

SONDERDRUCK
aus

1 | 2022

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



**WÜSTEN-
FORSCHUNG**
Pioniere in der
Atacama

**KULTUR-
GESCHICHTE**
Rauschpflanzen
der Antike

**ANTARKTIS-
FORSCHUNG**
Artenvielfalt
in der Tiefsee

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

Die Gifte der Hundertfüßer





Kompetenzorientierte Lehr-Lernarrangements zur Modellierung von Blütenmodellen mit 3D-Druck

Biologieunterricht praktisch und digital

MARCEL BONORDEN | KAI MEINDERS | SASCHA OFFERMANN |
ANJA RIEMENSCHNEIDER | JUTTA PAPENBROCK

Was haben die Technik des 3D-Drucks, natürliche Blütenvielfalt und junge motivierte Schüler/-innen gemeinsam? Sie alle sind Teil des Projekts „Blühende Fantasie – 3D-Druck von Blütenmodellen“ des Instituts für Botanik der Leibniz Universität Hannover. Das Projekt, das mit sechs Teilnehmenden an einer Schule begann (vgl. [1], S. 312), wurde inzwischen an drei Hannoveraner Schulen mit insgesamt 54 Schüler/-innen durchgeführt. Das ursprüngliche Unterrichtskonzept wurde an die Gegebenheiten in großen Gruppen und ganzen Schulklassen angepasst. Mit einer verbesserten Stichprobengröße konnte untersucht werden, inwiefern Schüler/-innen durch die kreative Gestaltung eigener Blütenmodelle mittels 3D-Druck botanisches Fachwissen sowie Fähigkeiten im computergestützten, dreidimensionalen Modellieren erlangen können. Während die Erforschung dieses Unterrichtsansatzes an den aktuellen Diskurs von innovativem Biologieunterricht anknüpft, wird die Wirksamkeit durch Ergebnisse, die auf einen Zuwachs von botanischem Fachwissen deuten, belegt.

Spricht man mit Schüler/-innen über das Themengebiet 3D-Druck, kommen sofort Assoziationen zu hochkomplexen Maschinen, die in der Medizintechnik oder Luftfahrt individuelle Bauteile erzeugen. Umso größer ist die Motivation, wenn das Thema aus dem wissenschaftlich-industriellen Bereich in die Lebenswelt der Lernenden überführt wird, was in diesem Projekt am Institut für Botanik mithilfe der Modellierung von Blütenmodellen umgesetzt werden soll. Aktuelle didaktische Studien zur Entwicklung und Förderung botanischen Fachwissens verbinden außerschulische Lernorte wie botanische Gärten mit dem Einsatz digitaler Medien [2]. Das Projekt „Blühende Fantasie – 3D-Druck von Blütenmodellen“ knüpft an diesen Diskurs in neuartiger Weise durch Modellierung und dem 3D-Druck realer Blüten an.

Dem 3D-Druck liegt das Modellieren von Objekten am Computer mittels *computer-aided design*-(CAD)-Technologie zugrunde. Um druckbare Modelle zu entwickeln, müssen diese zunächst in einer 3D-Design-Software erstellt werden – eine Fähigkeit, die längst nicht mehr ausschließlich in technischen Berufen gefragt ist. Daher wird es zunehmend wichtiger, CAD und 3D-Druck bereits in den Schulalltag zu integrieren und auf diese Weise wertvolle Fähigkeiten für die moderne Arbeitswelt zu fördern. Der Einsatz von Modellierung und 3D-Druck im Unterricht

verbindet die Planung, Erstellung und kritische Bewertung des Modells miteinander und fördert sowohl theoretische, fachliche Kompetenzen als auch praktische Fähigkeiten. Durch den Druck von vorab modellierten Objekten werden die Schüler/-innen physisch mit den Ergebnissen ihrer Arbeit konfrontiert und Virtualität mit Realität verbunden. Bei näherer Betrachtung ergeben sich einige Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Druckern im schulischen Kontext, beispielsweise in Kooperation mit technisch orientierten AGs oder im Rahmen von naturwissenschaftlich-technischen Unterrichtsprofilen. Im naturwissenschaftlichen Unterricht eignen sich 3D-Drucker besonders für die Herstellung eigener Modelle. Preece et al. ([3], S. 223) weisen signifikante Vorteile durch die Benutzung von physischen Modellen in der Bildung im Gegensatz zu Abbildungen und 3D-Computermodellen nach.

In der naturwissenschaftlichen Didaktik wird davon ausgegangen, dass das Lernen mit Modellen und Modellieren den Lernerfolg durch die Förderung kognitiver, metakognitiver, sozialer und erkenntnisgewinnender Fähigkeiten erhöhen kann ([4], S. 477). Das 3D-Druck-Projekt des Instituts für Botanik setzt hier an. In mehreren Unterrichtseinheiten modellieren und drucken die Schüler/-innen ihre eigenen naturgetreuen Blütenmodelle. Während sich ein vorangegangener Projektdurchlauf (Durchlauf 2, Tabelle 1) mit der Fragestellung beschäftigte, ob Schüler/-innen die Bildvorlagen für die Modellierung selbst anfertigen können, konzentrierte sich der jüngste Projektdurchlauf (Durchlauf 3, Tabelle 1) auf die Integration in den Biologieunterricht.

Ziele des Projektes

Die Alltags-, Lebens- und spätere Arbeitswelt der heutigen Schüler/-innen fordert digitale Kompetenzen mehr als je

zuvor. Dies macht die Adaption moderner Technologien in die Schulen notwendig. Als übergeordnetes Ziel soll daher im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung und den damit einhergehenden Anforderungen an die Lernenden die Zukunftstechnologie 3D-Druck an die Schulen, respektive in den Unterricht gebracht werden. Für viele Lehrkräfte stellt sich jedoch die Frage nach der konkreten Umsetzung. Die Implementationsforschung hat gezeigt, dass Innovationen im Bildungsbereich so gestaltet sein müssen, dass sie möglichst leicht umzusetzen sind, einen Lernerfolg versprechen und sich Lehrkräfte als kompetent genug für die Umsetzung einschätzen ([5], S. 10). Einstiegshürden für Schulen sowie Lehrkräfte müssen demnach durch erprobte und didaktisch fundierte Unterrichtsmaterialien genommen werden. Auf Seite der Schüler/-innen gilt es, eine hohe Akzeptanz und Motivation beim Einsatz der neuen Technologien zu erzeugen. Ihr Interesse für diese Art technischer Anwendungen soll gesteigert werden.

