

CONRAD

kostenlos anfordern unter:
conrad.de/handbuch-3d-druck

- Hintergrundwissen
- praxisbezogene Schritt-für-Schritt-Anleitungen
- fachdidaktisch aufbereitetes Unterrichtsmaterial
- Experimente mit 3D Druck



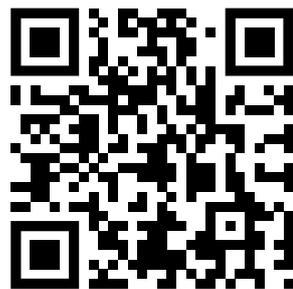
Academy

Auszug aus:

HANDBUCH

3D-Druck

Ein einsteigerfreundlicher Leitfaden
für Bildungseinrichtungen und Maker



Florian Ebner
Wolfgang Lex
Andreas Meiler
Michael Rösch
Dr. Sergej Stoetzer
Christian Trösch

Auszug aus:

Handbuch 3D-Druck

**Ein einsteigerfreundlicher Leitfaden
für Bildungseinrichtungen und Maker.**

- **Hintergrundwissen**
- **praxisbezogene Schritt-für-Schritt-Anleitungen**
- **fachdidaktisch aufbereitetes Unterrichtsmaterial**
- **Experimente mit 3D-Druck**

kostenlos anfordern unter: conrad.de/handbuch-3d-druck

© Conrad Electronic

Hirschau 2019



3D-Druck im Fachunterricht: Experimente mit digitaler Messwerterfassung

Claude Blanc / Irma Mgeladze / Dr. Sergej Stoetzer / Dr. Hildegard Urban-Woldron

Liebe Lehrerinnen und Lehrer, Dozenten, Anwender, Einsteiger in den 3D-Druck, liebe Maker,

3D-Druck ist ein ressourcenschonendes, additives Fertigungsverfahren, für das eine Vielzahl an Technologien bereitsteht und weiterentwickelt werden kann und das eine große Faszination auf Schülerinnen und Schüler ausübt - sei es auf Events wie Maker Faires oder bei MINT-Tagen in Schulen und Ausbildungszentren. Auch im schulischen Alltag werden diese Technologien zunehmend eingesetzt: 3D-Druck bietet eine faszinierende und fächerübergreifende Möglichkeit für eine "Digitalisierung der Bildungseinrichtungen" - von der Beschäftigung mit den mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen der Drucktechnologie über den Einsatz im Fachunterricht bis zu eigenständig von Schülerinnen und Schülern initiierten Projekt- und Forschungsarbeiten. Bei diesen allein ist bereits in Wettbewerben wie "Jugend forscht" eine deutliche Professionalisierung ist erkennbar, indem immer mehr Forschungsarbeiten von Schülern auf diese Technologie zurückgreifen, um Prototypen oder Hilfsmittel für die eigenen Experimente zu entwerfen.

Für den Einsatz in weiterführenden Schulen eignet sich besonders das Schmelzschicht-Verfahren, bei dem ein thermoplastischer Kunststoff als Draht auf einer Rolle vorliegt, aufgeschmolzen und schichtweise aufgebracht wird. Mit diesem 3D-Druck-Verfahren lassen sich vor allem in der Physik in den Themenbereichen Mechanik, Wärmelehre und Optik klassische Schülerexperimente mit 3D-gedruckten Untersuchungsgegenständen durchführen, wobei die dabei verwendeten Materialien z. T. auch von den Schülerinnen und Schülern selbst hergestellt werden können. Da die Möglichkeiten der 3D-Drucktechnologie eine sehr starke Faszination auf junge Menschen ausüben, eignet sich das Themenfeld über die Schul-Experimente hinaus auch hervorragend für die eigenständige Weiterarbeit der Schülerinnen und Schüler im Sinne von Differenzierungsarbeiten sowie forschenden Untersuchungsaufgaben im Rahmen von Projektwochen.

