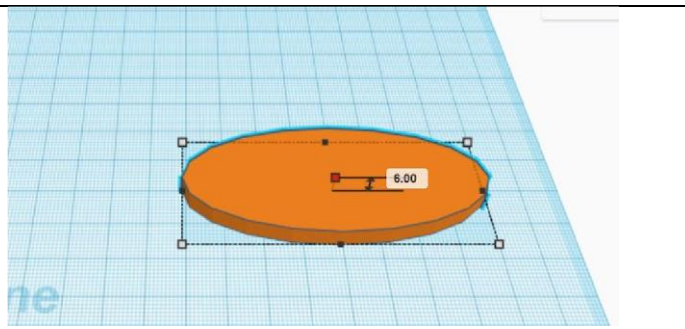
## CAD Modelling mit Tinkercad

Tinkercad ist eine kostenlose Online-CAD-Modellierungssoftware, die einfach zu erlernen ist und mit der man bei der Modellierung von 3D-Druck-Objekten sehr weit kommen kann. Tinkercad kann auch zum Entwerfen von Objekten für das Laserschneiden verwendet werden und ist in manchen Fällen sogar mit Minecraft kompatibel.

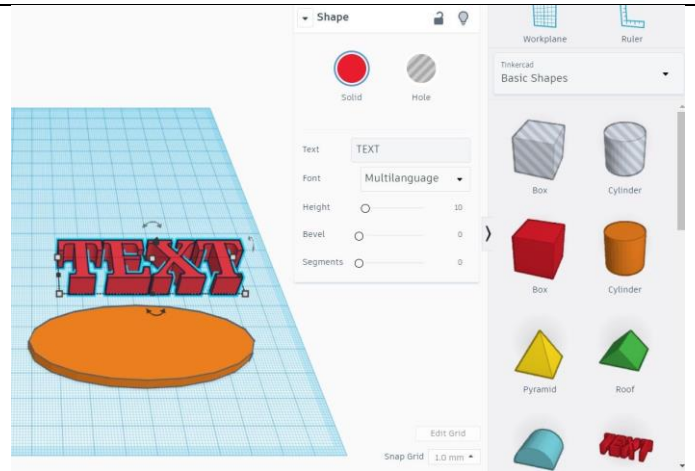
Das Grundprinzip von Tinkercad besteht darin, eine beliebige Geometrie zu erstellen, indem vordefinierte Formen kombiniert und bearbeitet werden. Aufgrund der einfachen Drag-and-Drop-Funktion kann die Software auch kleinen Kindern beigebracht werden. Dies wird als CSG-Modellierungswerkzeug bezeichnet (dazu später mehr).

### Design-Aufgabe 1: Namensschild

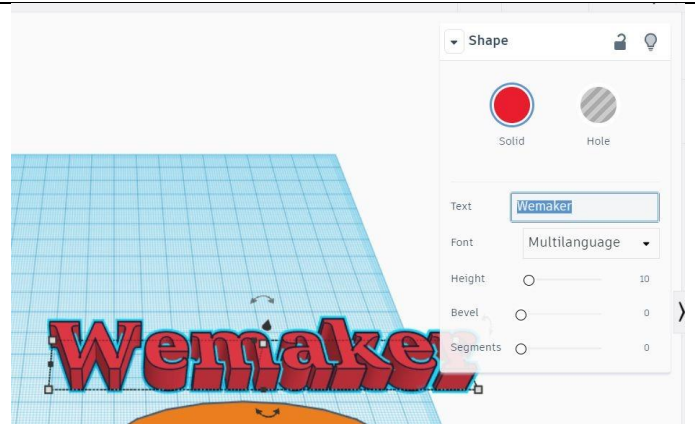
Die einfachste Art, sich mit Tinkercad vertraut zu machen, ist, damit etwas zu entwerfen. Daher werden wir ein Namensschild herstellen, um es in den folgenden Workshops zu verwenden.

Schritt	
<p><b>Schritt 1:</b> Wähle per Drag-and-drop eine Grundform für das Namensschild.</p>	
<p><b>Schritt 2:</b> Bearbeite die Form mit Hilfe der weißen quadratischen Widgets an den Rändern, um eine flache, längliche Platte zu erhalten.</p>	

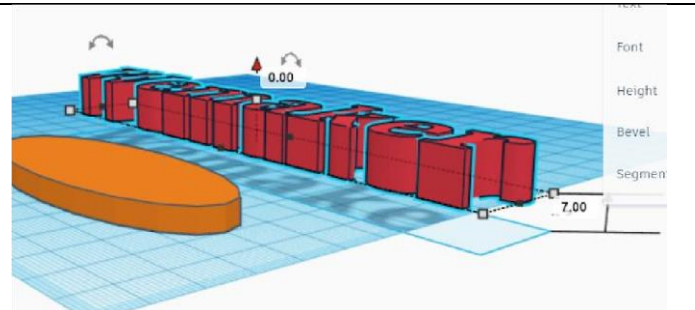
**Schritt 3:** Ziehe den Texteditor rein.



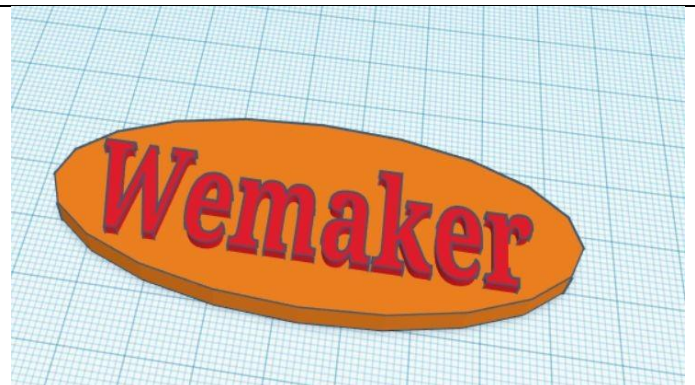
**Schritt 4:** Verwende das Fenster "Aktuelle Formeinstellungen", um deinen Namen zu schreiben. Das Objekt ändert sich entsprechend.



**Schritt 5:** Verwende den oberen Pfeil, um den Text nach oben zu bringen.

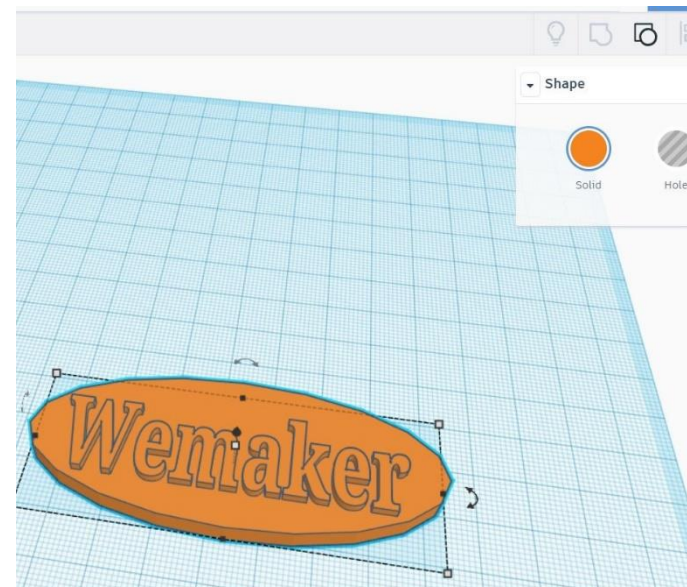
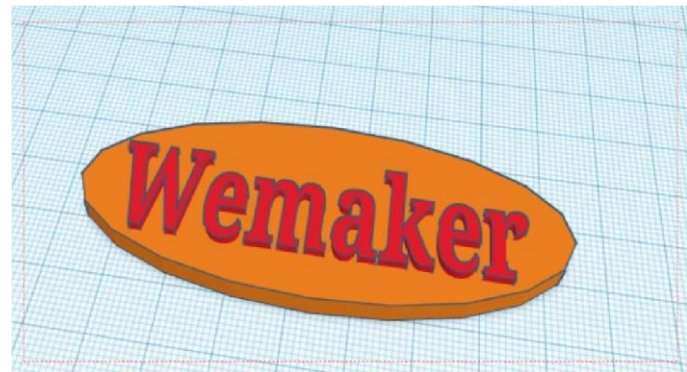
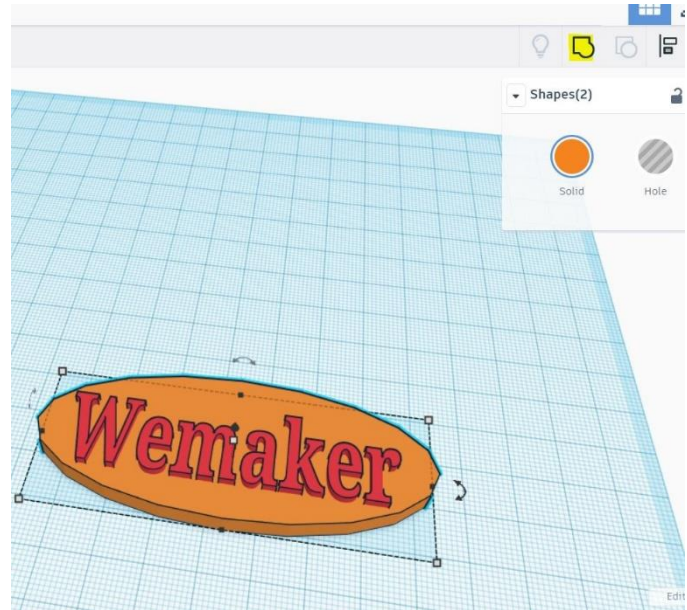


**Schritt 6:** Lege den Text oben auf die Platte. Sie können die Widgets erneut verwenden, um sie auf die Größe der Platte zu skalieren



