

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/358139799>

Fachdidaktische Perspektiven und Szenarien des 3D-Drucks im naturwissenschaftlichen Unterricht

Article · January 2022

CITATIONS

0

READS

201

5 authors, including:



Monique Meier

Technische Universität Dresden

77 PUBLICATIONS 211 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Thomas Schubatzky

University of Innsbruck

65 PUBLICATIONS 59 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Markus Obczovsky

Karl-Franzens-Universität Graz

4 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lars-Jochen Thoms

University of Konstanz

62 PUBLICATIONS 159 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

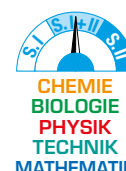
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Formeln im Physikunterricht [View project](#)



vidubiology - creative video for biology [View project](#)



Fachdidaktische Perspektiven und Szenarien des 3D-Drucks im naturwissenschaftlichen Unterricht

MONIQUE MEIER – THOMAS SCHUBATZKY – MARKUS OBCZOVSKY – LARS-JOCHEN THOMS – CHRISTOPH THYSEN

Der 3D-Druck kann im naturwissenschaftlichen Unterricht vielfältige Möglichkeiten für fachinhaltliche Kontexte und methodische Zugänge eröffnen, sogar dann, wenn an Schulen kein 3D-Drucker verfügbar ist. Um die Potenziale zu bewerten, bedarf es einer Analyse möglicher Szenarien der Integration des 3D-Drucks aus unterschiedlichen Perspektiven. Im Beitrag wird ein Schema zur strukturierten Kategorisierung und Beschreibung zur Diskussion gestellt.

1 3D-Druck – Eine digitale Technologie für den und im Unterricht?!

„In den letzten Jahren wurden die Technologien für das Ausdrucken von Objekten (3D-Druck) erheblich verbessert. Gleichzeitig sanken Anschaffungs- und Betriebskosten, so dass der Einsatz von 3D-Druckern im Schulunterricht nunmehr möglich ist und ein enormes Potenzial [...] bietet“ (HASLINGER & SCHRÖDER, 2020, 137). Derartige Einschätzungen finden sich immer

häufiger in Artikeln oder Vorschlägen für die Unterrichtspraxis rund um das Thema 3D-Druck. Für die Schule, die Fachgruppe(n) oder einzelne Lehrkräfte stellen sich folgende Fragen, wenn es um eine Auseinandersetzung mit 3D-Druck (auch im Unterricht) oder sogar um die Anschaffung eines oder mehrerer 3D-Drucker geht: Welche fachinhaltlichen Kontexte können konkret anhand von, mit oder durch 3D-Druck erarbeitet werden? Gibt es unterschiedliche didaktisch-methodische Zugänge und welche sinnvollen Einsatzszenarien lassen sich daraus

ableiten? Insbesondere wenn schon ein Gerät vorhanden ist, sollten diese Überlegungen zügig angestoßen werden. Die Annäherung von 3D-Druck-Novizen an die Frage, ob und wie 3D-Druck im Unterricht thematisiert werden kann, sollte mit mindestens zwei Punkten einhergehen: den Rahmenbedingungen und den Zielsetzungen. Zunächst müssen der Standort bzw. die Verfügbarkeit eines 3D-Druckers berücksichtigt werden. Aus Sicht einer Lehrkraft etwa ergibt es einen großen Unterschied in Bezug auf die Einsatzpotenziale von 3D-Druck im Unterricht, ob es einen 3D-Drucker direkt im Fachraum gibt, ob es einen schuleigenen 3D-Drucker in einem bestimmten Technik- oder Sammlungsraum gibt, ob Lehrkräfte zu Hause einen privaten 3D-Drucker besitzen oder ob sie lediglich die Möglichkeit haben, auf einen 3D-Druck-Service zurückzugreifen. Die Sachlage in diesen Punkten hat Einfluss auf Zeitabläufe oder Trial & Error-Ansätze beim Drucken zur Integration in den Unterricht. Zudem sind didaktische und methodische Überlegungen dahingehend erforderlich, zu welchem Zweck und auf welche Art 3D-Druck für den und im Unterricht eingesetzt werden kann. Bisherige Literatur und entsprechende Reviews zum Einsatz von 3D-Druck in schulischen und außerschulischen Lehr-Lernsettings verbleiben meist entweder auf einer Ebene, die für eine unterrichtliche Auseinandersetzung zu allgemein ist (z. B. FORD & MINSALL, 2019) oder fokussieren auf einzelne, sehr konkrete Einsatzszenarien (z. B. KAISER, 2020), oft ohne diese im Sinne einer didaktischen und methodischen Analyse einzuordnen. Um zentrale Abwägungen zur Einbettung von 3D-Druck in den Unterricht oder gar zur Anschaffung zu erleichtern, möchten wir mit diesem Beitrag einen heuristisch entwickelten, dreidimensionalen Denk- und Handlungsraum zum Einsatz von 3D-Druck im Fachunterricht der MINT-Fächer vorstellen, anhand dessen eine Diskussion hinsichtlich Schulrelevanz erleichtert werden soll. Wir stellen dabei bewusst keinen Anspruch auf eine vollständige Beschreibung aller möglichen Einsatzszenarien, sondern möchten vielmehr eine strukturierte Betrachtung über verschiedene Unterrichtsbezüge von 3D-Druck anstoßen. In diesem Beitrag werden daher unter dem „3D-Druck“ als digitale Technologie, Inhalt und Methode in Schule und Unterricht die Teilbereiche „3D-Drucker“, „3D-Drucken (Design- und Produktionsprozess)“ und „3D-Objekt“ subsummiert (Abb. 1).

