



# Additive Fertigung im handlungsorientierten Unterricht umsetzen.

## Herausforderungen und Lösungsansätze

Gernot Dreisiebner

*Themen wie additive Fertigung und 3D-Druck sind mittlerweile aus Nischen im (Fort-)Bildungsbereich hervorgetreten und auch bereits im Regelschulwesen Bestandteil von Lehrplänen geworden. Hieraus ergeben sich neue didaktische Herausforderungen, insbesondere wenn es darum geht, die Lernenden in der Entwicklung von Handlungskompetenz mit dieser neuen Technologie zu unterstützen. Im Zentrum dieses Beitrages steht die Fragestellung, welche Herausforderungen mit einer handlungsorientierten Didaktik des 3D-Drucks verknüpft sind und welche praktischen Implikationen sich für den schulischen Unterricht ableiten lassen. Hierfür erfolgt ein compilerischer Zugang über Literatur zur Handlungsorientierung, woraus in der Folge Herausforderungen für die Umsetzung handlungsorientierten*

*Unterrichts mit 3D-Druckern abgeleitet werden. Insbesondere das Zurverfügungstellen der Hardware in Verbindung mit einer lebensweltlichen Anwendung des Gelernten stellt hierbei eine zentrale Herausforderung dar.*

*Additive manufacturing and 3D-printing are no longer topics being discussed in the highly specialized educational settings of Makerspaces and Fablabs but are also part of the curricula of certain school types within the formal school system. Out of this increased prevalence originate new didactical challenges, especially when it comes to enabling learners to develop a holistic competence of action taking. At the center of this paper lies the research question, which challenges are linked to an action-oriented teaching of 3D-printing and which practical implications might be derived. A compilatory approach is used via literature on action-oriented teaching and learning. Within a next step, challenges for implementing action-oriented learning in connection with 3D-printing in a school-based environment are derived. It becomes apparent, that supplying the hardware and enabling realistic application scenarios for the learners represent main challenges in teaching 3D-printing at school.*

## 1. Einleitung

Additive Fertigung und 3D-Druck sind nicht nur Zukunftstechnologien mit großem Potenzial, sondern haben sich mittlerweile auch im Bildungsbereich etabliert (Fastermann/Ćirić 2014; Sommer et al. 2018). Anfangs noch im außerschulischen Bereich in Form von Fablabs und Makerspaces verortet, haben die Themenbereiche nunmehr auch Einzug in das technische Schulwesen gefunden und sind auch im kaufmännischen berufsbildenden Schulwesen mittlerweile etabliert, so auch in der Handelsakademie. Im Schul-

zweig *Industrial Business* ist in der aktuellen Fassung des Lehrplanes 2020 das Seminar *Industrial Design* und *3D-Druck* als möglicher Erweiterungsbereich geführt (Lehrplan der Handelsakademie – Industrial Business: 107f.). Der Lehrstoff umfasst neben Materialkunde und unterschiedlichen 3D-Drucktechniken und der Bewertung von Einsatzszenarien auch die praktische Anwendung. Hierbei sollen die Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, eigenständig Objekte in 3D-Netzen zu erstellen und zu drucken.

Die Verortung im Regelschulwesen birgt jedoch auch neue didaktische Herausforderungen, gilt es nun doch, nicht eine spezielle, technikversierte Zielgruppe zu erreichen, sondern eine wesentlich breitere und heterogene Zielgruppe an Lernenden dazu zu motivieren, sich mit den neuen Inhalten auseinanderzusetzen. Die Lernenden sollen nicht nur ein fundiertes Fachwissen über Themen der additiven Fertigung entwickeln, sondern sollen darüber hinaus auch in der Lage sein, neuartige Problemstellungen selbstständig zu lösen. Kurz: Die Herausforderung besteht darin, die Handlungskompetenz der Lernenden zu entwickeln.