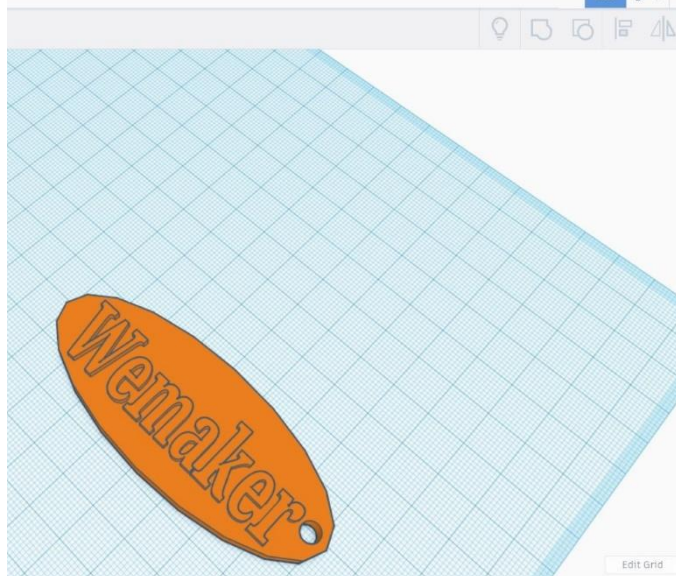
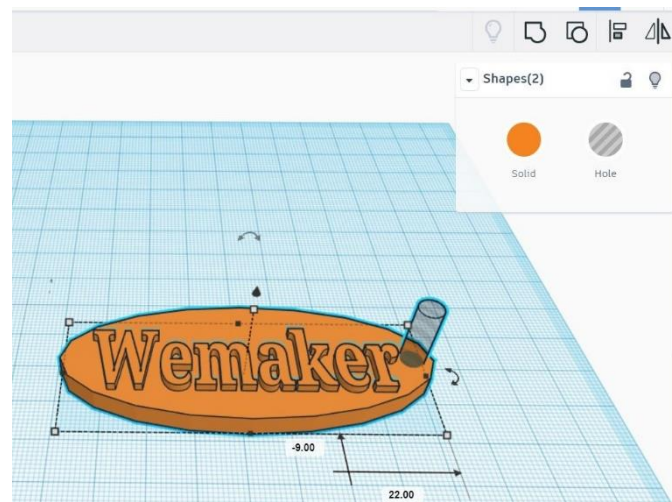
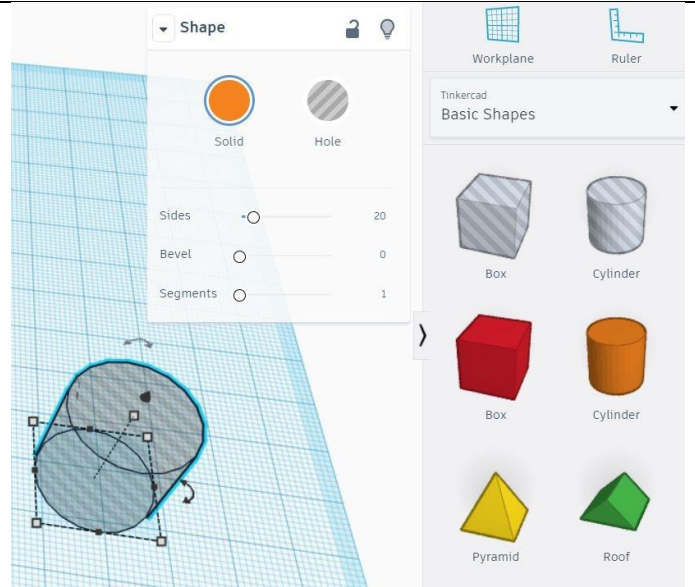


**Schritt 7:** Gruppiere die Modelle, indem du beide auswählst und die Gruppentaste drückst.



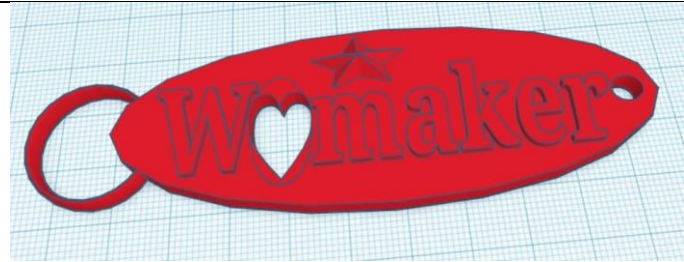
**Schritt 8:** Mach' ein rundes Loch im Namensschild, indem du einen Zylinder hineinziehst und ihn von „durchgehend“ in „Loch“ änderst.

Ändere die Größe und platziere es an der Stelle, an der sich das Loch befinden soll. Gruppiere die Objekte.

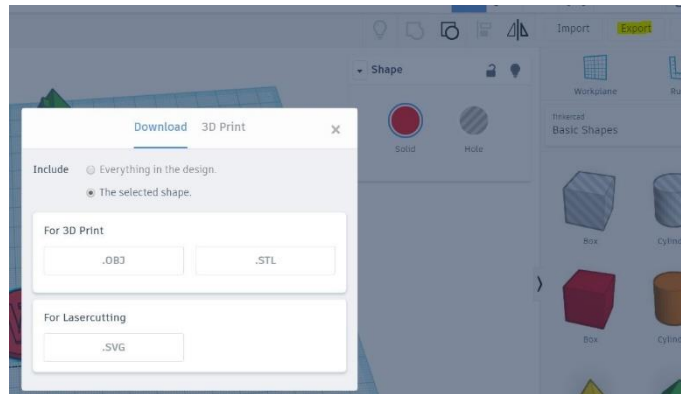




**Schritt 9:** Erkunde Tinkercad und dekoriere dein Namensschild.



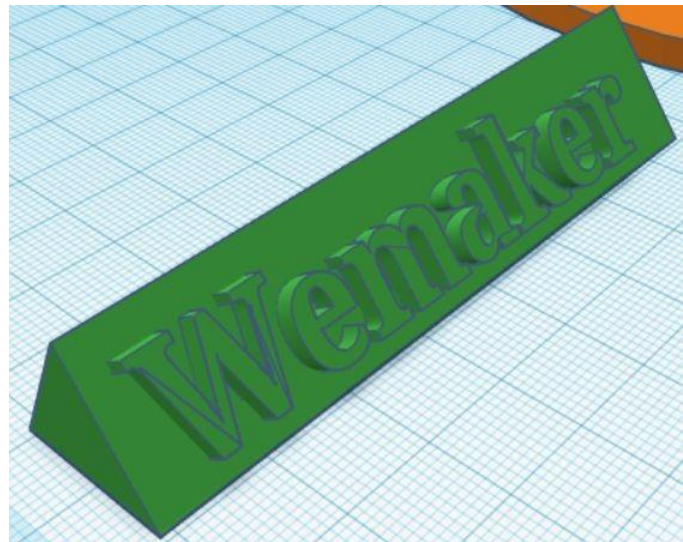
**Schritt 10:** Wenn du bereit bist, dein Namensschild zu drucken, klicke oben rechts auf die Schaltfläche "Exportieren" und exportiere das Modell im STL-Format. Jetzt kannst du dein Namensschild drucken.



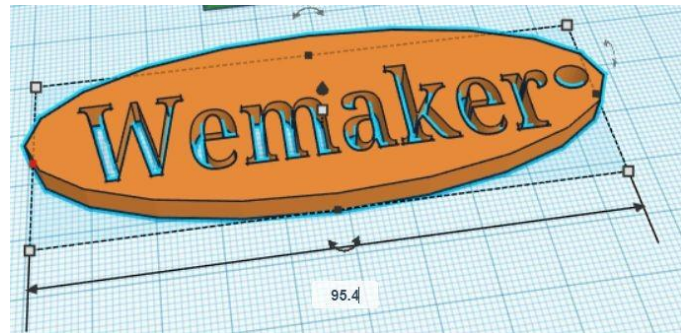
**EXTRA 1:** Entwirf den Text so, dass man durch ihn durchschauen kann (hohl). Denke daran, dass jede Form von einem „Volumenkörper“ in ein „Loch“ umgewandelt werden kann.



**EXTRA 2:** Mache ein keilförmiges Namensschild. Verwende dazu die Arbeitsebene.

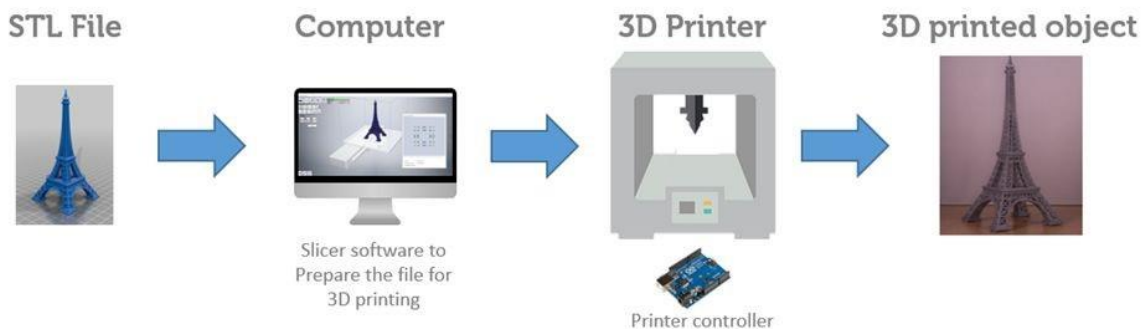


**EXTRA 3:** Mache das Namensschild genau 95,4 mm lang.



### STLs, Slicer und 3D-Druck

Wir haben STLs und Slicing bereits kurz erwähnt. In diesem Abschnitt werden wir uns jedoch eingehender mit dem Thema befassen und untersuchen, wie STLs und Slicer zusammenarbeiten, um ein 3D-gedrucktes Objekt zu erstellen. Unten sehen Sie ein kleines Diagramm, das die Schritte und die Reihenfolge des Prozesses erläutert.



Das STL-Dateiformat repräsentiert nur die Oberfläche des Objekts. Eine STL kann von den meisten 3D-Modellierungssoftwares erstellt werden und ist dabei, zum Standard der 3D-Druckindustrie zu werden. Es gibt auch mehrere Websites mit einer umfangreichen Bibliothek von STL-Dateien, die kostenlos heruntergeladen werden können.