Den Kern des fortlaufenden Projektes bildet dabei das Konzept für die Modellierung und den Druck von Blütenmodellen im Unterricht. Die Modelle werden ausgehend von realen Blütenvorlagen am Computer gestaltet (Abbildung 1). Das Unterrichtskonzept ist sukzessive erweitert sowie optimiert worden, um schließlich universell formuliert zu sein und von Lehrkräften auf die Blüten anderer Pflanzenarten übertragen werden zu können. Letztlich dient das Konzept sowohl als Leitfaden für eine 3D-Druck-AG als auch für Projekte im (Profil-)Unterricht. Es bietet genügend Variationsmöglichkeiten zur Anpassung an heterogene Lerngruppen, Klassengrößen und unterschiedliche Anforderungsniveaus sowie verschiedene Zeitpläne. Langfristig kann das Konzept die Grundlage für die sinnvolle Integration von 3D-Modellierung und 3D-Druck in den (Biologie-)Unterricht bilden. Da insbesondere im

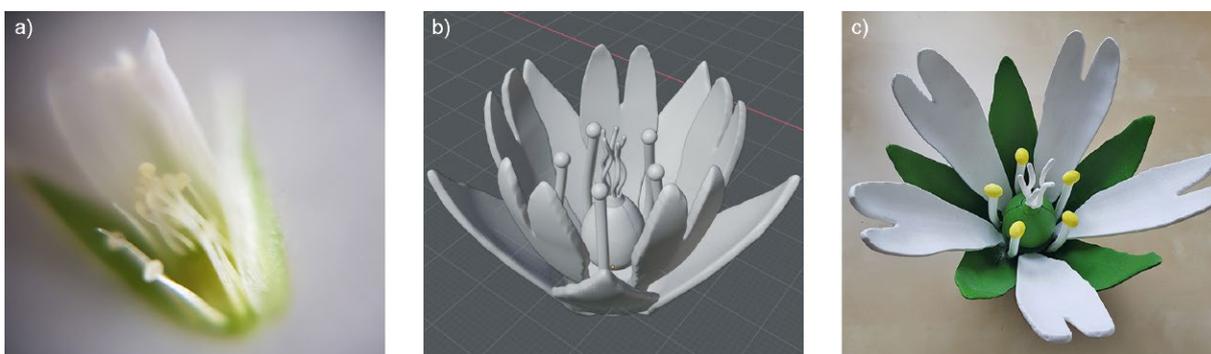


ABB. 1 Erstellung eines 3D-Modells der Vogelmiere ausgehend von einer realen Blütenvorlage. a) Die Bildvorlage einer Schülerin. b) Das fertig modellierte Objekt und c) das fertige Modell. Fotos: Karla Pilz (a) und Marcel Bonorden (b, c).

IN KÜRZE

- Die **Digitalisierung von Schule und Unterricht** ist herausfordernd – für Lehrkräfte stellt sich oft die Frage, wie sie neue Technologien sinnvoll in ihren Unterricht integrieren können.
- Ein Modellprojekt zeigt, wie innovativer Biologieunterricht **computergestützte Modellierung und 3D-Druck** mit curricularen Lerninhalten verbinden kann.

naturwissenschaftlichen Unterricht Modelle zur Visualisierung des Lernobjektes eingesetzt werden können, schlägt das selbstständige Modellieren eine Brücke zwischen Technologie und curricularen Lerninhalten. Das Anfertigen eigener Anschauungsmaterialien fördert nicht nur das fachliche Verständnis, sondern könnte sich ebenso positiv auf die Modellkompetenz auswirken. Darüber hinaus sind eigens angefertigte Modelle perfekt auf die Bedürfnisse des Unterrichts zugeschnitten.

Um die Lehrkräfte zu entlasten und den Einstieg in das Programm zu erleichtern, werden Schulungen angeboten, die den kompetenten Umgang mit dem Modellierungsprogramm *Blender* (Blender Online Community 2020, Version 2.82) vermitteln. Auf diese Weise wird die Einstiegshürde für das Lehrpersonal verringert. Die Beherrschung eines Modellierungsprogrammes soll den Schüler/-innen den Zugang zur zukünftigen Nutzung von CAD-Programmen erleichtern. Das räumliche Vorstellungsvermögen am Computer soll gefördert werden, während die Schüler/-innen spielerisch ihre botanischen Fachkenntnisse schulen. Dabei müssen sie Ordnungsprinzipien vom Zusammenwirken einzelner Blütenorgane entwickeln, was auch im Zusammenhang mit Regeln und Prinzipien zur Bestimmung von Blüten relevant ist. Die 3D-Drucktechnik in Kombination mit Modellierung stellt einen besonderen methodischen Zugang zur Vorstellungsbildung dar und bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Formen von Anschaulichkeit zu erreichen. Die fertigen Modelle sind zudem leicht zu modifizieren sowie zu reproduzieren und weisen in dieser Hinsicht einen Vorteil gegenüber gekauften oder gebastelten Modellen auf.



ABB. 2 Die Prozessabläufe im adaptierten Unterrichtskonzept. Abb.: Tim Brederecke.

Ablauf des Projekts

Wie bereits in einer Masterarbeit festgestellt, eignet sich das entwickelte Unterrichtskonzept zum Thema „3D-Druck von Blütenmodellen“ innerhalb einer AG zum Aufbau von fachlichen Kompetenzen ([1], S. 312). In einer sich anschließenden weiteren Masterarbeit sollte Problemen begegnet werden, indem das Konzept durch die Umsetzung in drei weiteren Lerngruppen tiefgreifender ausgearbeitet, an die universellere Modellierung verschiedener Pflanzenarten angepasst und der Lernerfolg wissenschaftlich ausgewertet wird. Das so erprobte und verbesserte Unterrichtskonzept konnte schließlich erfolgreich in den Unterricht einer 9. Klasse (31 Schüler/-innen) mit naturwissenschaftlichem Profil übertragen werden. Zusätzlich sollen Erfahrungen aus anderen Forschungsprozessen bei der Überarbeitung der Konzeption mit berücksichtigt werden.