Einen möglichen Zugang zu einer Didaktik des 3D-Drucks bietet somit der *handlungsorientierte Unterricht* im Sinne von Peterßen (2009). Handlungsorientiertes Lernen basiert auf dem Prinzip, dass die Lernenden die Phasen der *Zielsetzung*, *Planung*, *Ausführung* und *Kontrolle* sukzessive selbstständig durchlaufen. Lehrende unterstützen die Schülerinnen und Schüler insbesondere in der Phase der Zielsetzung, anschließend rückt das selbständige

Handeln der Lernenden in den Vordergrund, welche auch explizit die Kontrolle miteinschließt.

Während für andere Domänen, wie z. B. Lernfirmen, bereits umfassende Publikationen zur Ausgestaltung einer handlungsorientierten Didaktik bestehen (u. a. Berchtold/Stock 2006), liegen derartige Betrachtungen für das Feld additiver Fertigung und 3D-Druck noch nicht vor. Im Zentrum dieses Beitrages steht daher die *leitende Fragestellung*, welche Herausforderungen mit einer handlungsorientierten Didaktik des 3D-Drucks verknüpft sind und welche praktischen Implikationen sich hieraus für den schulischen Unterricht ableiten lassen. Auf diese Weise soll dieser Beitrag eine weitere Facette zur Etablierung additiver Fertigungsverfahren im Unterricht beitragen, sodass diese Zukunftstechnologie Lernenden auf didaktisch fundierte Weise nähergebracht werden kann.

Der gegenständliche Beitrag fußt auf einem kompilatorischen Forschungsdesign, welches seine Erkenntnisse insbesondere aus der handlungsorientierten Didaktik (u. a. Peterßen 2009; Reetz/Seyd 1995) bezieht. Im Anschluss an die Einleitung (Kapitel 1) erfolgt eine theoretische Grundlegung handlungsorientierten Unterrichts (Kapitel 2). Darauffolgend wird das Thema handlungsorientierten Unterrichts in Kapitel 3 ergänzt um jene Herausforderungen, die der Einsatz von 3D-Druckern im Unterricht mit sich bringt. Insbesondere kristallisieren sich hierbei die folgenden Herausforderungen heraus: (1) Handeln ermöglichen – Hardware zur Verfügung stellen, (2) Lernen am Modell ermöglichen, (3) Sicheres

Handeln ermöglichen – geeignete 3D-Drucktechniken und Materialien verwenden sowie (4) Lebensweltliche Anwendung sicherstellen. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einer Conclusio.

## 2. Handlungsorientierter Unterricht

Handlungsorientierter Unterricht verfolgt das Ziel, dass Lernende selbstständig in der Lage sind, Probleme basierend auf eigener *Planung, Durchführung* und *Kontrolle* zu bewältigen. Handlungsorientierung ist somit nicht gleichzusetzen mit blindem Aktionismus (bzw. Handeln um des Handelns willen), sondern betrachtet Handeln als Instrument zur Entwicklung von Selbstständigkeit und zur Kompetenzentwicklung. Handeln im Sinne der Handlungsorientierung bezieht sich auf „überlegtes und systematisches Handeln“ (Reetz/Seyd 1995: 212) bzw. „absichtsvolles, zielgerichtetes Verhalten“ (Aebli 1978: 18). Diese Zielorientierung birgt die Voraussetzung, dass der „Lernprozess sinnvolle Ziele in Form von Aufgaben und Problemen enthält, von denen her die Lernenden ihre Aktivitäten zunehmend selbstständig organisieren können“ (Reetz/Seyd 1995: 212).

Die im Zuge der handlungsorientierten Didaktik postulierte selbstständige Fähigkeit zur Problemlösung weist Parallelen mit dem Konzept der *Handlungskompetenz* auf. Der Definition nach Weinert (2014) folgend, umfassen Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die da-

mit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert 2014: 27f.). Deutlich wird anhand dieser Definition: Kompetenzen sind erlernbar, sie können individuell weiterentwickelt werden. Kompetenzen gehen deutlich über Wissen hinaus, sondern umfassen auch Fähigkeiten und Fertigkeiten. Gleichzeitig reicht die bloße Fähigkeit nicht aus, denn es geht auch um die Bereitschaft zur Problemlösung.