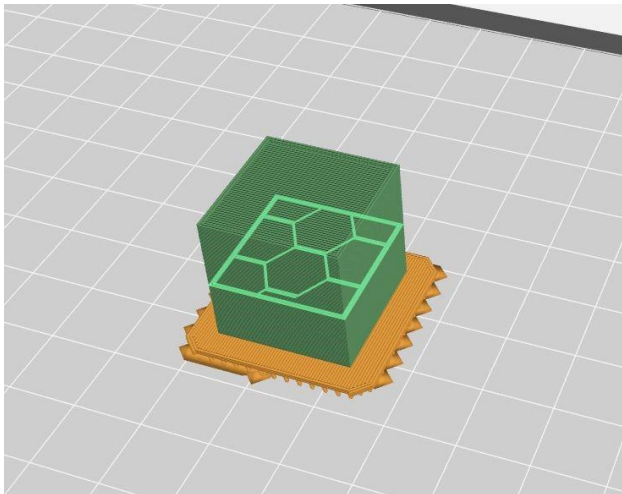
Zu diesen Websites gehören:

<https://www.thingiverse.com>: Diese Website wurde von Makerbot erstellt und seitdem von Stratesys gekauft. Es bietet eine große Sammlung kostenloser Modelle und jeder kann Dateien direkt auf die Seite hochladen.

<https://www.myminifactory.com/> : Eine Website mit Designs, die für den 3D-Druck getestet wurden. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Qualität des Inhalts ziemlich hoch ist.

<http://www.yeggi.com/> Eine Website, auf der Dateien frei geteilt, aber auch von Designern verkauft und gekauft werden können.

Die STL-Datei wird häufig in eine Slicing-Software geladen, wo sie in ein Dateiformat konvertiert wird, das sich auf die Bewegung und Extrusion des 3D-Druckers bezieht (häufig G-Code oder im Fall-F-Code von Create It REAL). Die Slicing-Software konvertiert das Modell jedoch nicht unbedingt eins zu eins in ein 3D-gedrucktes Objekt. Zum Beispiel sind die meisten 3D-gedruckten Objekte nicht fest. Dies liegt daran, dass der Hobel das Modell in ein Objekt verwandelt, das eine feste Hülle, aber einen teilweise hohlen Innenbereich aufweist. Unten sind ein Quadrat mit sechseckiger Füllung und eine äußere Hülle zu sehen. Mit den meisten Slicing-Programmen kann man auch bestimmte Manipulationen am Objekt vornehmen, z. B. Skalieren, Spiegeln, Drehen usw.

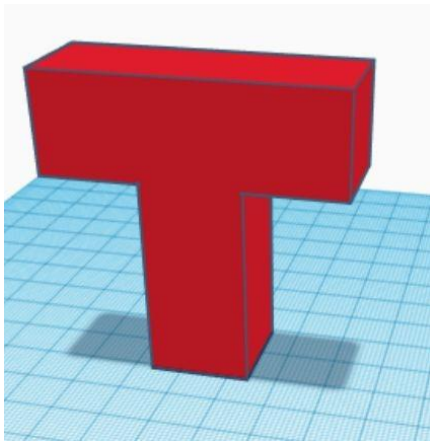


Slicing-Software verfügt jedoch auch über erweiterte Funktionen, mit denen der Benutzer detaillierte Spezifikationen für den Drucker festlegen kann, z. An dieser Stelle wird hier nicht näher darauf eingegangen, wie man einen Slicer für einen Drucker und ein Material von Grund auf einrichtet. Stattdessen werden die folgenden Themen behandelt: Füllung, Unterstüzung und äußere Schichten (ab diesem Punkt als „Konturen“ bezeichnet).

Wenn Sie diese dem Schüler beibringen, schlagen wir vor, dass diese eine Design-Aufgabe erhalten. Wenn die Schüler zu Beginn der Aufgabe schon zu viel Wissen geliefert bekommen, kann sich dies negativ auf den Unterricht auswirken. Wir haben es als gute Praxis empfunden, dass die Schüler zunächst Hand anlegen und erst über diese Dinge informiert werden, wenn sie etwas entworfen und gedruckt haben, um es dann mit ihrer realen Erfahrung in Verbindung zu bringen.

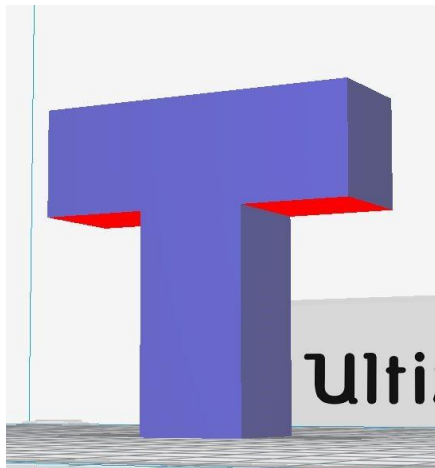


## Überhänge

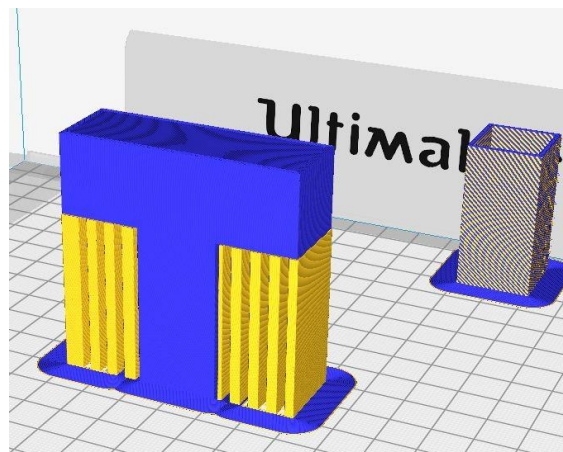
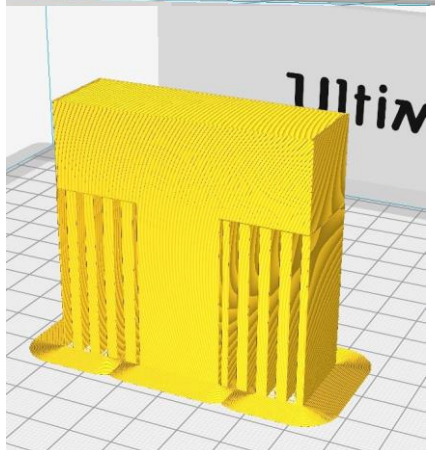


Betrachten wir das Objekt links. Es ist eine Form, die dem Buchstaben "T" ähnelt. Hier gibt es aber ein Problem, nämlich die "Überhänge". Überhänge sind Teil eines 3D-Objekts, das nicht von darunter liegenden Ebenen unterstützt wird. Das Laden dieses Modells in Cura führt zu dem, was unten zu sehen ist.

Beachten Sie, dass die Oberflächen unter den Überhängen rot gefärbt sind, um zu signalisieren, dass sie problematisch sind. Wenn das Kontrollkästchen "Unterstützung generieren" aktiviert ist und das Modell in "Ebenenansicht" geändert wird, wird dies angezeigt. Es ist ein Rendering der generierten Unterstützungen. Die Unterstützung ist eine Möglichkeit, mit Überhängen umzugehen, und wie zu sehen ist, wird lediglich Material hinzugefügt, das nach dem Drucken entfernt werden kann.



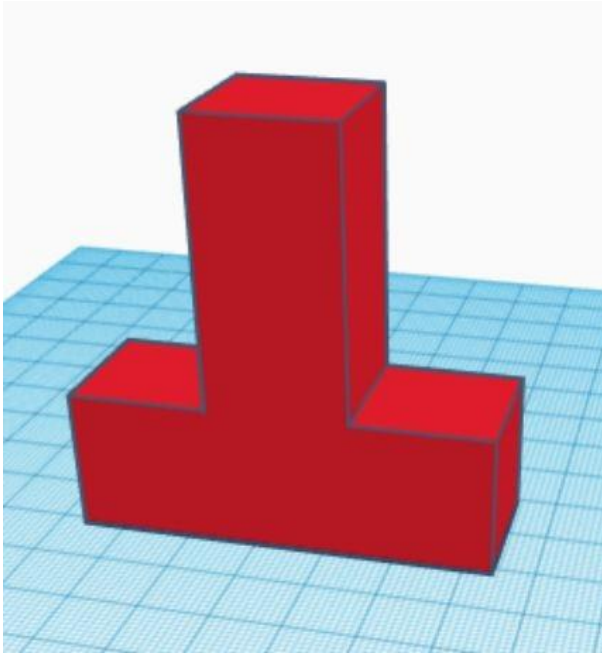
Je nach 3D-Drucker, Filament und den verschiedenen Unterstützungsparametern kann es manchmal schwierig sein, die Unterstützung zu entfernen. Darüber hinaus ist es materialverschwendend und das Drucken dauert länger. Die Druckzeit kann von Slicer zu Slicer und von Drucker zu Drucker sehr unterschiedlich sein. Einige Drucker verfügen über die Option "Doppelextrusion", bei der ein Extruder Trägermaterial und der andere beispielsweise PLA extrudieren kann.



Unten ist ein Screenshot von Cura mit dem Ultimaker 3 zu sehen. Hier sind die Träger in einem wasserlöslichen Material gedruckt. Dies bedeutet, dass das Objekt in Wasser eingetaucht werden kann und sich das Trägermaterial mit der Zeit auflöst. Mit den von Ultimakers empfohlenen Einstellungen dauert das Drucken dieses Objekts jedoch 9,5 Stunden.



## Ausrichtung

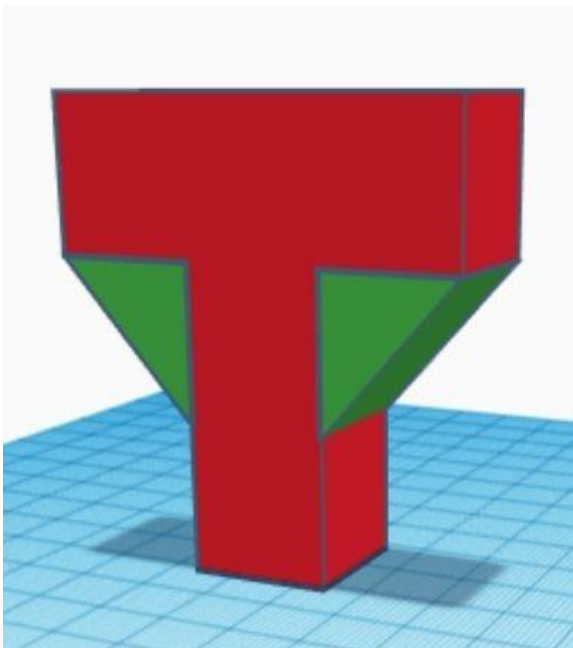


Eine andere Möglichkeit, mit Überhängen umzugehen, besteht darin, einfach die Ausrichtung des Modells zu betrachten. Einige Modelle können in der Tat einfach um eine oder mehrere Achsen gedreht werden und sind dann leichter druckbar. In der Regel ist dies der Unterstützung vorzuziehen, da kein Material verschwendet wird und das Drucken weniger Zeit in Anspruch nimmt. Man muss jedoch über den 3D-Druckprozess und die Herstellungsmethode nachdenken.