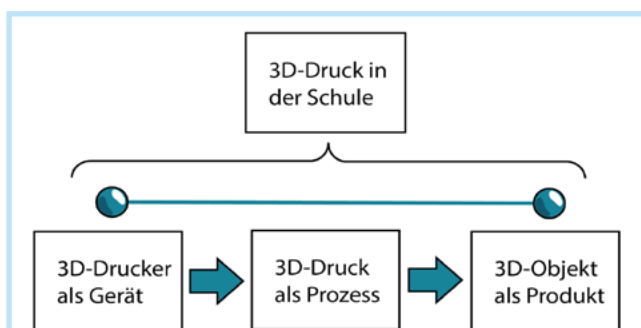


Abb. 1. 3D-Druck als vielschichtiger Zugang in Schule und Unterricht

Der Ausgestaltung von Unterricht zum und mit 3D-Druck liegt in den Ausführungen der nachfolgenden Perspektiven und Szenarien ein eng gefasstes Begriffsverständnis von Didaktik zu-

grunde. Eine Didaktik im engeren Sinne umfasst die Ziel- und Inhaltsdimension und behandelt Fragen nach dem „Wozu“ und dem „Was“ im Unterricht. Die Methodik wird hierbei als eigenständige Planungsdimension abgegrenzt und beschäftigt sich mit dem „Wie“ und dem „Womit“ im Unterricht (RIEDL, 2010). Die Begrifflichkeiten Didaktik und Methodik werden im Folgenden gemäß dieser definitorischen Abgrenzung verwendet. Entsprechend kann 3D-Druck sowohl didaktischer Unterrichtsinhalt (z. B. der 3D-Drucker als technisches Gerät, die Chemie des 3D-Drucks, u.v.m.) als auch Werkzeug oder Medium und damit Teil der methodischen Gestaltung des Unterrichts sein.

Im nächsten Abschnitt werden zunächst die Idee und damit einhergehende Perspektiven auf 3D-Druck in der Schule sowie der Aufbau des Denk- und Handlungsraums beschrieben, bevor einige ausgewählte Beispiele aus unterschiedlichen Fächern in diesen eingeordnet werden.

2 Perspektiven auf den 3D-Druck im naturwissenschaftlichen Unterricht

Für den Unterricht lassen sich sowohl über den 3D-Drucker selbst als auch den Prozess des Druckens sowie die erstellten Objekte (Abb. 1) eine Vielzahl fachinhaltlicher Kontexte erschließen, die im fachspezifischen, fächerübergreifenden und fächerverbindenden naturwissenschaftlichen Unterricht aufgegriffen werden können. Eine strukturierte Auseinandersetzung mit 3D-Druck kann unter verschiedenen Perspektiven und im Hinblick auf unterschiedliche Zielsetzungen erfolgen: (i) Initial kann nicht nur die Frage aufgeworfen werden, ob der Drucker, d. h. das Gerät an sich, oder eher ein damit erstelltes Produkt, ein gedrucktes 3D-Objekt, im Vordergrund steht, da prinzipiell auch der Design- und Druckprozess zum 3D-Objekt Teil von Unterricht sein kann (Abb. 1; Kap. 2.1).

(ii) Darüber hinaus ist zu differenzieren, ob es sich um eine eher methodische oder didaktische Integration von 3D-Druck handelt (Kap. 2.2) und (iii) damit einhergehend auch, welcher Kontext betrachtet wird (Kap. 2.3).