Die ursprünglich an einer Schule durchgeführte Pilotierung von Februar bis Mai 2019 ([1], S. 313) lieferte erste Anhaltspunkte für den Zuwachs von botanischem und technischem Fachwissen. Wie bereits in einem ersten Artikel geschildert wurde [1], war jedoch die statistische Übertragbarkeit der Evaluationsergebnisse wegen der geringen Stichprobengröße sehr klein. Für die Arbeitsgemeinschaft konnten nach der Pilotierung zwei weitere Kooperationsschulen gewonnen werden, so dass sie an drei verschiedenen Schulen mit insgesamt 23 Schüler/-innen durchgeführt wurde. Die Gesamtschule und die beiden Gymnasien aus dem Raum Hannover boten in Bezug auf Gruppengröße, Ausstattung und individuelle schulische Interessen (die Lieblingsfächer wurden über einen Fragebogen erhoben) unterschiedliche Voraussetzungen, die angepasstes Handeln erforderten. Für die Interpretation der Ergebnisse sind dabei besonders die Gruppengröße, das durchschnittliche Alter sowie die Ausstattung der Computerräume relevant. Die grundlegenden Abläufe (Abbildung 2) in den Arbeitsgemeinschaften folgten dem vorliegenden Unterrichtskonzept für die digitale Blütenmodellierung in elf Doppelstunden. Die Erfahrungen aus der Durchführung mit sich unterscheidenden Lerngruppen wurden genutzt, um das Konzept anzupassen. Im Vergleich zum ursprünglichen Konzept wurde es durch die Anforderungen der Durchführung in den drei Lerngruppen der AGs dahingehend ausgearbeitet, dass das Modellieren von Blüten verschiedenster Pflanzenarten ermöglicht wird. So können die Inhalte von der Lehrkraft an die Gegebenheiten der Jahreszeit und damit der Verfügbarkeit von Blüten, an der Schule und der Schüler/-innen angepasst werden. In Abgrenzung zum ursprünglichen Konzept kann durch die Erweiterung des eigenen Bestimmens und Fotografierens der Blüten eine engere Verknüpfung zwischen der realen Pflanze und dem Modell hergestellt werden.

Der bislang wichtigste Schritt war die Ausweitung des Projektes von AGs auf den Biologieunterricht. Erstmals konnte in einem Zeitraum von zehn Wochen mit einer ganzen Schulklasse (n = 31) modelliert und gedruckt wer-

den. Dafür standen zehn Doppelstunden des vom regulären Biologieunterricht unabhängigen naturwissenschaftlichen (NW) Profilunterrichts der 9. NW-Klasse zur Verfügung, also weniger Zeit als für die Durchführung in den Arbeitsgemeinschaften. Auch war die Lerngruppe wesentlich größer. Da der Betreuungsaufwand ohnehin schon in kleineren Gruppen relativ hoch ist, musste die Sozialform zu einer Gruppenarbeit geändert werden. In jeder dieser Gruppen war ein Mitglied für die Modellierung eines einzelnen Blütenorgans verantwortlich. Die Struktur der Blüte wurde im Vorfeld fachlich geklärt. Mit den fertigen Blütenorganen der anderen Gruppenmitglieder konnte jede/r Schüler/-in ein eigenes individuelles Blütenmodell im Programm zusammensetzen. Da alle Gruppen die Blüte derselben Pflanzenart modellierten, konnten sich Schüler/-innen aus unterschiedlichen Gruppen mit demselben Blütenorgan bei Problemen helfen, indem sie die zielführenden Schritte der Modellierung besprachen. Darüber hinaus wurden Hilfestellungen zum Modellieren in Form von kurzen Videos und bebilderten Anleitungen mit Hinweisen sowie Materialien zur Problemanalyse bei Fehlern entwickelt. So konnte gewährleistet werden, dass das Vorgehen im Projektunterricht den Prozessabläufen im Unterrichtskonzept folgt.

Zu Beginn erarbeiten sich die Lernenden die Funktionsweise von 3D-Druckern und die für den erfolgreichen Druck notwendigen Arbeitsschritte. Anschließend wird der botanische Wissensstand abgefragt und nun durch die Erstellung eigener Nahaufnahmen mit Handy und Linsenaufsatz von Blüten verschiedener Pflanzenarten ein detailgetreues zweidimensionales Abbild von Strukturen und der Lage von Blütenorganen zueinander geschaffen (eine Doppelstunde). Dieser erste Schritt im Prozessablauf ist eine wichtige Neuerung im überarbeiteten Unterrichtskonzept. Daran knüpft eine Einführung in das Programm *Blender* an (zwei Doppelstunden). Hierfür wurden die Texturen im Programm so gestaltet, dass sie dem bekannten Videospiel *Minecraft* (Mojang AB 2011,

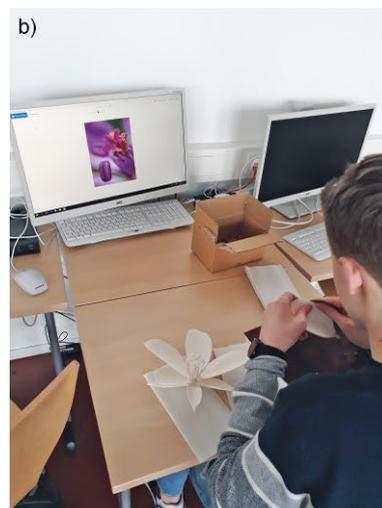
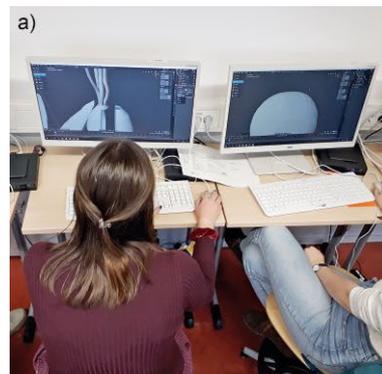


ABB. 3 Schüler/-innen einer AG beim Modellieren (a), Schleifen (b) und Bemalen (c). Fotos: Anja Riemen-schneider (a, b), Marcel Bonorden (c).

Version 1.7) entsprechen. So kann an die Lebenswelt der Schüler/-innen angeknüpft und das Programm auf spielerische Weise erkundet werden. Sobald die grundlegenden Funktionen beherrscht werden, kann mit der Modellierung der Blüten begonnen werden (drei Doppelstunden). Für die Fehlerbehebung, letzte Anpassungen und das Slicing (Datei in ein druckfähiges Format überführen) ist im Unterrichtskonzept noch eine Doppelstunde als Puffer vorgesehen. Die Nachbearbeitung der Modelle erfolgt in zwei Doppelstunden und die Einheit schließt mit einer Modellkritik (eine Doppelstunde).