Dies kann sehr positiv sein, da es ein wichtiger Aspekt bei jeder Art von physischem Design ist, der bei der Produktion berücksichtigt werden muss. Dieses Fach wird in der Regel erst an der Universität unterrichtet, da es als schwieriges und fortgeschrittenes Thema gilt. Mit dem 3D-Druck kann dies jedoch ein natürlicher Bestandteil des Designprozesses, sogar bei

Kindern, werden. Das Spiegeln eines Modells kann normalerweise sowohl in der CAD-Software als auch in der Slicing-Software erfolgen. In der Slicing-Software kann jedoch der Einfluss der Ausrichtung auf den Materialverbrauch und die Druckzeit direkt beobachtet werden. Nachdem man eine Weile lang Teile für den 3D-Druck entworfen hat, bekommt man normalerweise ein „Gefühl“ dafür und schaut sich natürlich ein Modell an und denkt instinktiv darüber nach, wie es ausgerichtet werden kann, um den Bedarf an Unterstützung zu minimieren oder zu beseitigen.

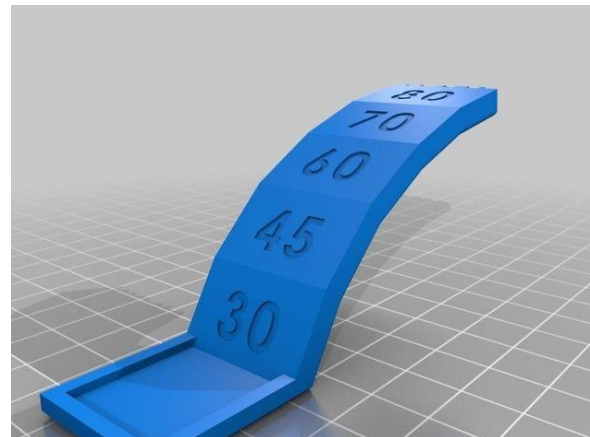
## Intelligentes Design



Das Entwerfen eines Modells unter ständiger Berücksichtigung des 3D-Druckprozesses kann als die höchste Ebene für den Umgang mit Überhängen angesehen werden, da Modelle mit geringen oder keinen Überhängen entworfen werden. Wie auf der rechten Seite zu sehen ist, wurde das Modell geändert, um den Überhängen Rechnung zu tragen. Auf dem Bild links wird die Tatsache ausgenutzt, dass FFF 3D-Drucker tatsächlich kleine Überhänge drucken können. Wie gut ein Drucker Überhänge druckt, hängt stark davon ab, wie schnell sich das Filament abkühlen lässt, wie schnell der Drucker ist, welches Material verwendet wird und vieles mehr. Es können verschiedene Testdrucke durchgeführt werden, um die Leistung der einzelnen Druckereinstellungen zu ermitteln. Wie bereits erwähnt, ist das intelligente Entwerfen eines Teils im Hinblick auf die Grenzen einer Produktionsmethode grundsätzlich von großem

Wert, unabhängig davon, ob es sich bei der Produktionsmethode um 3D-Druck, CNC-Bearbeitung, Laserschneiden oder handelt.

In einigen Fällen kann dies jedoch die ursprüngliche Absicht des Modells verzerren. Schauen Sie sich das Modell oben an. Wird es nach dem Drucken wie ein Buchstabe T aussehen?



Überhänge können somit auf vielfältige Weise und in mehreren verschiedenen Bereichen des 3D-Druckprozesses behoben werden. Darunter befindet sich eine kleine Tabelle, die zeigt, wann die verschiedenen Methoden zum Umgang mit Überhängen angewendet werden. Die Bridge-Lektion, die als nächstes beschrieben wird, ist normalerweise eine gute Lektion, um die Schüler mit dem Konzept der Überhänge vertraut zu machen. Normalerweise besteht der erste Instinkt für Studenten, die mit 3D-Druck noch nicht vertraut sind, darin, die Brücke so zu gestalten, wie Sie es in der Welt sehen. Wir empfehlen, dass die Schüler tatsächlich Fehler machen und Objekte drucken dürfen, obwohl Sie als Lehrer möglicherweise wissen, dass dies fehlschlagen wird. Es kann für den Schüler oft einfacher sein, das Wissen über den Umgang mit Überhängen in Beziehung zu setzen, wenn er es mit einer tatsächlichen Erfahrung des Sehens eines fehlerhaften Ausdrucks in Beziehung setzen kann, anstatt mit einer langen, von vorne geladenen Lektion darüber.

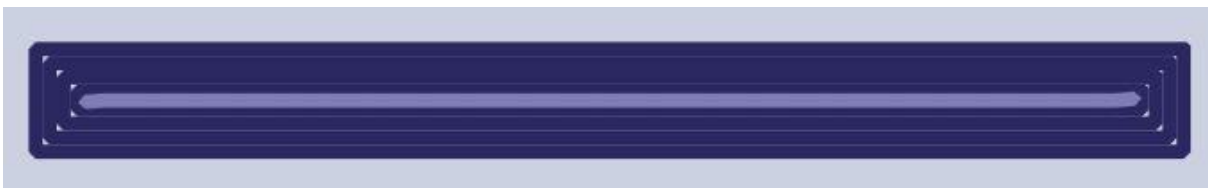
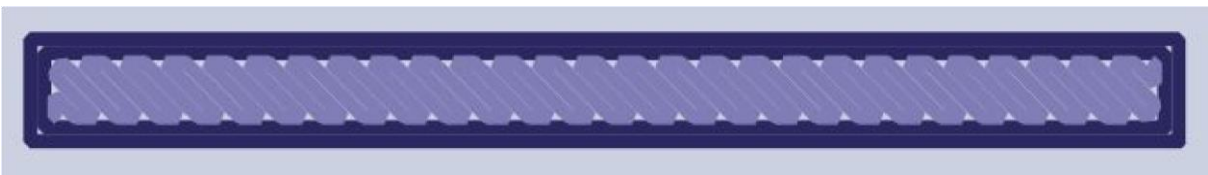
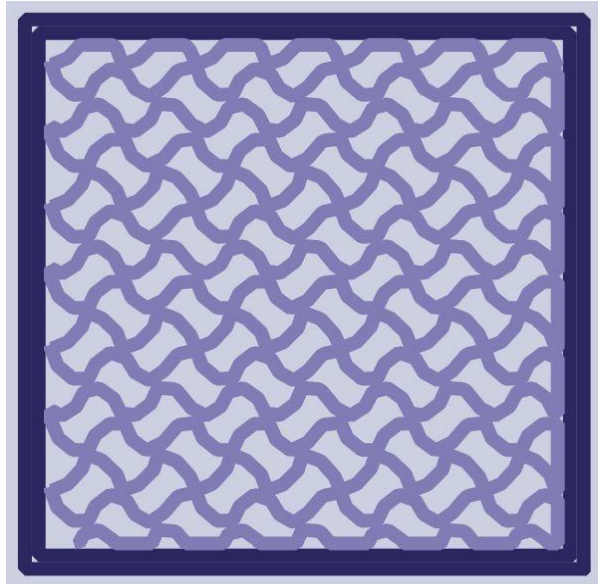
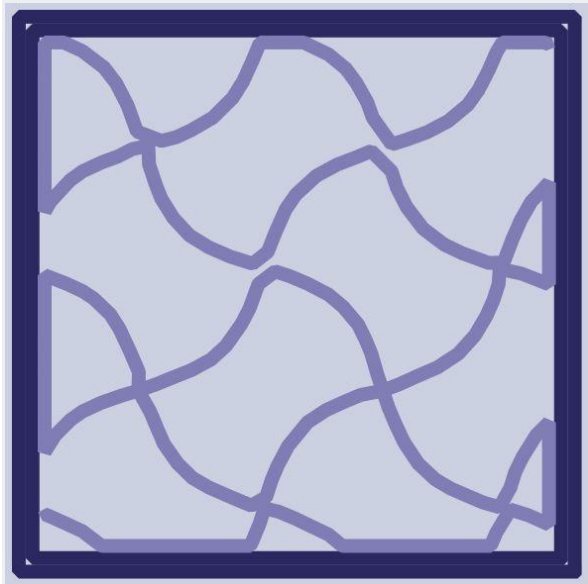
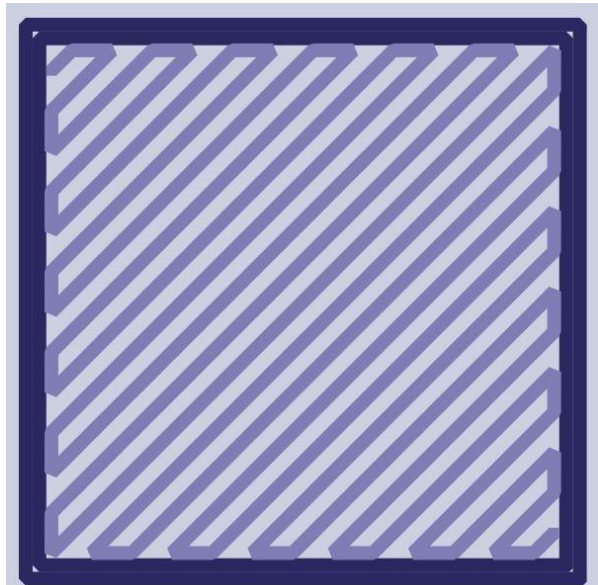
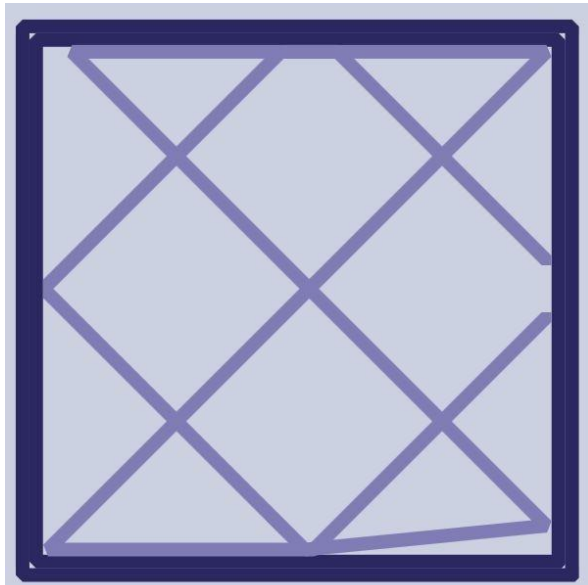
Methode	CAD/Design SW	Slicer	Nach dem Druck
Support hinzufügen	Manueller Support	Automatischer Support	polieren
Änderung der Ausrichtung	Design für 3D Drucker-Ausrichtung	drehen und spiegeln	
Intelligentes Design	Entwerfen mit geplantem 3D-Druck		