Demnach umfasst eine didaktisch-methodische Beschreibung und Analyse der unterrichtlichen Integration des 3D-Drucks die gedankliche Auseinandersetzung mit mindestens diesen drei Perspektiven, die in der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen sind und das Unterrichtshandeln beeinflussen können.

Ausgehend von diesen drei Perspektiven lässt sich ein dreidimensionaler Denk- und Handlungsraum zum Einsatz von 3D-Druck im (Fach-)Unterricht aufspannen. Die Grundebene (und damit die planerische Basis) wird von zwei fixen, universellen Achsen gebildet und senkrecht dazu steht eine dritte, kontextabhängige Achse aus jeweils einem Begriffspaar. Für eine Verortung möglicher Einsatzszenarien beschreibt eine der fixen Achsen den Bereich 3D-Drucker bis 3D-Druckobjekt. Senkrecht zu dieser Achse liegt entsprechend der Definition von Unterricht eine Spanne zwischen Didaktik und Methodik (vgl. z. B. Kasten 1). Vertikal erstreckt sich eine flexible, ggf. fachabhängige Achse, um die jeweiligen Kontexte zu verorten. Diese Achse erlaubt gedanklich eine Einordnung innerhalb einer Spanne zweier theoretischer Extrempositionen oder Pole. Für eine sinnvolle Verortung von Kontexten können an dieser Stelle

Achsen mit unterschiedlichen Extrempositionen wie z. B. Forschung und Alltag (Kasten 1), 3D-Druck-/Designprozess und 3D-Druck-Gerätetechnik (Prozess und Technik, Kasten 2), Chemie des 3D-Drucks und Technik des 3D-Druckverfahrens (Chemie und Technik, Kasten 3) eingesetzt werden. Für die Perspektive des Kontexts ergeben sich somit abhängig vom Unterrichtsfach mehrere verschiedene Begriffspaare (Kap. 2.3).

2.1 Perspektive des 3D-Druckers und des 3D-Druckobjekts

Am einen Ende der ersten universellen Hauptachse steht der 3D-Drucker als Unterrichtsschwerpunkt, in der Mitte folgt der Prozess des Designens und Druckens eines Druckobjekts und am gegensätzlichen Ende befindet sich die reine Verwendung des gedruckten 3D-Objekts (Abb. 1). Am Pol „3D-Drucker“ können beispielsweise die technische Umsetzung des Druckens mit den hier nötigen Materialien unterrichtlich thematisiert werden. Der 3D-Drucker hat als fachwissenschaftliches Forschungs- und Arbeitswerkzeug einen festen Platz in Laboren gefunden, wie z. B. PCR-Cycler, wodurch ebenso auch Anwendungsgebiete des 3D-Druckens in unterschiedliche Fachdisziplinen in den Unterricht einbezogen werden können. Zwischen den Polen erstreckt sich der „Design- und Druckprozess“, der als korrespondierende, fachgemäße Arbeitsweise aufgefasst werden kann. Am entgegengesetzten Pol steht das „3D-Druckobjekt“. Dieses kann in einem zugrunde gelegten 3D-Designprozess entwickelt und/oder selbst zum zentralen Lernmedium im Unterricht werden. Es kann im Lernprozess abhängig von der angestrebten Lernfunktion als fachwissenschaftliches Modell, Werkzeug, Ersatzteil, Anschauungs-/Strukturmodell oder Funktionsmodell fungieren, je nach didaktisch-methodischer Einbindung (Kap. 2.2).

2.2 Perspektive der Didaktik und Methodik

Aus der didaktischen Perspektive im engeren Sinne, d.h. als Inhalt, kann 3D-Druck als z. B. fachwissenschaftliche Methode im Unterricht auch integriert werden, wenn kein Gerät verfügbar ist. Eine biologische Thematisierung des Druckens von Organen, eine Betrachtung von Druck-Polymeren und ihren chemischen Eigenschaften oder eine physikalisch, thermische Analyse ihrer Ausdehnung und Kontraktion beim Druck bzw. beim Abkühlprozess sowie daraus resultierende Probleme sind auch ohne Gerät möglich, haben dadurch einen zentral didaktischen Fokus und adressieren keine Unterrichtsmethode. Eine klar methodische Nutzung liegt hingegen z. B. dann vor, wenn ein 3D-Druckobjekt als reines Medium oder Werkzeug eingesetzt wird. Mit einem 3D-Drucker lassen sich etwa für viele Unterrichtsfächer Repräsentationen mehrdimensionaler Zusammenhänge erstellen, die auch mit dem Tastsinn erschließbar sind. Das gedruckte 3D-Objekt steht dann den Lehrenden als Präsentationsmedium und den Lernenden für die Erkenntnisgewinnung zur Verfügung (THOMS, HOYER & GIRWIDZ, 2020). So lassen sich funktionale Zusammenhänge im Mathematikunterricht oder geografische Profile im Geografieunterricht über 3D-Druck haptisch zugänglich machen. In der Physik und der Chemie kann etwa die Zustandsfläche des idealen Gases in einem dreidimensionalen p - V - T -Diagramm visualisiert und gedruckt sowie thermodynamische Prozesse eingezeichnet werden. Durch Drehen des 3D-Druckobjekts in der Hand und