Die Modelle sollen so konzipiert sein, dass sie aus Einzelteilen zusammengesetzt werden können. Je nach Zeitrahmen können alle Teile entweder in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit entstehen. Vorteilhaft ist dabei, dass bereits sehr früh im Verlauf des Unterrichts Blütenbestandteile gedruckt werden und die Schüler/-innen ihre Ergebnisse hautnah erleben können. Die fertig modellierten Objekte müssen vor dem Druck noch sorgfältig durch die Lehrkraft auf Fehlerquellen untersucht werden: Ist das sogenannte *Mesh* – in der Computergraphik bezeichnend für ein Polygonnetz zur Modellierung von 3D-Objekten – defekt oder unvollständig, kann dies beim späteren Ausdrucken zu Komplikationen bis hin zum Abbruch des Druckes führen. Auch das ist ein wichtiger Lernprozess. Die fertig überprüfte Modelldatei wird mit einem Slicing-Programm in ein für 3D-Drucker lesbares Dateiformat umgewandelt. Hier können auch letzte Skalierungen der Modellgröße und wichtige Einstellungen für den Ablauf des Druckes vorgenommen werden. Letztere sind essentiell, um technischen Problemen beim Druckprozess vorzubeugen.

Der Druck eines großen Blütenmodells kann je nach Einstellungen teilweise mehr als 48 Stunden dauern. Da der verfügbare Platz im Druckraum des 3D-Druckers begrenzt ist, werden die Blüten nacheinander in Einzelteilen gedruckt, um die maximal mögliche Modellgröße zu gewährleisten. In einem ersten Druckprozess werden dabei die Kronblätter

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 87 erklärt.

gedruckt, die viel Platz auf der Druckplatte einnehmen. Anschließend wird der Rest der Blüte in einem zweiten Druckprozess gedruckt. Das gedruckte Modell muss in den letzten Stunden noch nachbearbeitet werden, um beispielsweise Hilfs- und Stützstrukturen zu entfernen. Erst dann kann das Modell von den Schüler/-innen geschliffen und abschließend mit Acrylfarben naturgetreu oder kreativ bemalt werden. In Abbildung 3 sind Schüler/-innen beim selbstständigen Arbeiten in verschiedenen Phasen gezeigt. Die Unterrichtseinheit schließt mit einer Evaluation ab, um die mit der Kurzskaala *Intrinsische Motivation* nach Wilde et al. [6] ermittelte intrinsische Motivation sowie durch ergänzte Items Verbesserungsvorschläge der Teilnehmenden zu erfassen (22 Items).

Die gesammelten Erkenntnisse aus der praktischen Durchführung dienen als Grundlage für Anpassungen am Unterrichtskonzept. Während der ersten Pilotierung (Durchlauf 1) folgte das Konzept einem stark vorstrukturierten und auf Anleitung seitens der Lehrkraft beruhendem Ansatz. Mit der Überführung von der Arbeitsgemeinschaft in den Unterricht ist das Konzept so formuliert, dass die Lernenden so selbstständig wie möglich arbeiten. Auch die Arbeit in Gruppen wird ermöglicht, indem Schüler/-innen innerhalb ihrer Gruppe jeweils ein Blütenorgan modellieren und dieses später zu einem eigenen Modell zusammensetzen. Die Lehrkraft nimmt dabei eine beratende und unterstützende Rolle ein. Die Veränderungen werden durch den Bezug auf aktuelle didaktische Konzeptionen legitimiert. So wird auf die ► *Heterogenität* in den Lerngruppen durch ► *binnendifferenzierte* Lernangebote eingegangen: Schüler/-innen, die über einen Leistungsvorsprung verfügen, unterstützen ihre Mitschüler/-innen bei der Modellierung. Außerdem sind sie bei der Entwicklung neuer Möglichkeiten zur Modellierung von Blütenbestandteilen stark eingebunden. Der Ansatz, die Kompetenz der Schüler/-innen zu nutzen und Autonomie zu ermöglichen, ist im Sinne der Selbstbestimmungstheorie sowohl für die extrinsische als auch die intrinsische Motivation relevant ([7], S. 229).

Sehr weit fortgeschrittene Schüler/-innen haben die Möglichkeit, unabhängig von der Gruppe, ihr eigenes Modell zu erstellen. Auch bei der Komplexität der Modelle sind keine Grenzen gesetzt, so dass der Schwierigkeitsgrad problemlos an die Fähigkeiten der einzelnen Schüler/-innen angepasst werden kann. Um diese möglichst selbstbestimmt arbeiten zu lassen, ist der Unterricht ► *problemorientiert* aufgebaut: Zu Beginn jeder Stunde, in der modelliert wird (drei bis vier Doppelstunden), sollen die Teilnehmenden eigene Modellierungswege zu neuen Blütenbestandteilen ausprobieren, sich darüber austauschen und gemeinsam das weitere Vorgehen abstimmen. Gegebenenfalls erfolgt daran anknüpfend noch eine genauere Instruktion der Lehrkraft. Dass durch diese Vorgehensweise besonders zu Beginn der zweiten AG-Durchläufe häufig Fehler auftraten und zugelassen wurden, diente als Lernchance. Die Schüler/-innen sollten ihre Fehler selbst bemerken und sich nach Identifikation der Fehlerquelle mit ihren Mitschüler/-innen über diese austauschen, um einen Lösungsweg zu erarbeiten.

Ergebnisse des Projektes

In allen AG-Lerngruppen haben die Schüler/-innen unterschiedlichen Alters (12 bis 16 Jahre) erfolgreich ihr eigenes Blütenmodell entwickelt, während in der NW-Klasse alle Teilnehmenden ein individuelles Modell mithilfe der Blütenorgane der anderen Gruppenmitglieder erstellten. Einige davon sind in Abbildung 4 dargestellt. Darüber hinaus wurde mittels eines Prä-Posttest-Designs ein Zuwachs botanischen Fachwissens von durchschnittlich 1,33 (s = 0,98) auf 5,42 (s = 1,99) von 13 möglichen Punkten im ersten Durchgang ([8], S. 82) und von 3,44 (s = 2,65) auf 7,65 (s = 1,87) im zweiten Durchgang gemessen (Tabelle 1). Prä- und Posttest wurden in der ersten, beziehungsweise in der letzten Unterrichtsstunde durchgeführt. Der Fragebogen umfasste acht Items zur Struktur der Blüte und fünf Items zu den Funktionen der Blütenorgane. Die Schüler/-innen der Arbeitsgemeinschaften des zweiten Durchlaufs (n = 17) konnten die Struktur der