## Füllung und Konturen

Füllung und Konturen Meistens werden 3D-Druckobjekte nicht als Vollkörper gedruckt, sondern als Hülle mit einer größtenteils hohlen Innenseite. Die Innenseite besteht aus einer Struktur aus Druckmaterial, die als Füllung bezeichnet wird. In der Slicing-Software kann die Dichte dieser Füllung normalerweise gesteuert werden. Die Standardfüllung beträgt normalerweise etwa 20%, was bedeutet, dass 20% der inneren Geometrie des Objekts aus Kunststoff bestehen.

Die restlichen 80% sind hohle Luftblasen. Für Objekte, die keine wesentliche strukturelle Integrität erfordern, ist dies normalerweise ausreichend. Die Füllichte kann jedoch erhöht werden, um eine höhere Festigkeit zu erzielen. Der Nachteil ist, dass dies den Materialverbrauch und die Druckzeit erhöht. Es gibt verschiedene Füllungsarten. Die häufigste und eine der einfachsten ist die quadratische Füllung. Es gibt jedoch auch andere Füllungsarten, die dem Objekt interessante Eigenschaften verleihen können. Unten sehen wir ein Beispiel für die quadratische Füllung bei 15% und 50% und die

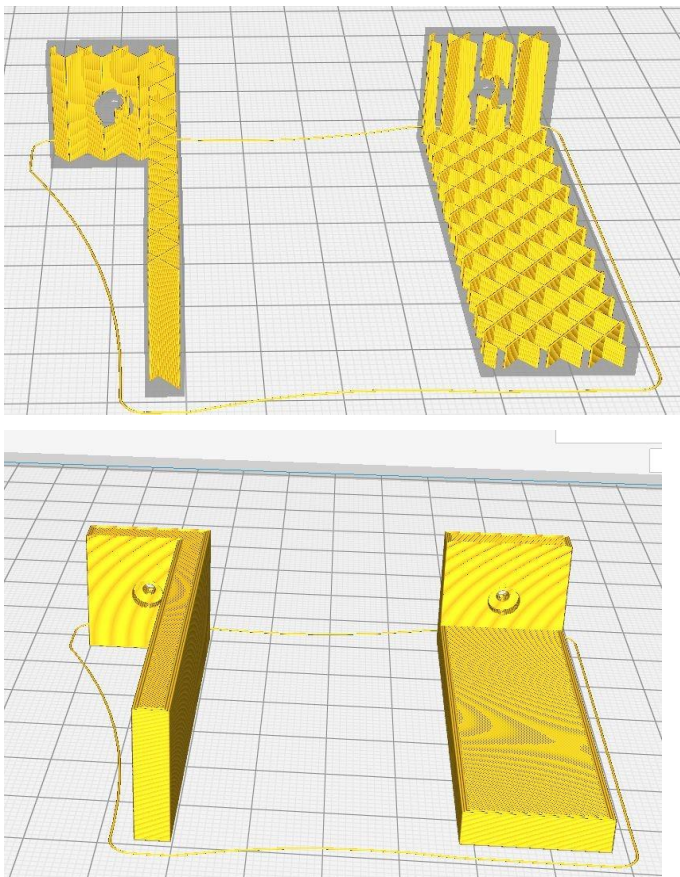
Gyroid-Füllung bei 15% und 50%. Der Gyroid hat viele interessante Eigenschaften und Anca beantwortet gerne alle Fragen zu diesem und anderen Füllungsarten.





Die Füllung ist jedoch nicht die einzige Determinante für die Stärke eines Objekts. Die äußere Hülle oder die Anzahl der Konturen kann auch einen großen Einfluss darauf haben, wie stark ein Objekt ist. Oben ist eine einzelne Scheibe desselben Objekts zu sehen. Der einzige Unterschied zwischen den beiden besteht darin, dass das untere Objekt mit 4 Konturen geschnitten wird, während das obere Objekt mit 2 Konturen geschnitten wird. Die erhöhte Anzahl von Konturen kann die Festigkeit tatsächlich ziemlich stark erhöhen.

Unten ist ein Beispiel einer sehr einfachen Klammer in Cura zu sehen, auf dem oberen Bild ist nur die Füllung und auf dem unteren Bild die Muschel zu sehen. Wie Sie vielleicht bemerkt haben, wird die Halterung in zwei verschiedenen Ausrichtungen angezeigt. Die Frage ist, wird die Klammer in jedem Fall gleich stark sein? Dies hängt davon ab, was wir mit Stärke meinen, wie das nächste Beispiel zeigen wird.

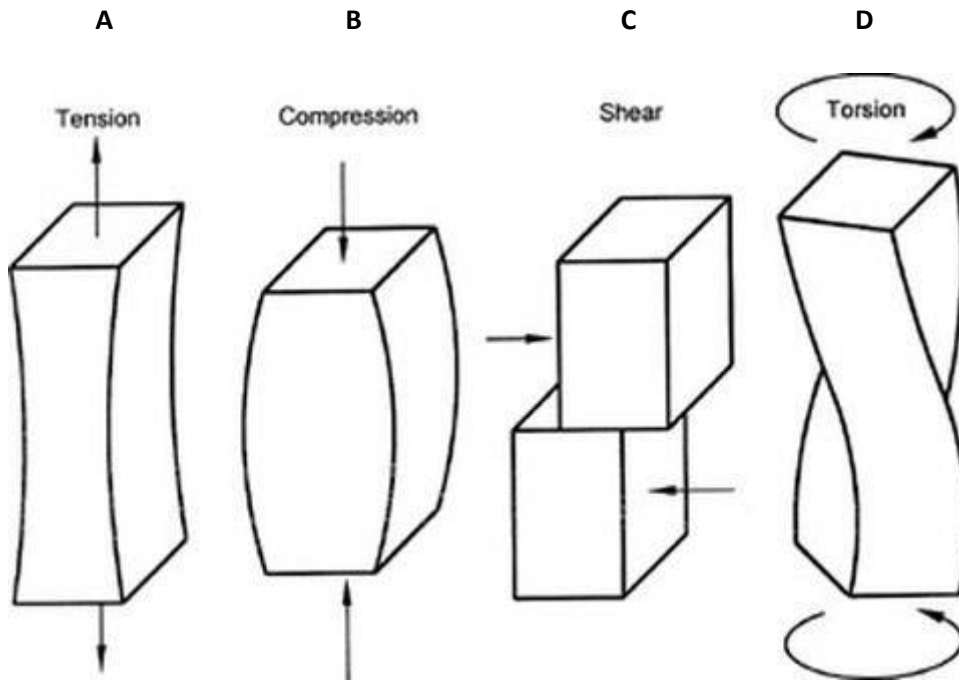


### **Design-Aufgabe1: Zeichen-Aufgabe - Stärke-Typen und 3D-Druck**

Festigkeitsarten und 3D-Druck Schauen Sie sich die Zeichnung unten an. Es ist eine Darstellung von 4 verschiedenen Arten von Festigkeiten, die ein Objekt im Bereich des Tragwerks haben kann: Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Scherfestigkeit und Torsionsfestigkeit. In dieser kleinen Übung werden Sie eine qualifizierte Vermutung anstellen, welche Ausrichtung zu der höchsten dieser Krafttypen führt.



**Aufgabe 1:** Zeichnen Sie die Ebenen der 3D-gedruckten Objekte in den folgenden Zeichnungen in der Ausrichtung, von der Sie glauben, dass sie die höchste Stärke jeder Art ergeben.



**Aufgabe 2:** Welches der Beispiele profitiert Ihrer Meinung nach am meisten von einem hohen Füllungsgrad, und welches profitiert Ihrer Meinung nach am meisten von einer dicken Hülle mit vielen Konturen? Markieren Sie die, die Sie unten denken, mit einem X.

	Hoher Füllungsgrad	Dicke Schale/viele Konturen
A		
B		
C		
D		

Die Ergebnisse werden anschließend in der Klasse besprochen.

Die Tatsache, dass ein 3D-Druckobjekt nicht auf allen Seiten gleich stark ist, wird als „anisotrop“ bezeichnet. Diese Eigenschaft stammt aus dem eigentlichen Prozess des 3D-Drucks, bei dem Objekte durch Ebenen erstellt werden. Hierdurch bleibt die Haftung zwischen den Schichten als begrenzender Faktor in Bezug auf die Festigkeit erhalten. Aus diesem Grund ist im obigen Beispiel die Festigkeit immer dann am höchsten, wenn sich die Kräfte entlang der Schale entgegengesetzt zu den Schichten bewegen. Dies ist beim Entwerfen und Drucken eines Objekts zu berücksichtigen, bei dem Festigkeit gewünscht wird. Weitere Informationen hierzu finden Sie im Handbuch zum 3D-Druck. Für diese einfachen Figuren kann die optimale Stärke für ein bestimmtes Teil oftmals unter Verwendung der Optionen der Slicer-Software ermittelt werden. Bei komplexeren Teilen, für die in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Festigkeiten erforderlich sein können, müssen diese Aspekte jedoch bereits bei der CAD-Modellierung berücksichtigt werden. Hier folgt ein Beispiel eines einfachen Unterrichtsplans, der Schülern unterschiedlichen Alters gegeben werden kann, damit sie dies auf intuitive Weise erkunden können.