Im Fachunterricht sind grundsätzlich zwei Anwendungsgebiete möglich:

- Der 3D-Drucker wird als Hilfsmittel eingesetzt, um bestehende Experimente zu verbessern oder zu erleichtern (Sensoradapter, Halterungen, Gehäuse für selbstgebaute Messgeräte).
- Die mit Hilfe von 3D-Drucktechnologie erstellbaren Objekte werden selbst untersucht (Materialeigenschaften)

Die hier vorliegenden Unterrichtsmaterialien für Schülerexperimente im Physikunterricht konzentrieren sich auf den *zweiten* Aspekt, die Untersuchung der 3D-gedruckten Objekte selbst. Dabei fokussieren die ersten beiden Experimente auf die Dämpfungseigenschaften flexibler 3D-Drucke. Das erste Experiment untersucht den Einfluss unterschiedlicher Dichte (Infill-Grade) auf das Dämpfungsverhalten des Körpers. Das zweite Experiment zielt auf die Beantwortung der Frage, ob und welche Unterschiede für einen Würfel mit 15 % Füllung beim Aufprall auf verschiedene Seitenflächen zu beobachten sind. Hier geht es demnach um die Auswirkungen der „Raumlage“ des Körpers in Bezug auf die Druckrichtung bei der Interaktionen mit dem Stoßobjekt.



Hinweis: Die folgenden Experimente wurden im [Lehrernetzwerk T³ Europe](#) (Teachers Teaching with Technology) von den Autoren gemeinsam entwickelt mit dem Ziel, zum Einstieg in den 3D-Druck vor allem für weiterführende Schulen einen **fachlichen Bezug** zum Einsatz von 3D-Druckern herzustellen.

Sie sind Teil der Veröffentlichung „Handbuch 3D-Druck“ von Conrad Electronic, das als schrittweise Anleitung konzipiert ist. Die Motivation für dieses Handbuch ist, das Thema 3D-Druck weiter und nachhaltig im Bildungssystem zu verankern - damit Auszubildende, Schüler und Studierende von dieser faszinierenden Technologie möglichst umfangreich profitieren können.

Weitere **Infos zum Thema** mit der **Möglichkeit der kostenfreien Anforderung** des „Handbuch 3D-Druck“ finden Sie unter conrad.de/handbuch-3d-druck

In künftigen Versionen dieses Handbuchs veröffentlichen wir gerne auch Ihre Ansätze, 3D-Druck im Bildungsbereich voranzubringen. Schreiben Sie einfach eine Mail an education@conrad.de. Wir möchten mit dem Handbuch die Plattform für eine gemeinsame Vernetzung und Fundgrube für tolle Ideen sowie fachdidaktische Konzepte rund um das Thema 3D-Druck bieten.

T³ Teachers Teaching with Technology™

T³ Europe ist ein internationales Lehrerfortbildungsnetzwerk, das von Texas Instruments gefördert wird. Es richtet sich an Lehrerinnen und Lehrer, die Interesse am sinnvollen Einsatz digitaler Werkzeuge im MINT-Unterricht haben und Erfahrungen austauschen wollen. T³ Europe bietet pädagogisch-didaktische Unterstützung in Form von schulinternen Fortbildungen, Webinaren und Tagungen an.



Conrad Electronic engagiert sich in diesem Netzwerk und unterstützt die Treffen der naturwissenschaftlich orientierten „Science“-Arbeitsgruppe am T³ Fortbildungszentrum Berlin.

Weitere Informationen zu T³ Europe, dem Fortbildungsangebot sowie Materialien zum Download finden Sie unter www.t3europe.eu.



Hinweis: Diese Vorschau umfasst ein Freihandexperiment zur Stabilität von 3D-Drucken. Das Inhaltsverzeichnis zeigt den kompletten Umfang des "Handbuch 3D-Druck", wobei die nicht enthaltenen Abschnitte ausgegraut sind. Sie können die vollständige Veröffentlichung **kostenfrei als Download-Link bestellen:** www.conrad.de/handbuch-3d-druck .