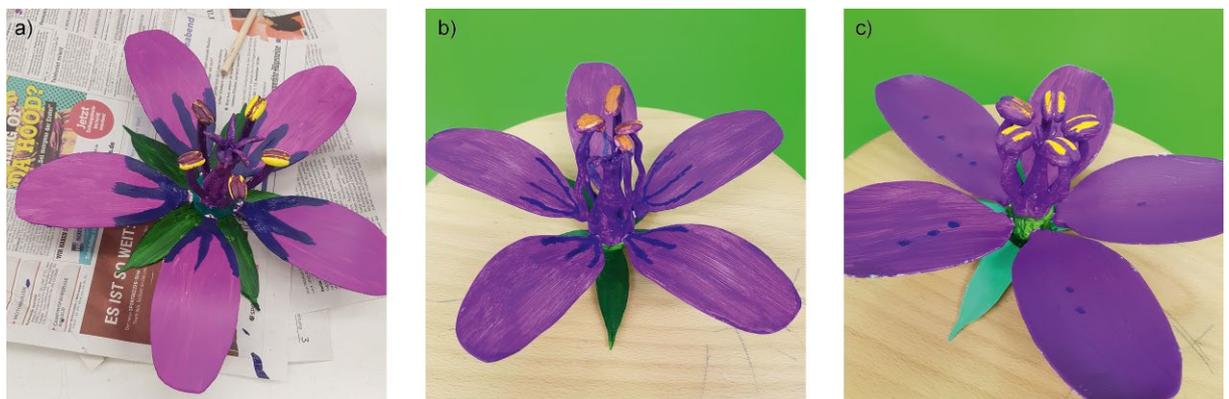


ABB. 4 Von Schüler/-innen modellierte, gedruckte und bemalte Blüten nach Fotovorlage des Gewöhnlichen Reiherschnabels (*Erodium cicutarium*). Fotos: Marcel Bonorden.

Blüten deutlich besser als die Funktionen der einzelnen Blütenbestandteile benennen. Während die Items im Aufgabenteil zur Blütenstruktur zu 76,5 Prozent (6,12 von 8 Punkten; $s = 1,29$) korrekt beantwortet wurden, waren es im Aufgabenteil zur Funktion lediglich 30,6 Prozent (1,53 von 5 Punkten; $s = 0,84$). Aus diesen Ergebnissen ergaben sich Modifikationen des Unterrichtskonzeptes.

Die Ergebnisse aus den beiden AG-Durchläufen (Pilotierung und Ausweitung auf drei Lerngruppen) spielten bei der Überführung in den Projektunterricht und der damit verbundenen Umgestaltung des Unterrichtskonzeptes eine tragende Rolle. Die Auswertung der Prä- und Posttests im jüngsten Projektunterricht ($n = 31$) ergab sowohl im Zusammenhang mit Struktur- (Zuwachs von 3,5; $s = 1,74$ auf 7,6; $s = 0,51$ von 8 Punkten) und Funktionsbeziehungen (Zuwachs von 0,3; $s = 0,42$ auf 3,13; $s = 0,88$ von 5 Punkten) als auch insgesamt wesentlich höhere Punktzahlen - trotz einer größeren Lerngruppe. So konnte ein Zuwachs botanischen Fachwissens von 3,77 ($s = 1,85$) auf 10,73 ($s = 1,25$) von 13 Punkten gemessen werden (vgl. Tabelle 1). Bei der Frage, ob die Schüler/-innen die Tätigkeit im zweiten AG-Durchlauf als selbstbestimmt empfanden, kam es zwischen den Gruppen der einzelnen Schulen zu deutlichen Unterschieden (Tabelle 2): Während die Gruppen 1 ($n = 4$; 3,25; $s = 0,5$) und 3 ($n = 9$; 3; $s = 0,82$) mithilfe einer fünfstufigen Likert-Skala (0 = stimmt gar nicht; 1 = stimmt wenig; 2 = stimmt teils-teils; 3 = stimmt ziemlich; 4 = stimmt völlig) angaben, die Tätigkeit selbst steuern zu können (stimmt ziemlich), signalisierte die zweite Gruppe ($n = 4$; 1,89; $s = 1,27$) weniger (stimmt teils-teils) Selbstbestimmtheit beim Arbeiten (vgl. Tabelle 2). Die Schüler/-innen der dritten Gruppe stimmten der Aussage, dass sie während der AG stets Hilfe bekommen konnten, durchschnittlich völlig (3,78; $s = 0,44$) zu, was sich mit dem Gesamtdurchschnitt deckt (3,88; $s = 0,33$). Insgesamt wurde der zweite AG-Durchlauf durchschnittlich mit der Note 1,4 ($s = 0,7$) bewertet. Da im Zuge der COVID-19-Pandemie zu Homeschooling übergegangen werden musste, wurde in der NW-Lerngruppe ($n = 31$) noch keine Motivationsmessung durchgeführt.

Diskussion und weitere Planung des Projektes

Das Unterrichtskonzept wurde nach der ersten Pilotierung in insgesamt vier Lerngruppen ($n = 48$) vollständig erprobt. In den ersten drei Lerngruppen ($n = 4$; $n = 9$; $n = 4$) wurde das Unterrichtskonzept im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft angewandt. Der Projektdurchlauf in der NW-Lerngruppe ($n = 31$) fand als Pflichtunterricht statt und unterschied sich somit in Bezug auf die Freiwilligkeit der Teilnahme. Während bei den Teilnehmenden der AG-Lerngruppen ($n = 17$) davon auszugehen ist, dass diese das Angebot aus Interesse nutzten, mussten die Schüler/-innen der NW-Klasse verpflichtend daran teilnehmen. Hinzu kam, dass die Schüler/-innen der NW-Klasse von der Fachlehrkraft benotet wurden. In Hinblick auf

TAB 1. ABFRAGE DES BOTANISCHEN FACHWISSENS DER DREI DURCHLÄUFE VON BLÜHENDE FANTASIE

Durchlauf	Prätest (von 13)	Posttest (von 13)	Zuwachs
1 (Pilotierung in AG; $n = 6$)	1,33 ($s = 0,98$)	5,42 ($s = 1,99$)	4,09
2 (2. Durchlauf gesamt; $n = 17$)	3,44 ($s = 2,65$)	7,65 ($s = 1,87$)	4,21
2.1 (AG 1; $n = 4$)	6,25 ($s = 2,90$)	10 ($s = 1$)	3,75
2.2 (AG 2; $n = 9$)	1,67 ($s = 1,5$)	6,39 ($s = 0,96$)	4,72
2.3 (AG 3; $n = 4$)	4,63 ($s = 1,11$)	8,13 ($s = 1,65$)	3,5
3 (NW-Lerngruppe)	3,77 ($s = 1,85$)	10,73 ($s = 1,25$)	6,96

motivationale Konzepte unterscheiden sich also die Ausgangsvoraussetzungen von AG-Lerngruppen und NW-Lerngruppe. Während bei den Teilnehmenden der Arbeitsgemeinschaften tendenziell ein intrinsisch motiviertes Handeln vermutet werden kann, muss bei der NW-Lerngruppe - ohne das individuelle Interesse einzelner Schüler/-innen an Modellierung und 3D-Druck zu kennen - angenommen werden, dass das Handeln eher extrinsisch motiviert war ([7], S. 225). Die Annahmen über die intrinsische Motivation der AG-Teilnehmenden werden dadurch gestützt, dass 13 von 17 Teilnehmenden der AG-Lerngruppen angaben, sich Zuhause eigenständig mit dem Programm beschäftigt zu haben.