Zur Erreichung einer ganzheitlichen Handlungsfähigkeit im Sinne von Peterßen (2009) ist das Zusammenwirken von vier Kompetenzdimensionen erforderlich: (1) Fachkompetenz, (2) Sozialkompetenz, (3) Methodenkompetenz und (4) Selbstkompetenz. Erst durch das Zusammenspiel aller vier Kompetenzdimensionen kann sich ganzheitliche Handlungsfähigkeit entwickeln (Abbildung 1). Fachkompetenz (z. B. im Bereich Materialkunde) ist somit eine hinreichende, jedoch keine ausreichende Bedingung für die Entwicklung von Handlungsfähigkeit. Vielmehr benötigen die Lernenden u. a. auch Sozialkompetenz (z. B. Teamfähigkeit), Methodenkompetenz (z. B. Präsentationsfähigkeit) sowie Selbstkompetenzen (z. B. Zielstrebigkeit), um neuartige Problemstellungen selbstständig lösen zu können.



Fünf Merkmale sind zentral für handlungsorientierten Unterricht (Gudjons 1998: 109ff.; Stock et al. 2016: 8): (1) *Aktivierung mehrerer Sinne*, da die Lernenden eigenständig nach relevanten Sachinformationen suchen, basierend auf ihren Handlungszielen. (2) *Selbstverantwortung und Methodenkompetenz* der Lernenden, da die Lernenden nicht nur selbst für die Zielerreichung Verantwortung tragen, sondern auch die Ziele gemeinsam mit den Lehrenden definieren können. (3) *Produktorientierung* hinsichtlich der Lern-Outcomes. Die Ergebnisse des Lernprozesses münden bei handlungsorientiertem Unterricht stets in einem konkreten Produkt. Dies kann ein 3D-Modell, ein gedrucktes 3D-Objekt oder

schlicht eine Handlungsempfehlung für ein situationsadäquates 3D-Druckverfahren sein – stets handelt es sich jedoch um ein konkretes Produkt. (4) *Kooperatives Handeln* der Lernenden. Beim handlungsorientierten Lernen kooperieren die Lernenden untereinander und lernen anhand gemeinsamer Problemlösung. Dieser für die Sozialkompetenz der Lernenden förderliche Prozess ist von ebenso großer Bedeutung wie das zu erstellende Produkt. (5) *Lebensweltlicher Bezug*. Das Handeln der Lernenden findet in keinem abstrakten Rahmen statt, sondern soll in die Lebenswelt der Lernenden eingebettet sein.

Eine wesentliche Komponente komplexer handlungsorientierter Lehr-Lern-Settings nimmt das *Lernen im bzw. am Modell* ein. Die Lernenden sollen auf diese Weise in die Lage versetzt werden, transfähfähiges Wissen und Kompetenzen zu erwerben (Tramm/Gramlinger 2006: 7f.). Dieser Kompetenzzuwachs wird erst durch vollständiges Handeln im bzw. am Modell ermöglicht. Handeln im Sinne von Peterßen (2009: 145) ist erst vollständig, wenn die Lernenden selbstständig (Fein-)Ziele definieren, eine Handlung planen, anschließend durchführen und auch selbstständig die Zielerreichung kontrollieren (Berchtold/Stock 2006: 5f.). Dieses selbstständige Handeln ist nicht fehlzuinterpretieren als ‚Alleine-Lassen‘ der Lernenden in der Problemlösung. Vielmehr begleitet die Lehrkraft den Prozess und unterstützt, betreut und moderiert. Über die einzelnen Phasen des vollständigen Handelns hinweg ist die Lehrkraft in unterschiedlicher Intensität eingebunden. Während die Lehrkraft in der Phase der Zielsetzung eher im Vordergrund

steht und den Lernenden eine grobe Zielrichtung vorgibt, so tritt die Lehrkraft in den folgenden Phasen der Planung, Ausführung und Kontrolle in den Hintergrund. Sie beobachtet jedoch den Prozess und greift gegebenenfalls unaufgefordert (Peterßen 2009: 145ff.) in den Prozess ein.