## Design-Aufgabe 2: eine Autobahnbrücke

Dies ist eine gestalterische Herausforderung, die an einer unserer Partnerschulen in einer realen Unterrichtssituation getestet wurde. Es ist eine gute Einführung in die grundlegenden Slicer-Einstellungen eines 3D-Drucks, da die Teilnehmer häufig Themen wie Überhänge, Füllungen und Konturen selbstständig und während der Arbeit an einem Projekt entdecken. Der Stundenplan eignet sich auch gut für Gruppenarbeiten und kann leicht geändert werden, um die Komplexität zu erhöhen oder zu verringern, sodass er für eine breite Altersgruppe geeignet ist.

### Vorbereitende Aufgabenstellung:

Das dänische / rumänische / italienische / französische / griechische Ministerium für Logistik und Transport hat festgestellt, dass viele der Brücken über Autobahnen im Land abgenutzt sind und sofort ausgetauscht werden müssen. Sie suchen einen Bauunternehmer, der Ihnen eine Brücke bietet, die wenig Material verbraucht, aber auch stark ist. In diesem Auftrag ist Ihr Team der Auftragnehmer und entwirft ein maßstabsgetreues Modell der Brücken, das das Brückenkomitee davon überzeugen kann, dass Ihr Entwurf die beste Wahl ist.

### Anforderungen:

- Sie entwerfen ein Modell der Brücke im Maßstab 1: 500.
- Auf der Brücke müssen 4 darunter fahrende Lastwagen und zwei darauf fahrende Autos Platz haben.
- Sie berechnen die Materialkosten der Brücke, da Sie wissen, dass einer der m<sup>3</sup> Stahlbeton 210 € kostet.
- Sie testen die Festigkeit der Brücke, indem Sie nach und nach Gewichte auf die Brücke legen, bis sie bricht. Sie notieren dann das Gewicht, bei dem die Brücke gerissen ist, und dies ist das Maß für die Stärke.
- Sie werden dann Ihre Brücke basierend auf Ihren Erfahrungen mit der vorherigen Brücke neu entwerfen und so den Entwurf durch mehrere Iterationen verbessern.

### Design und Druck

Sie entwerfen Ihre Brücke in Tinkercad, mit dem Sie sich mittlerweile auskennen sollten. Einige Funktionen in Tinkercad können jedoch für diesen Teil gut zu erwähnen sein. Beziehen Sie sich auf das Tinkercad-Spickzettel, um diese Funktionen zu finden.

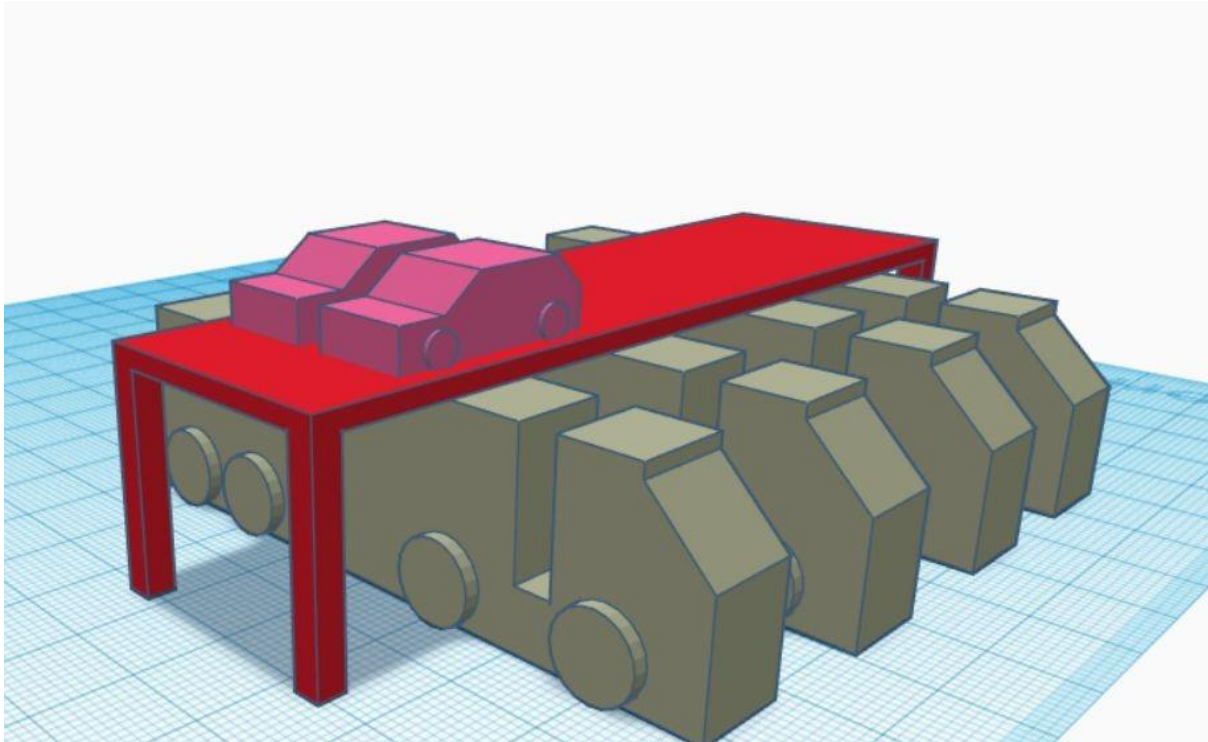
**Importieren:** Verwenden Sie diese Option, um die Dateien car.stl und truck.stl zu importieren. Dies sind maßstabsgetreue Modelle von Autos und Lastwagen aus der Praxis, um die Sie Ihre Brücke herum entwerfen können. Denken Sie daran, dass auf der Brücke vier Lastwagen und zwei Autos Platz haben müssen.

**Ausrichten:** Mit der Ausrichtungsfunktion können Sie ein oder mehrere Modelle aneinander ausrichten. Dies kann für dieses Projekt relevant sein, da es die Präzisionsmodellierung erleichtert.

**Arbeitsebene:** Eine neue Arbeitsebene kann eingefügt werden, damit Modelle einfacher übereinander gebaut werden können. Eine Arbeitsebene kann sogar an der Seite eines Modells hinzugefügt werden.

Laden Sie nach dem Erstellen eines Brückenmodells die STL-Datei herunter und laden Sie sie in REALvision. Wir empfehlen, dass Sie Ihr erstes Modell recht schnell drucken lassen, damit Sie mehrere Iterationen durchführen können.

Denken Sie beim Durchlaufen des Modells durch den Slicer daran, was der effizienteste Weg ist, um mit Überhängen umzugehen.



Denken Sie beim Durchlaufen des Modells durch den Slicer daran, wie am effizientesten mit Überhängen umgegangen werden kann

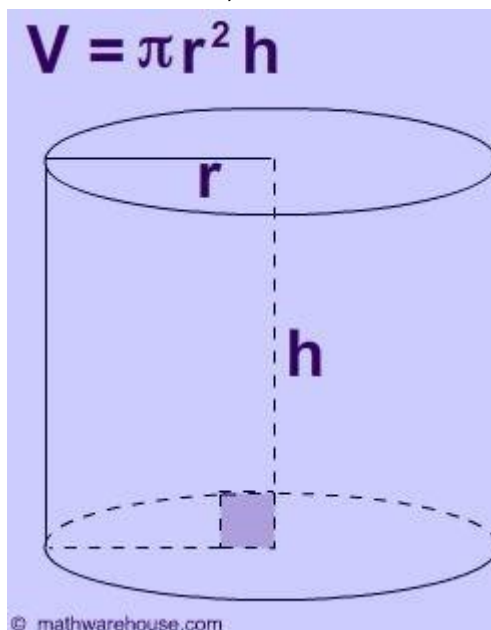
## Berechnungen und Messungen

Für jede Brücke, die Sie entwerfen und in 3D drucken, müssen Sie zwei Faktoren extrahieren: den Preis der Rohmaterialien und die Stärke des Modells. Der Preis, den Sie durch Berechnungen erhalten, und die Stärke werden durch Experimente erhalten.

### Preis

In der Slicing-Software erhalten Sie in der Regel Informationen zum Filamentverbrauch. Dies kann entweder in Metern Filament oder Gramm Filament angegeben werden.

Denken Sie daran, dass das Filament normalerweise ein langer Zylinder mit einem bestimmten



Durchmesser ist (in dieser Werkstatt beträgt der Durchmesser 1,75 mm, es werden jedoch auch 2,85 mm verwendet). Mit der Gleichung zum Ermitteln des Volumens eines Zylinders aus seinem Radius ( $r$ ) und seiner Höhe ( $h$ ) können Sie das für das Modell verwendete Materialvolumen ermitteln. Denken Sie jetzt daran, dass das Modell im Maßstab 1: 500 entworfen wurde. Denken Sie schließlich daran, dass der Preis ( $p$ ) für einen Quadratmeter Stahlbeton 210 € betrug. Beachten Sie auch, dass der Durchmesser des Filaments in mm angegeben ist, während die Länge des Filaments in m angegeben ist. Es kann von Vorteil sein, alle Einheiten in Meter umzurechnen. Nachfolgend finden Sie die Gleichung, die für diese Berechnung verwendet werden kann:

$$Preis = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot s^3 \cdot p$$

Sobald der Preis berechnet wurde, notieren Sie ihn auf einem Post-It-Zettel. Der Preis der Brücke kann berechnet werden, während die erste Brücke gedruckt wird.

## Festigkeit



Sobald die Brücke gedruckt wurde, muss die Festigkeit der Brücke geprüft werden. Dazu werden Papierstapel auf die Brücke gelegt und das Gewicht schrittweise erhöht, bis die Brücke zusammenbricht. Notieren Sie, wie viele Papierstapel die Brücke aufnehmen kann. Dies wird unser Maß für die Stärke in dieser Lektion sein. Notieren Sie dies auch auf dem gleichen Post-It-Zettel.