Da auf Selbstbestimmung beruhende Lernmotivation positive Wirkungen auf die Qualität des Lernens hat ([7], S. 223), gilt es, im Unterrichtskonzept selbstbestimmtes Handeln zu ermöglichen. Dabei können nicht nur intrinsisch motivierte Verhaltensweisen, wie sie in den Arbeitsgemeinschaften anzunehmen sind, sondern auch bestimmte Formen extrinsisch motivierten Verhaltens als selbstbestimmt erlebt werden ([7], S. 223). In der Evaluation der Arbeitsgemeinschaften signalisierte die zweite und größte Gruppe ($n = 9$; 1,89; $s = 1,27$) weniger (stimmt teils-teils) Selbstbestimmtheit beim Arbeiten als die beiden kleineren Gruppen ($n = 4$; 3,25; $s = 0,5$; stimmt ziemlich und $n = 4$; 3; $s = 0,82$; stimmt ziemlich). Dieses Ergebnis könnte insofern mit der Gruppengröße von neun Schüler/-innen korrelieren, als sie aufgrund der schwierigeren Betreuungssituation trotz gegenseitiger Unterstützung und einer großen Kreativität bei der Entwicklung neuer Modellierungswege dennoch häufig Anleitungen seitens der Lehrkraft bedurften. Für die wesentlich größere NW-Lerngruppe waren aus diesem Grund Anpassungen des Unterrichtskonzeptes notwendig, um mehr Selbstbestimmtheit zu ermöglichen. Die Blüten sollten nun im Rahmen einer Gruppenarbeit modelliert werden. Die Schüler/-innen in den Gruppen hatten so für die Modellierung ihres jeweiligen Blütenorgans mehr Zeit zur Verfügung, um zielführende Wege selbst zu erproben. Durch die Gruppenarbeit schlossen sich die Schüler/-innen im Sinne einer Ko-Konstruktion projektartig zusammen, so dass Überlegungen, Planungen, der Austausch über Konstruktionsprozesse und letztendlich das Zusammensetzen der Blüte mit

TAB 2. ZENTRALE EVALUATIONSERGEBNISSE AUS DEN BEIDEN AG-DURCHLÄUFEN

	1. Durchlauf (n = 6)	2. Durchlauf Gruppe 1 (n = 4)	2. Durchlauf Gruppe 2 (n = 9)	2. Durchlauf Gruppe 3 (n = 4)
Die Tätigkeit hat mir Spaß gemacht	3,67 (s = 0,52) (stimmt völlig)	3,25 (s = 0,5) (stimmt ziemlich)	3,67 (s = 0,71) (stimmt völlig)	4 (s = 0) (stimmt völlig)
Ich konnte die Tätigkeit selbst steuern	2,5 (s = 0,55) (stimmt ziemlich)	3,25 (s = 0,5) (stimmt ziemlich)	1,89 (s = 1,27) (stimmt teils-teils)	3 (s = 0,82) (stimmt ziemlich)
Interesse an erneuter AG-Teilnahme	3,83 (s = 0,41) (stimmt völlig)	3,13 (s = 0,85) (stimmt ziemlich)	3,11 (s = 1,05) (stimmt ziemlich)	4 (s = 0) (stimmt völlig)
Ich hatte immer das Gefühl, Hilfe zu bekommen	–	4 (s = 0) (stimmt völlig)	3,78 (s = 0,44) (stimmt völlig)	4 (s = 0) (stimmt völlig)
Ich habe mich Zuhause mit <i>Blender</i> beschäftigt	–	2 von 4	8 von 9	3 von 4
Ich empfand das Arbeitsumfeld als angenehm	–	3,25 (s = 0,96) (stimmt ziemlich)	3,44 (s = 0,73) (stimmt ziemlich)	2,75 (s = 0,96) (stimmt ziemlich)
Note	1,5 (s = 0,55)	1,6 (s = 0,48)	1,6 (s = 0,88)	1 (s = 0)

Unterstützung der Lehrkraft gemeinsam erfolgen (vgl. [9]). Bei der Modellierungsarbeit konnten die Schüler/-innen auf zahlreiche Hilfsmaterialien wie Videos und bebilderte Anleitungen zu Funktionen und komplizierteren Operationen im Programm zugreifen. Ein großer Teil der Materialien wurde für das pandemiebedingte Homeschooling konzipiert, erwies sich jedoch auch im Präsenzunterricht als förderlich für das selbstständige Arbeiten. Gleichzeitig war die NW-Lerngruppe (14–18 Jahre) im Durchschnitt etwas älter als die AG-Lerngruppe (12–16 Jahre), was ebenfalls beim Anteil der im Unterrichtskonzept vorgesehenen freien Modellierung berücksichtigt wurde.

Die Ergebnisse der Studie zeigen einen Zuwachs von botanischem Fachwissen. Da aus den Ergebnissen des zweiten AG-Durchlaufs hervorging, dass die Schüler/-innen die Strukturen der Blüte (76,5% der Items) besser als die Funktionen (30,6% der Items) beherrschen, ergab sich die Notwendigkeit, das Verständnis der Beziehung von Struktur und Funktion besser zu fördern. So wurde das Unterrichtskonzept dahingehend überarbeitet, die Schüler/-innen beim Anfertigen von Bildvorlagen durch gezielte Impulse für die Funktionen der Blütenbestandteile zu sensibilisieren. Konkret kann beispielsweise an den Staubbeutel Pollen beobachtet und im Fruchtknoten die Samenanlage entdeckt werden, so dass die Verknüpfung von Struktur und Funktion schon in den frühen Phasen des Projektes hergestellt wird.