### 3. Herausforderungen einer handlungsorientierten Didaktik des 3D-Drucks

Zur praktischen Umsetzung einer handlungsorientierten Didaktik des 3D-Drucks ergeben sich insbesondere vier Problemfelder, die im Folgenden eine nähere Betrachtung erfahren sollen:

- Handeln ermöglichen – Hardware zur Verfügung stellen
- Lernen am Modell ermöglichen
- Sicheres Handeln ermöglichen – Geeignete 3D-Drucktechniken und Materialien verwenden
- Lebensweltliche Anwendung sicherstellen

(1) *Handeln ermöglichen – Hardware zur Verfügung stellen.* Um Lernenden ein vollständiges (und selbstständiges) Durchlaufen des PDCA-Regelkreises zu ermöglichen, ist im Vergleich zu den fachtheoretischen Unterrichtsgegenständen zunächst die entsprechende Hardware zur Verfügung zu stellen. Derselbe Gedanke gilt auch für einen handlungsorientierten Unterricht in der (Wirtschafts-)Informatik, wo die Lernenden ebenfalls in der Schule Arbeitsgeräte in PC-Räumen vorfinden und die heimische Ausstattung für Hausübungen nutzen. Anders als ein PC gehören 3D-Drucker jedoch nicht zum Standardrepertoire der Ausstattung in

Schulen und Haushalten. Zudem sind – je nach verwendeter Drucktechnik und Preisklasse – die Geräte um ein Vielfaches teurer als ein handelsüblicher PC.

Dennoch stellt das praktische Handeln eine unverzichtbare Komponente handlungsorientierten Unterrichts dar. Es erscheint somit auch keine Alternative, lediglich ein Exemplar eines 3D-Druckers für eine Schule anzuschaffen. Vielmehr erscheint sich handlungsorientierter Unterricht nur umsetzen zu lassen, wenn möglichst viele Lernende (einzeln oder zumindest in Kleingruppen) über Zugang zu einem 3D-Drucker verfügen. Dies ist auch unter dem Aspekt sinnvoll, dass 3D-Druck je nach Modell ein zeitintensives Fertigungsverfahren darstellt und nur unter dem parallelen Einsatz mehrerer Drucker alle Lernenden ein eigenes Modell innerhalb einer Lerneinheit fertigen können.

Günstige 3D-Drucker nach dem FDM-Verfahren liegen preislich aktuell in einem niedrigen dreistelligen Bereich und damit deutlich unter den Kosten eines Desktop-PC-Arbeitsplatzes. Somit erscheint auch die Anschaffung von mehreren baugleichen Geräten für einen Schulstandort finanzierbar. Mehrere preisgünstige Geräte bieten – wie im Folgenden gezeigt wird – darüber hinaus noch weitere Vorteile.

(2) *Lernen am Modell ermöglichen.* Kostspielige Modelle zeichnen sich meist durch einen abgeschlossenen (und abschließbaren) Bauraum aus, oftmals durchsichtig ausgeführt, sodass der Druckvorgang beobachtet werden kann. Insbesondere bei einem beheizten Druckbett erhöht dies im schulischen Kontext die Sicher-

heit und ein abschließbarer Bauraum trägt dazu bei, dass der Drucker potenziell auch öffentlich zugänglich (z. B. im Gangbereich) platziert werden kann. Gleichzeitig verhindert ein derart abgeschlossener Bauraum, dass die basisbildenden Elemente des 3D-Drucks (z. B. das schichtweise Entstehen des Modells, die Bewegung entlang der drei Achsen) ungehindert beobachtet werden können. Preisgünstige Modelle verfügen hingegen oftmals über keinen abgeschlossenen Bauraum, was ein ungehindertes Beobachten des Druckvorgangs und ein Lernen am Modell ermöglicht.