## Selbsteinschätzung und Reflexion

Nachdem die Brücke entworfen, der Preis berechnet und die Festigkeit getestet wurde, verwenden wir jetzt ein Bewertungsinstrument, das als „oresmisches Koordinatensystem“ bezeichnet wird. Dies ist ein aus zwei Achsen bestehendes Koordinatensystem, das sich auf die beiden Faktoren bezieht, an denen wir interessiert waren: Preis und Stärke. Sie platzieren Ihr Design auf Ihrem Post-It an den entsprechenden Stellen im Koordinatensystem. Das Koordinatensystem kann Ihnen bei der Planung der nächsten Iteration Ihrer Brücke helfen.

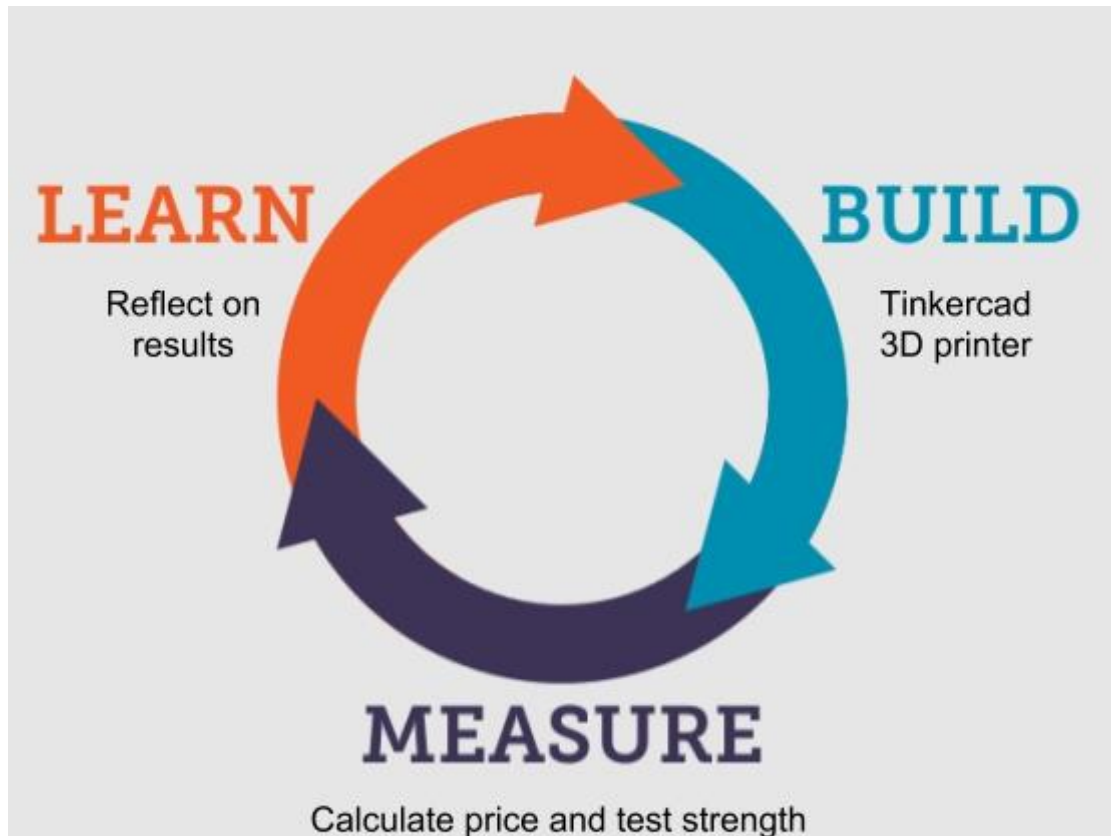
Sie können jetzt die folgenden Fragen diskutieren:

1. Wo ist das optimale Design in diesem Koordinatensystem?
2. Warum befindet sich Ihre Brücke Ihrer Meinung nach dort, wo sie sich befindet?
3. Vergleichen Sie Ihre Position mit der Ihrer Konkurrenz. Was sind die größten Stärken und Schwächen Ihres Designs?
4. Wie können Sie Ihr Design verbessern?

Wenn Sie diese Fragen in Ihrer Gruppe diskutiert haben, kehren Sie zum Zeichenbrett zurück! Entwerfen Sie eine zweite Iteration Ihrer Brücke, die auf mindestens einer Achse besser ist. Schauen Sie sich an, wo Ihre Brücke gebrochen ist, und nutzen Sie dieses Wissen zu Ihrem Vorteil.

Fahren Sie mit diesem Vorgang fort und wiederholen Sie so viele Iterationen, wie Sie Zeit haben.





### Wie man in einem Projekt Struktur und Freiheit in Einklang bringt

Das obige Beispiel eines Unterrichtsplans ist der Versuch, in einem Unterricht das perfekte Gleichgewicht zwischen Freiheit und Struktur zu finden. 3D-Druck als Technologie ist tief in der „Maker-Bewegung“ verankert, und die Philosophie dieser Bewegung beginnt zu beeinflussen, wie wir Technologie in Schulen unterrichten. Die Maker-Bewegung befürwortet den freien Zugang zu leistungsfähigen Technologien und eine gemeinschaftliche Denkweise, um sich gegenseitig zu helfen und gleichzeitig neue Technologien und Fähigkeiten zu erlernen, anstatt sich auf etablierte, manchmal strenge Bildungseinrichtungen zu verlassen. Wenn Bildungseinrichtungen diese Philosophie anwenden, ist es jedoch notwendig, diese beiden Bewegungen zu betrachten und das Beste aus beiden Welten herauszuholen.

Unsere Untersuchungen an den örtlichen Schulen ergaben, dass Lehrer eine gewisse Struktur im Unterricht bevorzugen. Dieses Kapitel wird sich darauf konzentrieren, wie der Wunsch der Lehrer nach einer gewissen Struktur mit der Philosophie der Makerbewegung des selbstgesteuerten Lernens und Bastelns in Einklang gebracht werden kann.

### Was sagt die Literatur?

Die meisten Personen, die sich mit Bildungstechnologie beschäftigen, werden mit den Arbeiten von Seymore Papert vertraut sein. Papert, ein Student von Piaget und Mathematiker, schrieb Bücher wie "Mindstorms" und "The Childrens 'Machine'", die die Grundlagen für seine Theorie des "Konstruktivismus" legten.

Der Konstruktivismus ist eine Weiterentwicklung von Piagets Konstruktivismus: Der Gedanke, dass Kinder Wissen durch direkte Erfahrung aufbauen, anstatt das Wissen von einem Buch oder einem Lehrer weiterzugeben. Paperts Konstruktivismus fügt dieser Theorie hinzu, dass die Konstruktion von Wissen durch Kinder am besten in Situationen geschieht, in denen sie persönlich bedeutungsvolle Objekte konstruieren, sei es ein Gedicht, ein Roboter, ein Computerprogramm oder etwas anderes.

Paperts Arbeit konzentrierte sich auf den Computer und die Programmierung (dies wird in dem gleichnamigen Buch als "Kindermaschine" bezeichnet). Obwohl sich Papert nie speziell mit 3D-Druckern befasste (hauptsächlich, weil der Desktop-3D-Drucker, wie wir ihn heute kennen, zu der Zeit, als er auf diesem Gebiet tätig war, noch nicht erfunden wurde), sind seine Theorien zu Lehre und Pädagogik auf diese Technologie weitgehend anwendbar.

Eines der von Papert eingeführten Konzepte, das hier angewendet werden kann, ist das Konzept einer „Mikrowelt“. Dies bezieht sich auf eine Lernumgebung, in der kraftvolle und scheinbar komplexe Ideen auf natürliche und explorative Weise erforscht werden können. Papert stellt eine solche Mikrowelt zum Erlernen der Newtonschen Physik vor, ein Thema, das für Anfänger oft sehr schwer zu verstehen ist. Papert schlägt vor, dass der Grund dafür die Tatsache ist, dass die Newtonsche Physik immer direkt durch die mathematischen Gleichungen eingeführt wird, die verwendet werden, um sie zu beschreiben. Als alternativen Ansatz entwickelte Papert eine Mikrowelt, in der Kinder verschiedene Elemente programmieren konnten, die sich nach den Gesetzen der Newtonschen Physik richten würden.

Eines der von Papert eingeführten Konzepte, das hier angewendet werden kann, ist das Konzept einer „Mikrowelt“. Dies bezieht sich auf eine Lernumgebung, in der kraftvolle und scheinbar komplexe Ideen auf natürliche und explorative Weise erforscht werden können. Papert stellt eine solche Mikrowelt zum Erlernen der Newtonschen Physik vor, ein Thema, das für Anfänger oft sehr schwer zu verstehen ist. Papert schlägt vor, dass der Grund dafür die Tatsache ist, dass die Newtonsche Physik immer direkt durch die mathematischen Gleichungen eingeführt wird, die verwendet werden, um sie zu beschreiben. Als alternativen Ansatz entwickelte Papert eine Mikrowelt, in der Kinder verschiedene Elemente programmieren konnten, die sich nach den Gesetzen der Newtonschen Physik richten würden.

Sylvia Martinez bewertet in ihrem Buch „Erfinden zum Lernen - Basteln, Basteln und Ingenieurwesen im Klassenzimmer“ viele Aspekte der Herstellerphilosophie im Bildungsbereich. Eines davon ist das Thema „Was macht ein gutes Projekt aus?“. Sie definiert die folgenden acht Merkmale. Wir werden versuchen, kurz zu erklären, wie das Brückenprojekt diese Aspekte unterstützen kann.