Die dargestellten Ergebnisse aus der NW-Lerngruppe könnten den Erfolg dieser Modifikation indizieren, da hier die Strukturen der Blüte (95,1% der Items) und die Funktionen der Blüte (62,5% der Items) besser als im zweiten AG-Durchlauf benannt wurden. Hier müssen allerdings auch Aspekte wie das höhere Alter der Teilnehmenden und die Benotung der Mitarbeit durch die Fachlehrkraft (die Testergebnisse fließen nicht in die Benotung ein) berücksichtigt werden. Obwohl der prozentuale Anteil der durchschnittlich korrekt beantworteten Items im Bereich

Funktion deutlich höher als zuvor liegt, besteht hier dennoch eine große Differenz zum Bereich Struktur. Daraus lässt sich ebenfalls ableiten, dass das Unterrichtskonzept zukünftig noch mehr auf diese Problemstellung hin weiterentwickelt werden muss. Der Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion muss nicht nur beim Anfertigen der Bildvorlagen, sondern auch in anderen Projektphasen wie dem Modellieren, dem Druck, der Nachbearbeitung und der Modellkritik hergestellt werden. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Wirksamkeit des Unterrichtskonzeptes. Im Vergleich mit anderen Interventionen zur Förderung botanischen Fachwissens (z. B. [2], S. 15) konnten die Teilnehmenden die Blütenorgane sehr gut benennen, was mit der intensiveren und längeren Beschäftigung mit den Strukturen zusammenhängen könnte.

Auch hinsichtlich der Testverfahren existiert noch Optimierungsbedarf. Um das botanische Fachwissen genauer zu ermitteln, sind detailliertere Fragebögen mit einer höheren Zahl von Items notwendig. Außerdem müsste der Lernerfolg mit dem einer regulären Botanikeinheit verglichen werden, um die Effektivität der Modellierungseinheit deutlicher herauszuarbeiten. Über die Förderung der Modellkompetenz können bisher nur Annahmen geäußert werden. Dieser Aspekt scheint einen Mehrwert des Projektunterrichts gegenüber regulären Unterrichtsmethoden darzustellen, wird jedoch bisher nicht erhoben. Um die intensivere Auseinandersetzung mit den Modellen von der Planung über die Modellierung bis zur Modellkritik wissenschaftlich zu verifizieren, werden dahingehende Messungen in der weiteren Projektplanung essentiell sein. Auch die Wahl des Programms *Blender* für die Modellierung bleibt zu diskutieren. Zwar bietet die Software mit ihren zahlreichen Funktionen viel Freiraum für Kreativität, schränkt andererseits aber gerade zu Beginn des Projektes durch ihre Komplexität ein und fordert eine umfangreiche Einführung. So hatten die Teilnehmenden häufig eine genaue Vorstellung, wie sie einen

Blütenbestandteil modellieren wollten, wussten allerdings nicht, wie diese im Programm umzusetzen ist.

Allerdings sorgt die explorative Vorgehensweise auch für eine tiefgreifende Beschäftigung mit der Software und stellt für die Schüler/-innen eine Herausforderung bei der Modellplanung dar: Verschiedene Funktionen müssen ausprobiert werden, Pläne verworfen oder neu gestaltet werden. Gleichwohl stellt die damit verbundene Länge der Unterrichtseinheit für den unterrichtspraktischen Nutzen insofern eine Hürde dar, als das Projekt mit zehn Doppelstunden kaum in den regulären Biologieunterricht eingebettet werden kann und die Durchführung für Lehrkräfte mit einer relativ hohen Einarbeitungszeit verbunden ist. Aus diesem Grund werden in Zukunft Schulungen für Lehrkräfte zu kürzeren Unterrichtseinheiten angeboten. Die Unterrichtsmaterialien und -konzepte sollen anschließend von den teilnehmenden Lehrkräften erprobt und hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Unterricht evaluiert werden. Beispielsweise existiert bereits ein Entwurf für die Modellierung verschiedener menschlicher Gelenktypen im Umfang von zwei bis drei Unterrichtseinheiten [10]. Auch andere biologische Fragestellungen wie beispielsweise der Druck von Zähnen früherer Hominidae oder von Organen sind im schulischen Rahmen denkbar. Dabei wäre es stets sinnvoll, curricular vorgesehene Lerninhalte zu behandeln.

Letztlich lässt sich das Konzept eines Projektunterrichtes oder einer 3D-Druck-AG auch auf andere Fachbereiche, insbesondere die MINT-Fächer, übertragen. Somit können in Zukunft alle Fachrichtungen von maßgeschneiderten, selbst angefertigten Modellen und Visualisierungen für den Unterricht profitieren.

Zusammenfassung

Die Umsetzung der Digitalisierung von Schule und Unterricht ist mit Herausforderungen für Lehrkräfte verbunden.

Sie müssen die nötige technische Kompetenz aufweisen, um neue Technologien wie computergestützte Modellierung und 3D-Druck sinnvoll und gewinnbringend in ihren Unterricht integrieren können. Um Lehrkräfte zu entlasten, ist ein Angebot von didaktisch legitimierten und in der Praxis erprobten Unterrichtskonzepten notwendig. Eine wichtige Grundlage bei diesem Prozess bilden Modellprojekte für innovativen Biologieunterricht. Im Rahmen eines solchen Projektes wurden von Schüler/-innen Blütenmodelle ausgehend von realen Blüten erstellt. Der Lernerfolg wurde wissenschaftlich ausgewertet und ein dazugehöriges Unterrichtskonzept für Lehrkräfte weiterentwickelt. Die Studie konnte zeigen, dass sich der Projektunterricht positiv auf das botanische Fachwissen auswirkt.

Summary

Designing a competence-oriented teaching-learning arrangement for modeling flower models by means of 3D printing

Implementing the digitalization of schools and teaching involves challenges for teachers. They need the necessary technical expertise to be able to integrate new technologies such as computer-aided modeling and 3D printing into their lessons in a meaningful and profitable way. In order to support teachers, it is necessary to offer didactically legitimate teaching concepts that have been tested in practice. Model projects for innovative biology teaching form an important basis for this process. Within the framework of such a project, students create flower models based on real flowers. The learning success was evaluated and a corresponding teaching concept further developed. The study showed that project teaching has a positive effect on botanical knowledge.

Schlagworte

Digitalisierung, Schule, 3D-Druck, Innovativer Unterricht, Botanik.

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen Institutionen, die an der Entstehung und Durchführung dieses Projektes mitgewirkt haben. Dazu zählen die Goetheschule Hannover, die Albert Einstein-Schule Laatzen und das Erich Kästner Gymnasium Laatzen. Weiterhin möchten wir uns bei der Joachim Herz Stiftung und der Stiftung NiedersachsenMetall für die Förderung der 3D-Druck-AG Blühende Fantasie durch die Anschaffung eines 3D-Druckers und von Druckmaterial bedanken.