*(3) Sicheres Handeln ermöglichen – Geeignete 3D-Drucktechniken und Materialien verwenden.* Wenn alle Schülerinnen und Schüler unmittelbar handeln sollen (und über eine ausreichende Anzahl an 3D-Druckern verfügen), so muss das Handeln sicher sein. Dies bezieht sich auf die folgenden beiden Aspekte: (1) *Dämpfe*. Mit flüssigen Kunstharzen arbeitende 3D-Drucker (z. B. UV-Stereolithografie) zählen ebenfalls zu den kostengünstigsten Modellen in der Anschaffung. Gleichzeitig können hierbei jedoch – wie auch bei anderen Verfahren – giftige Dämpfe entstehen (Lachmayer/Lippert 2020: 26), welche andere 3D-Drucktechnologien wie das Fused Deposition Modelling (FDM) lohnender für einen schulischen Einsatz erscheinen lassen. (2) *Hitze*. Wird ein 3D-Drucker nach dem Fused Deposition Modelling-Verfahren eingesetzt, so kann durch die Auswahl des geeigneten Materials die Verarbeitungssicherheit beim selbstständigen Arbeiten durch die Lernenden erhöht werden. Druckmaterialien wie ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) benötigen eine hohe Verarbeitungstemperatur von bis zu

250 °C und ein auf rund 100 °C erhitztes Druckbett. Im Gegensatz dazu reicht beim Druck mit PLA (Poly Lactic Acid) bereits eine Verarbeitungstemperatur von 180 °C, wobei kein beheiztes Druckbett notwendig ist.

(4) *Lebensweltliche Anwendung sicherstellen*. Sämtliche der fünf zentralen Merkmale handlungsorientierten Unterrichts nach Gudjons (1998: 109ff.) können etwa durch eine fachliche Vernetzung von 3D-Druck und Junior Companies (Dippl/Elster 2006) erzielt werden. Im Rahmen der mehrdimensionalen Lehr-Lern-Form Junior Company entwickeln Schülerinnen und Schüler eigene Produktideen bis zur Marktreife und produzieren und verkaufen ihr Produkt in einem kleinen Rahmen. Junior Companies verfügen über einen Projektcharakter und werden meist für die Dauer eines Schuljahres gegründet. Im Gegensatz zu anderen Formen von Lernfirmen sind in der Junior Company die Geld- und Güterströme real (Gramlinger 2000: 19). 3D-Druck erscheint als überaus geeignetes Produktionsverfahren für Junior Companies, zumal sich die abgesetzten Stückzahlen oft in einem kleinen Rahmen bewegen.

#### 4. Zusammenfassung und Conclusio

Im Rahmen des gegenständlichen Beitrags steht die leitende Fragestellung im Zentrum, wie eine handlungsorientierte Didaktik des 3D-Drucks gestaltet werden kann. Hierfür wurden einem kompilatorischen Forschungsdesign folgend zunächst die Grundlagen handlungsorientierter Didaktik beleuchtet (Kapitel 2). An-

schließlich wurden auf dieser Grundlage in Kapitel 3 die Herausforderungen einer handlungsorientierten Didaktik des 3D-Drucks im schulischen Kontext abgeleitet.

Die Herausforderungen einer handlungsorientierten Didaktik bestehen insbesondere darin, dass (im Gegensatz zu primär kognitiv getriebenen Unterrichtsgegenständen wie der Mathematik) zunächst die notwendige Hardware für das *Handeln* zur Verfügung gestellt werden muss. Dem Handeln ist hierbei der Vorzug vor dem passiven Rezipieren respektive Zusehen zu geben. Hierfür erscheint es jedoch notwendig, dass ausreichend Geräte zur Verfügung stehen, sodass die Schülerinnen und Schüler selbstständig mit diesen arbeiten können. Um ein *Lernen am Modell* zu ermöglichen, muss der Bauraum einfach zugänglich und der Druckprozess möglichst gut sichtbar sein. Zentrales Charakteristikum handlungsorientierter Didaktik ist der Fokus auf Selbstständigkeit. Durch Auswahl geeigneter 3D-Drucktechnologien und -materialien, welche bei niedrigen Temperaturen verarbeitet werden, kann ein *sicheres* (und dennoch selbstständiges) *Handeln* garantiert werden. In Bezug auf die lebensweltliche Anwendung eignet sich insbesondere die Verknüpfung mit anderen Unterrichtsgegenständen, beispielsweise der Junior Company in der Handelsakademie.