seitliches Betrachten lassen sich die Projektionen einer Zustandsänderung auf die von den Achsen aufgespannten Koordinatenebenen nachvollziehen, so dass die Zusammenhänge zwischen den p - V -, T - V - und p - T -Diagrammen direkt ersichtlich werden (THOMS, HOYER & GIRWIDZ, 2020).

Steht ein 3D-Druckobjekt hingegen als fachwissenschaftliches Modell im Fokus der unterrichtlichen Betrachtung, d. h. beispielsweise im Prozess der Modellbildung inkl. Modellkritik, überwiegt der didaktische Aspekt, da eine Umsetzung beispielsweise ggf. auch mit Fotos oder Videos des Objektes möglich wäre. Mit der Anwendung als Funktionsmodell verschiebt sich das didaktische Profil zum 3D-Druckobjekt hingegen wieder in eine methodische Perspektive. Die Balancierung von Didaktik und Methodik im Unterricht steht eng mit dem Kontinuum der Produktions-/Prozesskette von 3D-Drucker zum 3D-Druckobjekt zusammen und formt mit diesem die Grundebene eines fachübergreifenden Denk- und Handlungsraums.

2.3 Perspektive des Kontexts

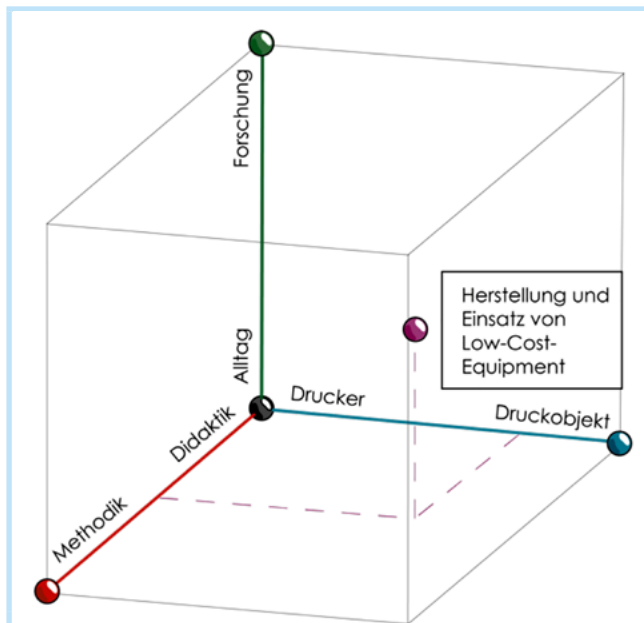
Das durch die Hauptachsen aufgespannte Einsatzfeld wird durch die dritte kontext-geprägte Perspektive für den Unterricht bzw. die Unterrichtsplanung konkretisiert. In Passung zu Fachspezifika und anvisierten Lehr-Lernzielen können unterschiedliche Begriffspaare als leitende Integrationsdimension des 3D-Drucks definiert werden. Alle drei Achsen gemeinsam bilden nun ein Koordinatensystem, in dem der Unterrichtsfokus zum oder mit dem 3D-Druck verortet und/oder abgeleitet werden kann. Die im Folgenden an Praxisbeispielen für diese Kontext-Achse beschriebenen Begriffspaare können entsprechend einer breiteren inhaltlichen Ausrichtung in unterschiedlichen Begriffspaaren zusammengeführt werden. Verdeutlicht am Pol „Technik“ zeigt sich, dass die maschinelle, technische Umsetzung dem technisch-methodisch ausgestalteten Designprozess zum Drucken gegenüberstehen kann (Kap. 2.3.2); ebenso kann aber auch die Chemie des Druckmaterials den Gegenpol bilden (Kap. 2.3.3). Es handelt sich folglich um ein anpassbares, offenes System, welches durch weitere Pole und ihrer definitiven Breite in Begriffspaaren zusammengeführt und in das Verhältnis zum didaktisch-methodischen Gefüge gesetzt werden kann. Im Folgenden werden ausgewählte Kontext-Begriffspaare beschrieben, die jeweils in Kombination mit der Didaktik-Methodik-Achse und der 3D-Drucker-Objekt-Achse einen fachübergreifenden Denk- und Handlungsraum rahmen. Eine Konkretisierung erfolgt anhand passender Praxisbeispiele bzw. Einsatzszenarien zum naturwissenschaftlichen Unterrichten mit, durch und über 3D-Druck.