Alle Abbildungen zu den Experimenten (Fotos, Screenshots, Diagramme) sind im Kontext dieses Kooperationsprojektes entstanden und daher nicht einzeln zusätzlich mit einer Quellenangabe versehen. Für alle gilt:

© Texas Instruments, Conrad Electronic SE und T³ Europe.

Inhalt

Sicherheitshinweis	1
Editorial	3
1. Einleitung	5
1.1 Geschichte des 3D-Drucks	5
1.2 Wozu 3D-Drucken?	6
1.3 Einsatzbereiche für 3D-Drucker	8
1.4 Vor- und Nachteile des 3D-Druckens.....	9
1.4.1 Allgemeine Vor- und Nachteile additiver Fertigungsverfahren	9
1.4.2 Argumentation für 3D-Drucker.....	11
1.4.3 Nachteile des 3D-Druckens	13
1.5 3D-Druck: Ein wichtiger Schritt zur Digitalisierung von Bildungseinrichtungen	13
2. Verfahren und Materialien	17
2.1 Freiraumverfahren	17
2.2 Flüssigmaterialverfahren	18
2.3 Pulverbettverfahren.....	20
2.4 Wie funktioniert ein 3D-Drucker nach dem FFF/FDM-Verfahren?.....	22
2.5 Materialien für das FDM/FFF-Verfahren.....	23
3. Von der Idee zum fertig gedruckten Objekt	33
3.1 Erstellung von 3D-Modellen	33
3.1.1 Konstruktion	33
3.1.2 Programmierung eines Modells	43
3.1.3 Erstellen eines Modells durch Scannen	51
3.1.4 Modell-Datenbanken	52
3.2 Slicing - Aufbereitung des Objekts für den Drucker	52
3.3 Wichtige Parameter beim Slicing: Stützstrukturen.....	59
3.4 Druckvorgang	64
4. 3D-Druck im Fachunterricht: Experimente mit digitaler Messwerterfassung	75
Experiment 1: Wie beeinflusst der Füllgrad des gedruckten Objekts die Dämpfungseigenschaften?.....	77
Lehrermaterial 1: Kraftstoß und 3D-gedruckte Elastomere. Variation der Dichte.....	78
Schülerarbeitsblatt Experiment 1: Einfluss der Dichte auf die Dämpfungseigenschaften	87
Experiment 2: Kraftstoß und Dämpfungseigenschaften elastischer Körper in Abhängigkeit von der Raumlage	90

Lehrermaterial 2: Kraftstoß und 3D-gedruckte Elastomere. Einfluss der Raumlage	91
Schülerarbeitsblatt: Experiment 2: Einfluss der Raumlage auf die Dämpfungseigenschaften	102
Experiment 3: Stabilität von 3D-Drucken - Einfluss der Raumlage beim Druck.....	105
Lehrermaterial 3: Bruchtest mit einem 3D-gedruckten Quader. Einfluss der Ausrichtung des 3D-Modells für den Druck.....	106
Schülerarbeitsblatt: Experiment 3: Bruchtest mit einem 3D-gedruckten Quader. Einfluss der Ausrichtung des 3D-Modells im Druckvorgang.....	110
5. Exkurs: 3D-Druck in Schulen - eine Gefahr durch Feinstaub und organische Belastungen?	113
5.1 Studien zur Untersuchung von Feinstaub (UFP) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC).....	114
5.1.1 Zeitlicher Verlauf der Emissionen.....	114
5.1.2 Einfluss auf Partikelemissionen.....	115
5.1.3 Maximale Partikelemission im Vergleich mit Laserdruckern - Testverfahren „Blauer Engel“	116
5.2 Emission organischer Verbindungen bei 3D-Druck und Laserdruckern.....	117
6. Danksagungen und Ausblick.	119

Experiment 3: Stabilität von 3D-Drucken – Einfluss der Raumlage beim Druck

Das folgende Experiment unterscheidet sich von den vorherigen dadurch, dass das Untersuchungsobjekt dabei zerstört wird: Es handelt sich um eine *zerstörende Materialprüfung*.