Die Umsetzung handlungsorientierten Unterrichts im Bereich der additiven Fertigung erscheint im Regelschulwesen zunächst höher als in zahlreichen anderen Unterrichtsgegenständen. Trotzdem zeigen bestehende *Makerspaces* und *Fablabs* auf, welches di-

daktische Potenzial ‚guter‘ Unterricht in diesem Bereich birgt. Insbesondere das Lehr-Lern-Setting einer Junior Company erscheint als geeignet, um additive Fertigungstechniken in einem lebensweltlichen Kontext zu erlernen. In diesem Zusammenhang gilt es jedoch, initiale Ressourcenrestriktionen zu bewältigen, wobei die im Zuge dieses Beitrages aufgezeigten Lösungsansätze eine Unterstützung bieten können.

---

## Literatur

Aebli, Hans (1978): Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf kognitionspsychologischer Grundlage, Stuttgart: Klett/Cotta.

Berchtold, Stephan/Stock, Michaela (2006): Wo ist das Denken im handlungsorientierten Unterricht? In: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (H. 10), 1–17, online unter: [http://www.bwpat.de/ausgabe10/berchtold\\_stock\\_bwpat10.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe10/berchtold_stock_bwpat10.pdf) (letzter Zugriff: 15.11.2020).

Dippl, Zorana/Elster, Frank (2006): Die Juniorenfirma „nice to have“ oder innovatives Lernarrangement, in: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (H. 10), 1–14, online unter: [http://www.bwpat.de/ausgabe10/dippl\\_elster\\_bwpat10.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe10/dippl_elster_bwpat10.pdf) (letzter Zugriff: 15.11.2020).

Fastermann, Petra/Ćirić, Dean (2014): Fabucation: 3D-Druck in der Schule. Die revolutionäre Technologie und ihre Folgen einfach erklärt, Norderstedt: BoD.

Gramlinger, Franz (2000): Die Übungsfirma auf dem Weg zur Lernfirma? Eine empirische Darstellung in Form zweier Portraits, Bergisch Gladbach: Hobein.

Gudjons, Herbert (1998): Didaktik zum Anfassen: Lehrer/in-Persönlichkeit und lebendiger Unterricht, Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Lachmayer, Roland/Lippert, René Bastian (2020): Entwicklungsmethodik für die Additive Fertigung, Lehrbuch, Berlin: Springer.

Lehrplan der Handelsakademie – Industrial Business: BGBl. II Nr. 191/2020 vom 30. April 2020: Anlage A11B.

Peterßen, Wilhelm H. (2009): Kleines Methoden-Lexikon, München: Oldenbourg.

Reetz, Lothar/Seyd, Wolfgang (1995): Curriculare Strukturen beruflicher Bildung, in: Arnold, Rolf/Lipsmeier, Antonius (Hg.) (1995): Handbuch der Berufsbildung, Opladen: Leske + Budrich, 203–219.

Sommer, Werner/Schlenker, Andreas/Lange-Schönbeck, Claus-Dieter (2018): Faszination 3D-Druck: Alles zum Drucken, Scannen, Modellieren, Burgthann: Markt + Technik.

Stock, Michaela/Riebenbauer, Elisabeth/Dreisiebner, Gernot (2016): 20 Jahre Übungsfirma an der Karl-Franzens-Universität Graz (1996–2016), Graz: Institut für Wirtschaftspädagogik.

Tramm, Tade/Gramlinger, Franz (2006): Lernfirmenarbeit als Instrument zur Förderung beruflicher und personaler Selbständigkeit, in: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (H. 10), 1-21, online unter: [http://www.bwpat.de/ausgabe10/tramm\\_gramlinger\\_bwpat10.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe10/tramm_gramlinger_bwpat10.pdf) (letzter Zugriff: 15.11.2020).

Weinert, Franz E. (2014): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit, in: Weinert, Franz E. (Hg.) (2014): Leistungsmessungen in Schulen, Weinheim: Beltz, 17–31.