2.3.1 Forschung und Alltag

Der 3D-Druck kann im Unterricht einerseits als eine etablierte Produktionstechnik im Alltag (Do-it-yourself-Reparaturen, Geschenk-Shops, etc.) und andererseits als ein spezifisches Verfahren in der Forschung und Fachwissenschaft behandelt werden. Natürlich sind gerade bei diesen Integrationsansätzen Mischformen möglich, welche beides berücksichtigen.

So weist z. B. das Drucken von Organen (u. a. MUNAZ et al., 2016) oder Interferometern (BERNSTEIN, WILHELM & SCHMELING, 2020) einen deutlich höheren spezifischen Forschungsbezug auf als das in Kasten 1 verortete und beschriebene Beispiel „Her-

stellung und Einsatz von Low-Cost-Equipment“ mit einem für die analytische Chemie entworfenen Werkzeug, was größere Parallelen mit Alltagsanwendungen aufweist.



Im Kontext der Elektrochemie spielt die Ag/AgCl-Referenzelektrode zur Bestimmung von Halbzellpotenzialen eine zentrale Rolle. Unter Einbindung von 3D-Druck ist es Lernenden möglich, hier in Eigenregie Low-Cost-Equipment selbst herzustellen und anschließend damit Messungen durchzuführen. Die zu druckenden Strukturen sind in Bezug auf die Komplexität so einfach, dass auch Novizen entsprechende Produkte erfolgreich planen und erzeugen können (SCHMIDT, KING & KARIUKI, 2018).

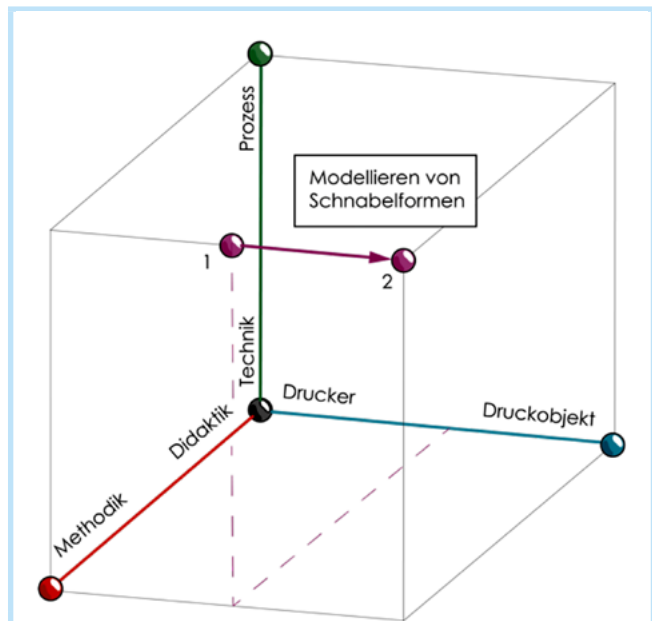
Kasten 1. Einsatzszenario „Herstellung und Einsatz von Low-Cost-Equipment“ für das Fach Chemie mit der kontextabhängigen Achse Alltag und Forschung

2.3.2 Technik und (Design-)Prozess

Eine Auseinandersetzung mit dem 3D-Drucker als möglichem Lehr-Lerngegenstand wird leicht mit einem reduzierten Blick auf die Technik zum Drucken und den damit verbundenen technischen Fähigkeiten bei Lehrenden und Lernenden verbunden. Natürlich sind die technische Umsetzung bzw. Ausübung des Druckens wichtig, müssen aber im Unterricht nicht zwingend zur Anwendung kommen. Ausgewählte Drucktechniken können hinsichtlich ihrer fachbezogenen Anwendung reflektiert und zum fachlichen Lernen tiefergehend analysiert werden (Kap. 2.3.3), wodurch die Technik den Unterricht nur didaktisch und nicht methodisch gestaltet. Bietet sich das auch für den (Design-)Prozess zum Drucken an, kann dieser, wie im Beispiel „Modellieren von Schnabelformen“ in Kasten 2, in ein konstruktivistisches Unterrichtsszenario zur aktiven, technologiebezogenen Auseinandersetzung mit einem Fachinhalt beim Forschenden Lernen eingebunden werden. Hierbei werden beispielsweise Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung der Mittel- und Oberstufe adressiert (KMK, 2005, 2020a).