Untersucht wird, welche Kraft nötig ist, um einen 3D-gedruckten Körper zu zerbrechen, wobei wieder pro Versuch nur ein Parameter variiert wird, um den Einfluss auf die Stabilität des Körpers festzustellen. Ausgearbeitet ist für dieses Schülerexperiment der Einfluss der „Ausrichtung des Objektes“ während des Druckes, der sehr deutlich die Stabilität beeinflusst.

Je nach 3D-Modell kann es verschiedene Möglichkeiten geben, das Modell auf der Druckplatte für den Ausdruck zu platzieren. Der Druck erfolgt schichtweise, so dass die Platzierung und Ausrichtung die Lage dieser Schichten im Modell bestimmt. Für dieses Experiment wird wieder ein simpler Körper verwendet, ein Quader mit einer Grundfläche von 5x5mm² sowie einer Höhe von 50mm. Dieser könnte stehend oder liegend gedruckt werden:

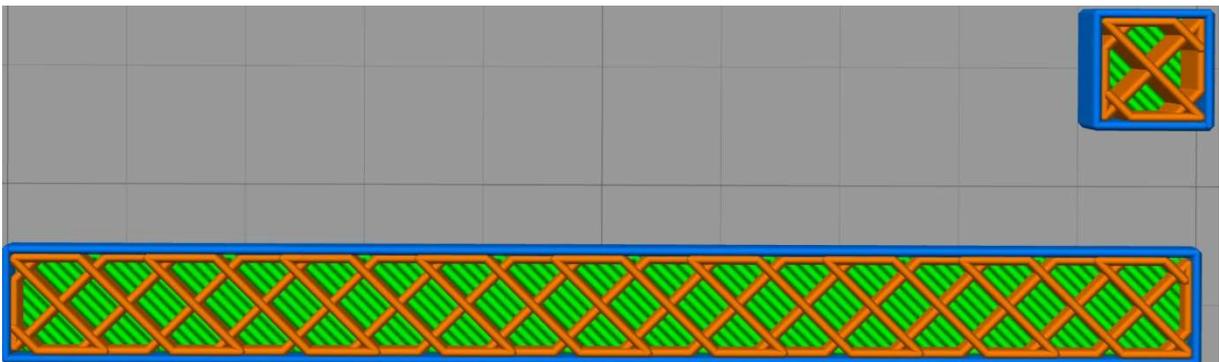


Abbildung 108: Messobjekt für zerstörende Materialprüfung stehend und liegend gedruckt.



Hinweis: Ihre Schülerinnen und Schüler können anschließend eigenständig weitere Messreihen planen und weitere Parameter wie z.B. Druckauflösung (Layerhöhe), Temperatur, Druckgeschwindigkeit, Infill-Muster oder Filament-Hersteller bzw. Farbe (andere Additive und Pigmente) verwenden, ggf. auch unterschiedliche Materialarten vergleichen. Diese Erweiterungen eignen sich für eigene Forschungsarbeiten und die Auswirkungen sind möglicherweise deutlich geringer ausgeprägt, so dass ein anderer Versuchsaufbau notwendig sein kann, der stärker standardisierte Messungen ermöglicht (z.B. Sensor nicht in der Hand gehalten, ggf. Strukturtester).

Lehrmaterial 3: Bruchtest mit einem 3D-gedruckten Quader. Einfluss der Ausrichtung des 3D-Modells für den Druck.

Einleitung

Der Aufbau der Modelle erfolgt beim 3D-Druckverfahren schichtweise - es werden also eine Vielzahl von Ebenen („Layer“) gedruckt, in denen mit einem geschmolzenen Kunststoffaden von 0,4 mm Durchmesser die Umrisse und Füllungen angelegt werden. Ist der Materialauftrag für die jeweilige Ebene beendet, senkt sich die Druckplatte (z-Achse) und eine neue Materialschicht wird aufgetragen.