Supporting Information

Zu diesem Aufsatz haben wir unter www.biuz.de den Evaluationsbogen und ein Arbeitsblatt zum Blütenaufbau als zusätzliches Material bereitgestellt. Einfach den Artikel aufrufen und dort die Supporting Information öffnen. Das Material ist für Sie kostenfrei zugänglich.

GLOSSAR

Binnendifferenzierung: Auch „innere Differenzierung“, bezeichnet alle Formen von Differenzierung innerhalb einer Lerngruppe, um Lernende individuell zu fördern. Damit ist Binnendifferenzierung eine didaktische Methode, um auf die Heterogenität in Lerngruppen einzugehen und Chancengleichheit zu schaffen ([11], S. 173).

Heterogenität: „Heterogenität meint in der Schule neben Unterschieden in Bezug auf etwa Geschlecht, Ethnizität, Milieu oder Behinderung auch lern- und leistungsbezogene Differenzen und lässt sich Jürgen Budde zufolge auch auf Bildungsungleichheiten beziehen.“ ([12])

Problemorientierter Unterricht: Unterricht, der von Problemen ausgeht und „seinen Verlauf als Problemlösungsprozess bestimmt [...]“ ([13], S. 247). Die Problemstellung „initiiert dabei den Lernprozess aus dem Kontext heraus und soll sowohl motivieren als auch herausfordern“ ([14], S. 65f).

Literatur

- [1] K. Meinders, J. Papenbrock (2019). Digitale Bildung: Botanik mal anders! In: *Biologie in unserer Zeit*. 49/5, Wiley-VCH, Weinheim, 312–313.
- [2] L. Kissi, D. Dreesmann (2018). Plant visibility through mobile learning? Implementation and evaluation of an interactive Flower Hunt in a botanic garden, *Journal of Biological Education*, 52(4), 344–363.
- [3] D. Preece et al. (2013). „Let’s get Physical“: Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. (Hrsg: American Association of Anatomists), 6, 216–224.
- [4] L. Louca, Z. Zacharia (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions, in: *Educational Review*, 64(4), 471–492.
- [5] C. Gräsel (2010). Stichwort: Transfer und Transferforschung im Bildungsbereich, in: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13(1) Springer, Berlin, 7–20.
- [6] M. Wilde et. al. (2009). Überprüfung einer Kurzskaala intrinsischer Motivation (KIM), in: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Jg. 15, Springer, Kiel und Berlin, 31–45.
- [7] E. Deci, R. Ryan (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik, In: *Zeitschrift für Pädagogik* 39(2), 223–238.
- [8] K. Meinders (2019). Konzeption, Durchführung und Evaluation der 3D-Druck-AG Blühende Fantasie: 3D-Druck von Blütenmodellen am Gymnasium Goetheschule Hannover, Masterarbeit, Hannover.
- [9] W. Fthenakis (2015). Ko-Konstruktion: Lernen durch Zusammenarbeit (online), <https://aba-fachverband.info/ko-konstruktion-lernen-durch-zusammenarbeit/> (aufgerufen am 02.11.2021, 12:18)
- [10] B. Unger, M. Bonorden, J. Papenbrock (2021). Einsatz von 3D-Druck-Modellen und 3D-Modellierung im Biologie (NaWi)-Unterricht am Beispiel von Gelenktypen, in: *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht - Band 2*, Joachim Herz Stiftung, Hamburg.
- [11] W. Klafki, H. Stöcker (2007). Innere Differenzierung des Unterrichts. In: Wolfgang Klafki (Hrsg.): *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik* (Hrsg.: W. Klafki), Beltz, Weinheim und Basel.
- [12] <https://www.bpb.de/lernen/digitale-bildung/wekrstatt/266110/heterogenitaet-in-schule-und-unterricht> (aufgerufen am 29.07.2020, 16:20)
- [13] M. Bonsch (1981). Problemorientierter Unterricht, In: *Schweizer Schule. Zeitschrift für christliche Bildung und Erziehung* 68(7), Kalt-Zehnder, Zug, 246–252.
- [14] D. Brovelli, M. Wilhelm (2009). Problemorientiertes lernen für den integrierten Naturwissenschaftsunterricht, In: *Internetzeitschrift Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* (Hrsg.: Fachverband Didaktik der Physik) 2(8), 65–72.

Verfasst von:



Marcel Bonorden hat an der Leibniz Universität Hannover studiert. Er hat seine Masterarbeit zur Umsetzung von 3D-Druck AGs verfasst. Seit 2020 promoviert er am Institut für Botanik der Leibniz Universität Hannover über das Thema computergestützte Modellierung und 3D-Druck im Unterricht.



Kai Meinders hat seinen Masterabschluss an der Leibniz Universität Hannover erlangt und widmete seine Bachelor- und Masterarbeit dem 3D-Druck von Blütenmodellen und dessen praktischer Anwendung in der Schule.



Sascha Offermann studierte an der RWTH-Aachen Biologie und promovierte dort 2008 über das Thema Epigenetik in Pflanzen. Danach forschte er als Postdoc an der Washington State University in den USA an neuartigen C4-Pflanzen. 2011 wechselte er als Juniorprofessor für Photosyntheseforschung an das Institut für Botanik der Leibniz Universität Hannover und arbeitet dort seit 2015 als permanenter Wissenschaftler.



Anja Riemenschneider hat in Hannover an der Universität Hannover Biologie studiert und 2006 promoviert. Nach der Postdoczeit an der Universität Bielefeld und der LUH Hannover und mehreren Lehrtätigkeiten an den Universitäten, erfolgte 2015 der Quereinstieg an das Gymnasium Goetheschule Hannover. Sie arbeitet seit 2020 als verbeamtete Lehrkraft und unterrichtet die Fächer Biologie, Chemie und Fächerübergreifende Naturwissenschaften.



Jutta Papenbrock hat in Bielefeld, Edinburgh/Schottland und Hamburg Biologie studiert. Anschließend war sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben, tätig. Nach Promotion und Habilitation hat sie zunächst ein Heisenberg-Stipendium, dann eine Heisenberg-Professur erhalten. Seit 2010 ist sie als Professorin am Institut für Botanik der LUH tätig und lehrt u. a. Botanik und Evolution für Studierende im Lehramt. Um Studierende noch mehr für Botanik zu begeistern, setzt sie verschiedene analoge und digitale Mittel ein.

Korrespondenz:

*Prof. Dr. Jutta Papenbrock
Leibniz Universität Hannover
Institut für Botanik
Herrenhäuser Straße 2
30419 Hannover
E-Mail: jutta.papenbrock@botanik.uni-hannover.de*



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