2.3.3 Technik und Chemie

Die für 3D-Druck etablierten Drucktechniken und -anwendungen nutzen im Hinblick auf die jeweils verwendeten Materialien gezielt deren spezielle, für das jeweilige Verfahren taugliche Stoffeigenschaften (z. B. Schmelzschichtverfahren mit Flüssigkristallpolymeren). Gleichzeitig müssen die Materialien auch bestimmte Anforderungen im Hinblick auf die daraus resultierenden Produkteigenschaften erfüllen. Eine unterrichtliche Thematisierung und Integration kann demnach die Drucktechniken, die Materialeigenschaften oder auch Teile beider Bereiche umfassen.

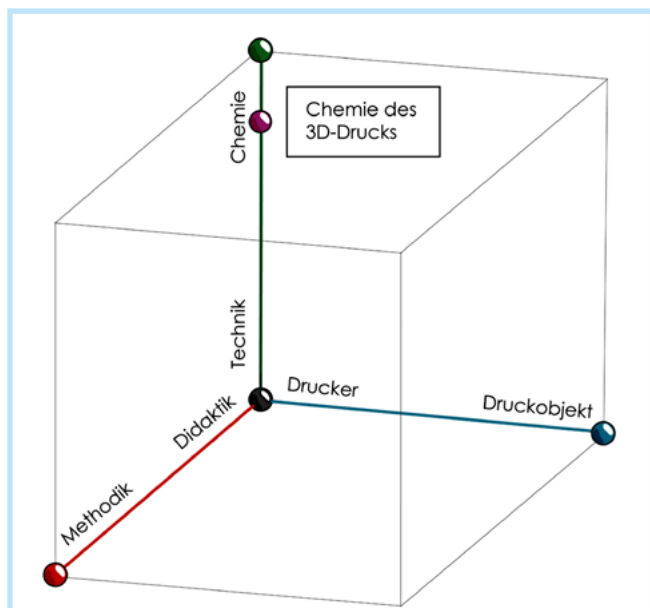


In einer problembasierten Integration von selbstkonstruierten und -modellierten 3D-Druckobjekten in einen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess kann eine aktive Auseinandersetzung mit biologischen Kontexten (z. B. Zusammenhang zwischen Schnabelform von Wattvögeln, der Nahrungsquelle und klimabedingten Veränderungen, angelehnt an MEIER & THYSSEN, 2021 nach einem Beispiel von KWON, LEE & KWON, 2020) initiiert werden. Der Designprozess zum Drucken, indem beispielsweise virtuelle 3D-Modelle von Wattvogel-Schnäbeln erstellt werden, dominiert das Unterrichtsgeschehen (violette Kugel 1). Hingegen kann das Drucken dieser Schnäbel auch zeitversetzt neben dem Unterricht stattfinden oder über einen Druckservice realisiert werden, was den Fokus auf das fertige Objekt verschiebt (violette Kugel 2). Letzteres nimmt dem Arbeitsprozess jedoch mögliche Fehlerkorrekturschleifen zwischen virtuellem Modell, Druckeinstellungen und dem Drucken; dies sollte in den fachmethodischen Lernzielen Berücksichtigung finden.

Kasten 2. Einsatzszenario „Modellieren von Schnabelformen“ für das Fach Biologie mit der kontextabhängigen Achse Technik und Prozess

Für eine Untersuchung der Stoffeigenschaften und -strukturen von Polymeren (z. B. SCHEID, HOCK & SCHWARZER, 2018) würde der Fokus auf der „Chemie des 3D-Drucks“ (Kasten 3), d.h. den

verwendeten Materialien, liegen und das in den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife enthaltene Basiskonzept „Konzept vom Aufbau und von den Eigenschaften der Stoffe und Ihrer Teilchen“ (KMK, 2020b) adressieren. Ein Vergleich von verschiedenen Druckverfahren (wie z. B. Stereolithographie- oder Gips-Druck) unter Analyse des Prinzips und der dabei genutzten Materialien (z. B. photo-reaktive Monomere: Polymerisation bei der Stereolithographie) mit ggf. den relevanten zugrundeliegenden chemischen Reaktionen als Kontext würde eher die Techniken selbst und das Basiskonzept „Konzept der chemischen Reaktion“ einbeziehen.