Die Stabilität eines Objektes hängt also mit der Reißfestigkeit des Materials selbst und der Haftung desselben zwischen den Druckebenen („Layerhaftung“) zusammen. Nicht alle Objekte können in beliebiger Ausrichtung gedruckt werden (Überhänge sind je nach Druckermodell und Einstellungen schwierig zu drucken oder benötigen eine Abstützung), deswegen wird für das folgende Experiment ein simpler Körper verwendet, der sowohl liegend als auch stehend gedruckt werden kann.

In diesem Freihandexperiment wird die Stabilität von liegend und stehend gedruckten Exemplaren eines Quaders mit den Abmessungen $5 \times 5 \times 50 \text{ mm}^3$ vermessen. Dazu wird die Kraft bestimmt, die aufgewendet werden muss, bis der 3D-gedruckte Körper zerbricht. Mit Hilfe eines Kraftsensors und digitaler Messwerterfassung wird so der Einfluss der Lage beim Druck auf die Stabilität hin untersucht.

Notwendiges Vorwissen der Schülerinnen und Schüler

- Kraft
- Hebelgesetze
- (Drehmoment?)

Benötigtes Material

- 3D-gedruckte Quader ($5 \times 5 \times 50 \text{ mm}^3$) ca. 2-3 für jede Schülergruppe jeweils stehend und liegend gedruckt
- Schraubstock oder Schraubklemme zur Befestigung

Digitale Messwerterfassung

- Kraftmesser mit +/- 50N: Vernier DF-BTA für die Messung mit grafikfähigen Taschenrechnern
- Datenlogger: TI-Nspire™ CX Graphikrechner mit TI-Nspire™ Lab Cradle

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Schülerinnen und Schüler haben mehrere Exemplare des Quaders jeweils liegend und stehend gedruckt vor sich liegen (jeder in der Gruppe sollte beide Druckausrichtungen im Freihandexperiment überprüfen können). Zunächst werden mit einem Bleistift Markierungsstriche jeweils 5 mm vom Ende entfernt angebracht, damit die Objekte jeweils gleich weit eingespannt werden können und der Sensor immer an der gleichen Stelle eingehakt werden kann.

Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst ihre begründeten Vermutungen äußern, welcher Körper stabiler ist und dies im Arbeitsblatt dokumentieren (s. Arbeitsblatt III Schüler).

Anschließend wird zunächst der stehend gedruckte Körper im Schraubstock festgeklemmt, der Haken des Kraftsensors oben über die zweite Markierung geschoben und in der Messwerterfassung der Sensor auf Null zurückgesetzt. Der Sensor wird dabei ruhig in der Hand gehalten:



Abbildung 109: Freihandexperiment: Der zu untersuchende 3D-Druck ist im Schraubstock eingespannt - hier wird bereits mit einer Kraft von 6.7 N gezogen

Sobald die Datenerfassung gestartet ist, wird mit zunehmender Kraft der Sensor horizontal weggezogen, bis der 3D-gedruckte Quader abbricht. In den Standard-Einstellungen der Software sind dazu 5 Sekunden Messzeit vorgesehen; dies kann bei Bedarf verlängert werden. Alle Schüler der Gruppe prüfen zunächst die stehend gedruckten Quader, anschließend werden die liegend gedruckten entsprechend getestet.

Einstellung der Messwerterfassung

Die automatischen Voreinstellungen (50 Messungen/s bei 5 Sekunden Messzeit) können direkt verwendet werden, ggf. kann die Zeitdauer erhöht werden. Stellen Sie am Sensor den größeren Bereich (± 50 N) ein.