- 1. Zweck und Relevanz** - Die Kinder arbeiten an einem Problem, das den Problemen der realen Welt sehr nahe kommt.
- 2. Zeit** - Es ist wichtig, genügend Zeit für dieses Projekt vorzusehen. Selbst mit schnellen 3D-Druckern sind etwa fünf Stunden erforderlich. Dies liegt daran, dass die Kinder mehrere Iterationen ihres Entwurfs durchführen sollten.
- 3. Komplexität** - Dieses Projekt kann das Konzept der Finiten Analyse und Konstruktionstechniken in Abhängigkeit vom Niveau der Schüler einführen.
- 4. Intensität** - Wir sehen, dass Kinder völlig in die Gestaltung dieser Brücken eintauchen können, und wir haben sogar Studenten dazu gebracht, Mittagspausen als äußerst ärgerlich und unangenehm für ihren Arbeitsablauf zu empfinden.
- 5. Verbindung** - Die Verbindung zwischen den Gruppenmitgliedern in diesem Projekt ist eine der offensichtlichsten Arten, wie Teamarbeit und Zusammenarbeit in dieser Lektion vermittelt werden. Was unerwartet war, war, dass wir Schüler sahen, die sich aus verschiedenen Gruppen und sogar verschiedenen Klassenstufen und Klassen gegenseitig halfen, um einen guten Festigkeitstest durchzuführen.
- 6. Zugang** - Wir planten die Aktivität so, dass jede Gruppe von 3-4 Schülern ihren eigenen 3D-Drucker hatte. Dies bedeutete, dass sie den Druckprozess selbst planen konnten. Die Schüler wurden langsam zu Meistern des Zeitmanagements und entwarfen Brücken, deren Druck zu lange dauerte, neu. Sie durften Pausen einlegen, wenn ein Druck gestartet wurde und Berechnungen für das Design durchgeführt wurden.



**7. Teilbarkeit** - Das oresmische Koordinatensystem macht die Lektion teilbar. Alle Schüler können die Arbeit anderer Schüler sehen und ihre eigenen Fortschritte mit denen anderer vergleichen.

**8. Neuheit** - Während der Arbeit an diesem Projekt erhalten die Schüler nur eine kurze Entwurfsaufforderung, in der das Ziel ihres Entwurfs und die Parameter beschrieben werden, mit denen sie gute Ergebnisse erzielen sollen. Von da an entdecken sie für sich. Wir haben gesehen, wie Schüler mit der Implementierung von Querträgern und Bogendesigns begonnen haben, beides Praktiken des Tragwerksbaus, ohne dass diese Konzepte jemals von einem Lehrer erklärt wurden.

Das Design möglichst kurz zu halten, wird von Martinez auch als eine gute Praxis eines Projekts beschrieben. In diesem Fall kann die Eingabeaufforderung sehr kurz sein. Das Ziel ist recht einfach und kann leicht schnell erklärt werden. Eine kurze Demonstration des Festigkeitstests, vorzugsweise mit einer sehr dünnen Brücke, kann ausreichen, um zu erklären, wie dies durchgeführt wird. Von hier aus kann die Erklärung der Berechnung in der Tat der zeitaufwändigste Teil sein, obwohl dies tatsächlich ad hoc erfolgen kann anständige Ergebnisse. Stellen Sie sicher, dass der Schüler schnell mit dem Entwerfen beginnt. Das Lernen kommt aus den Iterationen der Brücke und den damit verbundenen direkten Erfahrungen.

In dieser Hinsicht ist unser Brückenprojekt ein Versuch, ein Projekt oder eine Mikrowelt für den Unterricht des Bauingenieurwesens zu schaffen, aber durch eine offene, aber dennoch gerichtete Entwurfsaufforderung. Kinder ab 10 Jahren erwerben Kenntnisse über Finite Analysis und Konstruktionstechniken, die normalerweise erst auf Hochschulniveau in Maschinenbau, Architektur oder ähnlichen Bereichen unterrichtet werden. Sie studieren nicht die Verwendung formaler Gleichungen, sondern erwerben stattdessen die intuitive Piagean-Lernerfahrung. Sie kodieren die Informationen darüber, was eine Brücke stark macht, mit der Erfahrung, nach und nach Gewichte auf der Brücke zu stapeln, die sie selbst entworfen haben, und mit gespannter Erwartung, zu sehen und zu hören, wann die Brücke langsam nachgibt und dann plötzlich vollständig zusammenbricht .

Wir haben durch unsere Erfahrung herausgefunden, dass die Kinder sich über den Prozess des Bruchs ihrer Brücke freuen. Wie oft darf man denn in der Schule absichtlich brechen? Dies bringt den Kindern auch noch eine tiefere Lektion bei, manchmal ist ein Scheitern notwendig, um zu lernen. Ihre Brücke sollte nicht nur scheitern, sondern muss. Denn wenn die Brücke nicht an ihren Bruchpunkt geschoben wird, wissen wir nicht, wie wir sie für die nächste Iteration verbessern können. Die Lektion zwingt sie aber auch, über die Zerstörung nachzudenken, die sie durch ihr Design mit sich bringen. Es ist nicht nur Zerstörung zum Spaß, wie man vielleicht sieht, wenn ein Kind eine Sandburg baut, um sie wenige Minuten später zu treten. Sie sind gezwungen, den Schaden, den sie an ihrer Brücke angerichtet haben, sorgfältig zu untersuchen und das Entdeckte in ein neues konkretes Design umzuwandeln, das in diesem iterativen Prozess erneut getestet werden kann.

## Das oresmische Koordinatensystem

Die Idee der kostenlosen projektbasierten Lernaktivitäten ist nicht neu, und selbst Paperts Ideen aus den 80er Jahren basieren auf den noch älteren Ideen von John Dewey und Marie Montessorri. Eine Sache, die wir mit einigem Zögern für eine neue Erfindung halten, ist die des oresmischen Koordinatensystems. Streng genommen muss dies nicht mehr als zwei Streifen Klebeband des Malers 3 sein, auf denen Einheiten und Skalen geschrieben sind. Die Wirkung dieser Lehrmittel wird jedoch als weitreichender angesehen. Das Koordinatensystem macht den iterativen Charakter des Entwurfsprozesses besser sichtbar. Sie können die Fehler sehen, die Sie in einer Version gemacht haben, und nachvollziehen, wie sich die Leistung in den anderen Versionen geändert hat. Das Koordinatensystem bietet eine großartige Gelegenheit, mit den Schülern über ihr Design zu diskutieren, Feedback zu geben und ihren Prozess zu hinterfragen, damit die Schüler über ihre zukünftigen Iterationen nachdenken können. Das oresmische Koordinatensystem kann auch in

mehreren anderen Lektionen verwendet werden, sofern es mindestens zwei Parameter gibt, mit denen ein Objekt arbeiten kann. Wir werden jetzt kurz auf einige eingehen:

## Boote

Die Kinder können sich bei thingiverse von folgendem Design inspirieren lassen:

<https://www.thingiverse.com/thing:843646>

Sie können dann einige der Komponenten neu konstruieren, um den Boot zu erhalten, der am weitesten entfernt ist, aber auch das meiste Gewicht trägt. Hier werden folgende Themen behandelt: Hydrodynamik, Reibung, Archimedes-Prinzip und Schwerpunkt.

## Katapult

Die Studierenden entwerfen Katapulte, mit denen ein vordefiniertes Objekt so weit wie möglich und so präzise wie möglich geschleudert werden kann. Daher müssen die Schüler ein Katapult entwerfen, das sowohl eine rohe Schusskraft als auch die Präzision aufweist, mit der ein Ziel getroffen werden kann. Daher haben beide Achsen des Koordinatensystems eine Längeneinheit (zurückgelegte Entfernung und Entfernung vom Ziel). Das Katapult kann aus vielen Teilen bestehen, einem Rahmen, einem Arm, einer Feder und vielen anderen. All dies kann individuell umgestaltet werden, um das beste Ergebnis zu erzielen. Auf diese Weise lernen die Studierenden: Ballistik, Parabelkurven, das Skalen- und Hebelprinzip sowie das Entwerfen eines mehrteiligen Systems, wodurch sie gezwungen werden, ganzheitlich über das Gesamtsystem nachzudenken.

## Kreisel

Ein Kreisel, der mit einem Zahnrad gestartet werden kann, ist seit vielen Jahren ein beliebtes Spielzeug. Eine vollständig in 3D druckbare Version davon finden Sie online unter: <https://www.thingiverse.com/thing:1395135>

Der Vorteil dieses Designs ist, dass die meisten Teile bereits vor Beginn des Unterrichts gedruckt werden können. Während des Unterrichts können sich die Schüler dann darauf konzentrieren, nur einige wichtige Teile des Designs neu zu entwickeln und zu verbessern. Die Schüler können das oresmische Koordinatensystem verwenden, um das Gewicht oder den Durchmesser und die durchschnittliche Drehzeit des Kreisels zu zeichnen. In dieser Lektion werden die Kinder folgende Themen behandeln: Trägheit, Impuls, Newtonsche Physik und Eulerkoordinaten.

## Zusammenfassung

Dieses Handbuch enthält eine Kurzanleitung für den Einstieg in den 3D-Druck im Klassenzimmer. Es ist in keiner Weise ein vollständiger Leitfaden, da dieser höchstwahrscheinlich niemals existieren könnte. Der 3D-Druck ist ein sich ständig entwickelndes Gebiet, und die Technologien, die wir den Kindern jetzt beibringen, werden zweifellos veraltet sein, sobald sie ihre Karriere beginnen. Daher ist es wichtig zu wissen, dass der nachhaltige Unterricht nicht darin besteht, Kindern das 3D-Modellieren und 3D-Drucken beizubringen, sondern durch den Einsatz dieser Technologie ganz andere Dinge zu lehren. Den Schülern beizubringen, dass ein Entwurf niemals endgültig ist, dass Dinge durch Iterationen verbessert werden können, dass es notwendig ist, nicht zu lernen, sind manchmal nur Beispiele für Lektionen im Leben und nicht für den 3D-Druck. Indem wir uns auf das große Ganze konzentrieren und nicht auf das, was wir mit dem 3D-Druck erreichen wollen. Sich in den Besonderheiten des Schneidens und der Druckqualität zu verlieren, kann bedeuten, dass die Schüler kraftvolle Ideen lernen, die ein Leben lang Bestand haben können. Die einzigartige Möglichkeit des 3D-Druckers besteht darin, die eigenen Ideen vor Ihren Augen zum Leben zu erwecken und in der Lage zu sein, sie im wirklichen Leben zu testen. Die Möglichkeiten dieser Technologie sind noch lange nicht verstanden, aber wir sind fest davon überzeugt, dass die wirklich erstaunlichen Verwendungen der Technologie nicht von den Köpfen unserer Generation kommen werden, sondern von der Generation, die wir unterrichten.