Im Unterricht können chemische Reaktionen oder Stoffeigenschaften von in verschiedenen Druckverfahren genutzten Materialien getestet und analysiert werden: z. B. Thermoplaste (z. T. löslich oder hydrolysiert als Stützstrukturen beim Extrusionsverfahren), Photo-reaktive Monomere (Polymerisation bei der Stereolithographie), Polymergips (Pulverbett-Druck). Dabei können Thermoplaste verglichen und geformt werden sowie z. B. Polyvinylalkohol-(Stütz-)Strukturen mit Wasser oder Natronlauge aufgelöst werden. Polymerisationsreaktionen unter Einfluss von UV-Licht können anhand von Schablonen untersucht werden. Der Ansatz ermöglicht auch eine Niveaudifferenzierung im Hinblick auf die Komplexität der jeweils inhaltlich zu betrachtenden chemischen Reaktionen.

Kasten 3. Einsatzszenario „Chemie des 3D-Drucks“ für das Fach Chemie mit der kontextabhängigen Achse Technik und Chemie

3 Fazit und Ausblick

Anhand der skizzierten Beispiele zu ausgewählten Begriffspaaren wird deutlich, dass es sicher viele weitere, planungsanalytisch hilfreiche Möglichkeiten für die Strukturierung der kontextabhängigen Achse gibt, die insbesondere auch von der jeweiligen Fachperspektive und den anvisierten Lehr-Lernzie-

len abhängig sind. Auf einer Technik und Prozess-Achse lassen sich beispielsweise Einsatzszenarien zu 3D-Druck nicht nur für die Biologie (Kasten 2), sondern auch für die Physik und Mathematik verorten. So kann ein Aufbereiten von Wärmebildern für den 3D-Druck (THOMS, HOYER & GIRWIDZ, 2020) den Designprozess fokussieren und darüber eine kritische Auseinandersetzung mit Falschfarbendarstellungen in der Thermografie fördern. Denn Temperaturdifferenzen sind über Höhenunterschiede in 3D-Darstellungen schneller erfassbar als über Farbkodierungen, da die Farbwahrnehmung als Sinneseindruck keiner metrischen Skala folgt. Ebenso kann auch im Zuge des Geometrieunterrichts, im Speziellen bei der Thematisierung von Würfelschnitten, der 3D-Druckprozess für die Erstellung von dreidimensionalen, haptovisuellen Darstellungen von den Lernenden aktiv beschriftet werden. Je nach gewählten unterrichtlichen Beispielen oder Kontextualisierung können andere als die ausgewählten Begriffspaare die Achse gedanklich repräsentieren oder aufgezeigte Achsen fachbezogen definieren.

Die Integration der 3D-Drucktechnologie in den Fachunterricht kann entlang des Kontinuums vom 3D-Drucker als Gerät bis hin zum gedruckten 3D-Objekt unterschiedlich didaktisch und/oder methodisch ausgestaltet werden. Eine Überführung dieser unterschiedlichen Integrationsanlässe in die fachspezifische und fachübergreifende Unterrichtspraxis kann, wie gezeigt, sehr unterschiedlich aussehen und ist weiterführend in den zu berücksichtigenden Fähigkeiten der Lernenden, den anvisierten Lehr-Lern- sowie Kompetenzziele und natürlich der vorliegenden digitalen Ausstattung in der Umsetzung sehr variabel. Obwohl unterrichtspraktische Zugangsmöglichkeiten zum 3D-Druck über Praxisbeispiele mit vielfältigen Fachbezügen stetig zunehmen (Tab. 1), gibt es wenig empirische Evidenzen zur Effektivität des Einsatzes des 3D-Drucks im Lernprozess. Ohne eine klare Verortung oder Beschreibung der unterrichtlichen Einbindung ist ein diesbezüglicher Vergleich empirischer Daten und eine fachdidaktische Bewertung jedoch schwierig bis unmöglich. Dies ist für alle naturwissenschaftlichen Fächer zu konstatieren, insbesondere weil Anzahl und Ausrichtung von Studien zum Einsatz des 3D-Druckers/-Druckens und/oder 3D-Druckobjektes der verschiedenen Fachdisziplinen in einer unterschiedlichen Gewichtung vorliegen. Im Fach Biologie beispielsweise fehlt es deutlich an Untersuchungen, die mögliche Potenziale der schülergesteuerten Erstellung von 3D-Objekten an der Schnittstelle von biologischem Wissen und digital-technischen Fähigkeiten zur fachbezogenen Kompetenzförderung in den Blick nehmen (HANSEN et al., 2020). Obgleich die Datenlage an referierten Beiträgen zum Einsatz und der Forschung des 3D-Drucks im Chemieunterricht etwas höher ist, lässt sich auch hier noch ein großer Bedarf an umfassenden, schülerzentrierten pädagogischen Modellen für den Einsatz von 3D-Druck im Chemieunterricht ableiten (PERNA & WIEDMER, 2019). Bisherige Studien konzentrieren sich verstärkt auf die Nutzung von 3D-Druckobjekten als fachwissenschaftliche Modelle, um beispielsweise unsichtbare Strukturen greifbar zu machen oder als Werkzeug, um beispielsweise eine Versuchsanordnung zu realisieren (am Bsp. Chemieunterricht: PINGER, GEIGER & SPENCE, 2020). In Bezug auf diese Einsatzbereiche fehlt im Extremfall, in dem der/die Sammlungsleiter/in ohne unterrichtliche Ein-