Auswertung der Daten

Die folgende Darstellung zeigt die Kurvenverläufe für die jeweilige Kraftaufwendung bei stehend und liegend gedrucktem Versuchsobjekt:

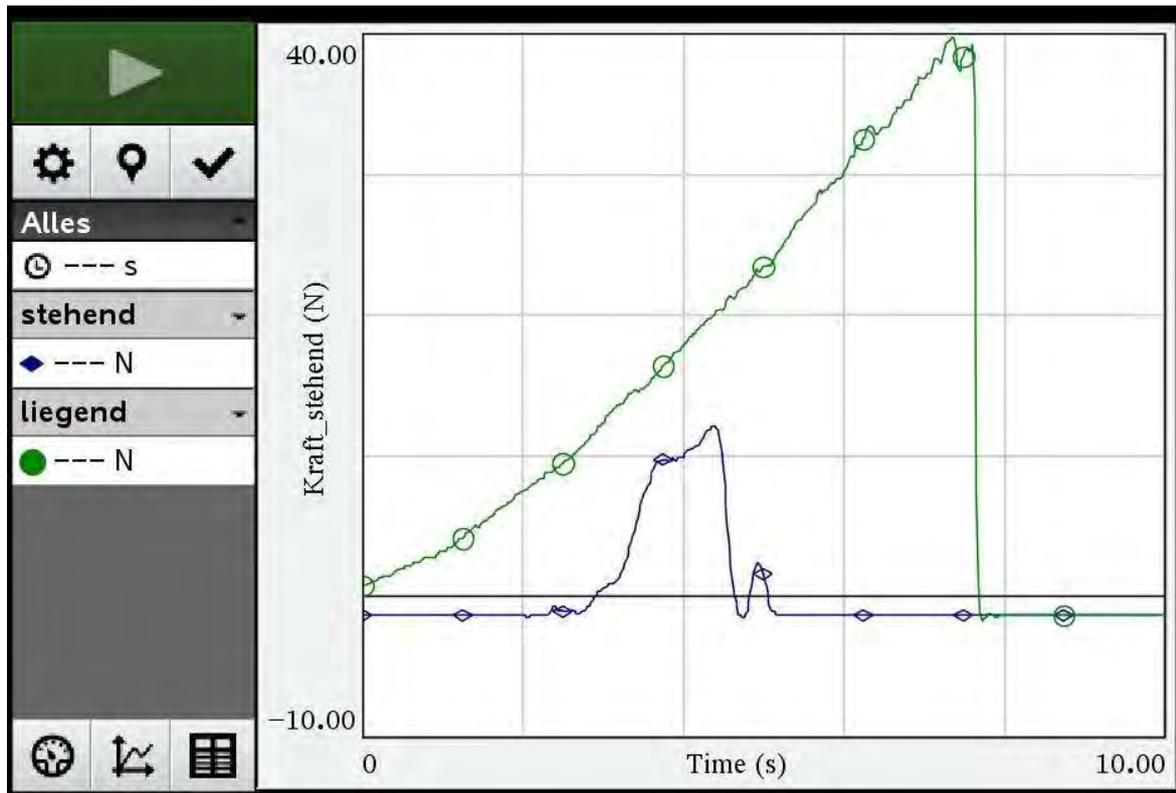


Abbildung 110: Bruchtest mit stehend bzw. liegend gedrucktem Quader

Die stehend gedruckten Quader brechen deutlich früher. Der Grund liegt in der vielfach niedrigen Haftfläche zwischen den Ebenen, die sich bei diesem Körper ergibt, wenn er stehend gedruckt wurde. Abstrahiert man zunächst vom Füllgrad, ergibt sich eine maximale Fläche von $5 \times 5 \text{ mm}^2$ beim stehend gedruckten Objekt für die Ebenhaftung gegenüber $5 \times 50 \text{ mm}^2$ bei dem liegend gedruckten Quader. Diese maximale Fläche würde nur beim Druck von Vollkörpern in Anspruch genommen werden.

Das Experiment ist jedoch keine klassische Zerreißprobe, da die Kräfte nicht nur senkrecht zur Druckebene wirken, sondern durch den seitlichen Zug wirkt ein Drehmoment auf den Körper.

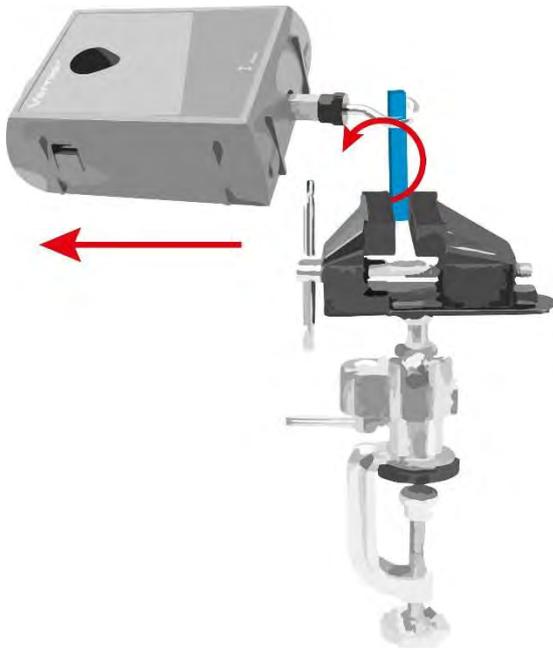


Abbildung 111: Kräfte bei der Zerreißprobe (Zug, Drehmoment)

Schülerarbeitsblatt: Experiment 3: Bruchtest mit einem 3D-gedruckten Quader. Einfluss der Ausrichtung des 3D-Modells im Druckvorgang.

In diesem Experiment untersucht Ihr die Haltbarkeit von 3D-Drucken. Dabei wird ein Quader ($l=5\text{mm}$; $b=5\text{mm}$, $h=50\text{mm}$) einmal stehend und einmal liegend ausgedruckt. Die Druckrichtung könnt Ihr anhand der kleinen Rillen auch später noch erkennen. Ihr untersucht nun, welchen Einfluss die Lage des zu druckenden Objekts beim schrittweisen Druck auf dessen Stabilität hat. Dies kann z.B. bei der Konstruktion von tragenden Strukturen oder mechanisch hochbelasteten Teilen wie Zahnrädern eine Rolle spielen.

Versuchsaufbau

Ihr erhaltet in der Arbeitsgruppe mehrere Quader, für jeden Schüler/Schülerin je einen mit pro Druckrichtung. Markiert bitte mit einem weichen Bleistift einen Strich 5mm von der längsten Seite oben und unten entfernt (Filzstift verläuft). An einer dieser Markierungen spannt Ihr den Quader im Schraubstock fest ein – so fest, dass er nicht wackelt oder verrutscht, aber nicht zu fest, damit der Druck nicht zerquetscht wird. An der anderen Markierung wird der Haken vom Kraftsensor eingehängt, der Sensor wird dabei ruhig mit der Hand gehalten. Das Bild gibt einen Hinweis für den Aufbau:



Abbildung 112: Freihandexperiment: Der zu untersuchende 3D-Druck ist im Schraubstock eingespannt – hier wird bereits mit einer Kraft von 6.7 N gezogen

Einstellung der Messwerterfassung

Die automatischen Voreinstellungen (50 Messungen/s bei 5 Sekunden Messzeit) können direkt verwendet werden, ggf. kann die Zeitdauer erhöht werden. Stellt den Sensor auf den größeren Messbereich ($\pm 50\text{ N}$) ein.

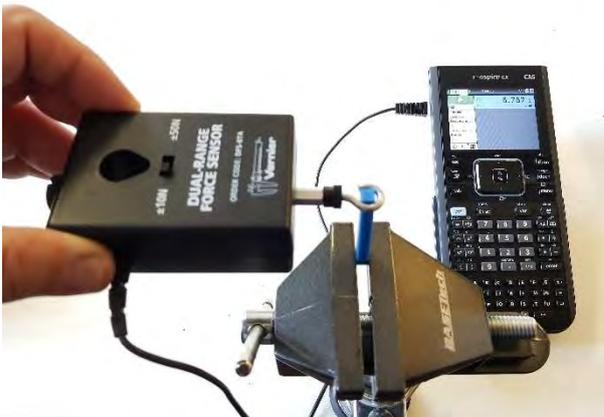
Prognose der Ergebnisse:

Bevor Ihr die Messungen durchführt, tragt Eure Erwartungen und Vermutungen bitte in die Tabelle ein:

Druckrichtung	bricht als (Rangfolge angeben)	Begründung
liegend		
stehend		

Durchführung der Messungen

Spannt den zu testenden 3D-Druck in einen kleinen Schraubstock ein und schiebt den Haken vom Sensor ca. 5mm weit über den 3D-Druck. Der Sensor wird dabei ruhig in der Hand gehalten:



Vor der Messung wird der Sensor noch auf Null gesetzt (möglichst ruhig halten, kleine Abweichungen beim Freihandexperiment sind ok). Sobald die Messung gestartet wird, den Sensor in eine Richtung parallel zur Tischplatte ziehen, bis der kleine 3D-gedruckte Quader bricht. Das Experiment kann zur Kontrolle mit mehreren gleichgedruckten Quadern wiederholt werden. Anschließend wird die andere Raumrichtung beim Druck (stehend/liegend) getestet.

Auswertung der Daten

Beschreibt Eure Beobachtungen während des Experiments:

Welcher Körper ist zuerst abgebrochen? Stimmen Eure Beobachtungen mit den Vermutungen überein?

Wie lassen sich die unterschiedlichen Stabilitäten erklären?

Sind die Bruchstellen unterschiedlich?

Für weiterführende Experimente: Welche Einstellungen beim Druck könnten noch einen Einfluss auf die Stabilität der 3D-Drucke haben? Entwerfe ein Experiment, wie Deine Vorschläge systematisch untersucht werden können.

6. Danksagungen und Ausblick.

An der Entstehung eines solchen Handbuches sind viele Personen beteiligt. An dieser Stelle möchten wir uns für die Unterstützung und Zusammenarbeit bei folgenden Personen, Firmen und Institutionen bedanken:

Autodesk	Für die Freigabe zur Verwendung der Screenshots zu Fusion 360 und TinkerCAD.
T ³ Europe	Für die spannende und konstruktive Zusammenarbeit bei der Ausarbeitung des didaktischen Materials für den Einsatz von 3D-Druck im Fachunterricht.
Texas Instruments:	Für die Unterstützung und Kooperation im T ³ -Netzwerk.
Mirco Tewes	Für wichtige Hinweise zur quantitativen Auswertung der Experimente und für die Leihstellung von Laborbedarf.

Weiterer Dank geht an alle beteiligten Kollegen bei Conrad Electronic SE, die an der Erstellung der Publikation mitgewirkt haben.

Ausblick

Dieses Handbuch ist ein erster Schritt, um mit 3D-Druck anzufangen, doch wie geht es nun weiter? Das Feld der additiven Fertigung ist in ständiger Bewegung und viel Forschung findet in diesem Bereich statt: Höhere Druckauflösungen, schnellere Verfahren, Multi-Materialdruck oder z.B. 3D-Druck auf Stoffe sind nur einige der Themen. Aus diesem Grund - und von der Idee her, ein interaktives Handbuch zu schreiben - können wir mit dem Projekt eigentlich gar nicht fertig werden...

Ein verstärkter Einsatz von 3D-Druck in Bildungseinrichtungen führt direkt zu Fragen der Skalierbarkeit - wie lassen sich bequem und ohne großen Aufwand z.B. 10 oder mehr Drucker warten? Welche Einsatzmöglichkeiten gibt es über die hier vorgestellten hinausgehend? Haben Sie selbst Experimente mit 3D-Druckern oder 3D-Drucken durchgeführt?

Sehr gern möchten wir das Themenspektrum erweitern und vertiefen und Ihre Entdeckungen, Anregungen und Projekte mit aufnehmen in die nächste Version dieses Handbuchs! Wir freuen uns über Anregungen, Vorschläge, Kritik, konkrete Projekte... education@conrad.de

Ihr Autorenteam vom Conrad Technology Center (CTC), Conrad Electronic SE