Druckobjekt	Kontext	Quelle
Blütenmodelle	Biologie: Blütenaufbau	MEINDERS & PAPENBROCK, 2019
Augenmodell mit akkommodationsfähiger Linse	Biologie/Physik: Auge/Optik	KAISER, 2020
Lochkamera	Physik: Optik	FASCHING, 2020
Experimentiermaterial zum hydrostatischen Paradoxon	Physik: Hydrostatik	BALDAUF & SUPPAN, 2020
Molekülmodelle	Chemie: Moleküle	JONES & SPENCER, 2018; PAUKSTELIS, 2018
Substrat-Enzym-Komplex	Biologie/Chemie: kompetitive Hemmung	FRICK, WITZKE & NERDEL, 2020
u. a. Prismen, Ebene im Raum	Mathematikunterricht mit dem 3D-Druck-Stift	DILLING, MARX, PIELSTICKER, VOGLER & WITZKE, 2021
Experimente zur optischen Interferenz aus dem 3D-Drucker	Physik: Optik	SCHÜRMAN, 2020; BERNSTEIN, WILHELM & SCHMELING, 2020
Gelenkmodelle	Biologie: Anatomie	UNGER, BONORDEN & PAPENBROCK, 2021

Tabelle 1. Weitere Praxisbeispiele zum „3D-Drucken“ im Fachunterricht

bindung entsprechendes Equipment herstellt, sogar die unterrichtliche Perspektive, da entsprechende Produkte auch als Auftragsarbeit gefertigt werden könnten. Umgekehrt können Lernende ihre Werkzeuge selbst planen und abschließend extern ausdrucken lassen. Die in diesem Beitrag skizzierten Einsatzszenarien können, verortet in einem dreidimensionalen Denk- und Handlungsraum, als Grundlage fungieren, um die didaktischen und methodischen Möglichkeiten zur Nutzung des 3D-Druckers bis hin zum 3D-Objekt als Lehr-Lern-Werkzeug zu veranschaulichen. Unterstützung dafür bietet auch die DGUV (2019) mit der Handreichung „3D-Tischdrucker in Schulen“, die dieser digitalen Technik damit auch Bedeutsamkeit für den Unterricht beimisst. Gleichsam soll die hier vollzogene mehrperspektivische Auseinandersetzung mit 3D-Druck Anreiz bieten, die Forschungslandschaft um diese Technologie fachspezifisch, fachübergreifend und fächerverbindend strukturiert in den Blick zu nehmen und gezielt zu erweitern, wovon wiederum auch die Unterrichtspraxis profitieren könnte.



Das Literaturverzeichnis findet sich in der Online-Ergänzung.

Dr. MONIQUE MEIER, meier@heiedu.uni-heidelberg.de, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Heidelberg School of Education/ Universität Heidelberg sowie im Fachgebiet Didaktik der Biologie der Universität Kassel und leitet die AG DiLL, Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel.

THOMAS SCHUBATZKY, PhD, thomas.schubatzky@uni-graz.at, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Physikdidaktik der Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz, Österreich

MARKUS OBCZOVSKY, Mag., markus.obczovsky@uni-graz.at, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Physikdidaktik der Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz, Österreich

Dr. LARS-JOCHEN THOMS, l.thoms@lmu.de, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Brückenprofessur für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der PH Thurgau (Schweiz) und der Universität Konstanz und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Theresienstr. 37, 80333 München

Prof. Dr. CHRISTOPH THYSSEN, thyssen@rhrk.uni-kl.de, ist Leiter der AG Fachdidaktik Biologie im Fachbereich Biologie der TU Kaiserslautern, Erwin Schrödinger Straße 14, 67663 Kaiserslautern. ■