Lessons Learned 6, 1 (2026)
Eingereicht: 08.10.2026
Angenommen: 29.10.2026
© 2026 A.-K. Krebs, lizenziert unter CC BY 4.0
DOI: https://doi.org/10.25369/ll.v6i1.119
ISSN: 2749-1307 (online).



Learning by Making und die unterschätzten Voraussetzungen digitaler Gestaltungskompetenz

A.-K. Krebs

Lehr- und Forschungsgebiet Sachunterricht und Didaktik, RWTH Aachen University

Abstract

Maker Education verbindet eigene Gestaltung mit der Erprobung von Artefakten. Dabei können Werkzeuganforderungen sichtbar werden, die in allgemeinen Angaben zur digitalen Mediennutzung unbestimmt bleiben. Ausgangspunkt dieses kritischen narrativen Reviews sind drei Arrangements eines Plenarvortrags und Berichte aus der anschließenden Diskussion über Schwierigkeiten mit CAD und Eingabegeräten. Der Beitrag setzt diese Erfahrungen zur Forschung über Making, digitale Kompetenz und Lehrkräftebildung in Beziehung. Er unterscheidet Kompetenzrahmen und konzeptionelle Modelle von empirischen Untersuchungen sowie veröffentlichten Befunden von Projekterfahrungen. Die Analyse konkretisiert Anforderungen beim Modellieren von Würfeln, beim Entwickeln digitaler Lernräume und beim Herstellen eines Fledermausdetektors. Digitale Kompetenzrahmen berücksichtigen Gestaltung bereits; offen bleibt ihre Übersetzung in aufgabenspezifische Lernhandlungen und geeignete Unterstützung. Für die Lehrkräftebildung wird eine Verbindung eigener Gestaltungserfahrung mit der Diagnose technischer Schwierigkeiten und der Planung fachlicher Untersuchungen begründet. Aussagen zur Häufigkeit solcher Schwierigkeiten, zu allgemeinen Kompetenzzuwächsen und zur Wirksamkeit einzelner Hilfen erfordern weiterführende Studien.

Maker education combines hands-on creation with the testing of artifacts. In the process, tool requirements may become apparent that remain undefined in general descriptions of digital media use. The starting point for this critical narrative review is three accounts of a plenary lecture and reports from the subsequent discussion regarding difficulties with CAD and input devices. This paper relates these experiences to research on making, digital competence, and teacher education. It distinguishes between competence frameworks and conceptual models on the one hand, and empirical studies as well as published findings from project experiences on the other. The analysis specifies requirements for modeling cubes, developing digital learning spaces, and constructing a bat detector. Digital competency frameworks already take design into account; however, their translation into task-specific learning activities and appropriate support remains an open question. For teacher education, the paper establishes a connection between teachers' own design experience, the identification of technical difficulties, and the planning of subject-specific investigations. Further studies are needed to address the frequency of such difficulties, general gains in competency, and the effectiveness of individual forms of support.

*Corresponding author: krebs@su.rwth-aachen.de

1. Ausgangspunkt und Fragestellung

Digitale Gestaltung verlangt Kenntnisse, die bei der alltäglichen Nutzung digitaler Medien kaum sichtbar werden. Wer einen Körper in einer CAD-Anwendung modelliert, muss räumliche Ansichten interpretieren, Eingaben koordinieren und die Folgen einzelner Operationen beurteilen können. Bei der Übertragung in ein materielles Objekt kommen Anforderungen der Fertigung hinzu. Maker Education bietet einen Zugang zu solchen Tätigkeiten, weil Lernende eigene Artefakte entwickeln und erproben. Darunter werden pädagogische Ansätze verstanden, in denen Lernende Gegenstände oder digitale Produkte selbst entwerfen, herstellen, erproben und verändern. Entscheidend ist nicht allein das fertige Produkt, sondern die Auseinandersetzung mit Fragen, Fehlern und Entscheidungen während des Gestaltungsprozesses [9–12]. Bildungsziele wie Kreativität, Problemlösen und digitale Kompetenz [1–3] werden dabei an konkrete Entscheidungen gebunden. Ob Lernende diese Entscheidungen tatsächlich treffen können, hängt jedoch auch davon ab, welche Werkzeugerfahrungen sie mitbringen und welche Unterstützung sie erhalten. Der Plenarvortrag „Learning by Making: Zukunftskompetenzen für die Welt von morgen fördern“ bei der Tagung Lessons Learned VIII stellte dazu drei Lehr-Lern-Arrangements aus Schule und Lehrkräftebildung vor. Kinder konstruierten individuelle Würfel mit TinkerCAD, die anschließend im 3D-Druck gefertigt und untersucht wurden. Lehramtsstudierende entwickelten digitale Lernräume mit Gamification-Elementen [15]. Ein weiteres Projekt verband die Herstellung eines Fledermausdetektors (B@t-Detektor, www.digibats.de) mit der Erkundung von Ultraschall und Artenschutz. In diesen Arrangements sollte eine eigene Gestaltungsabsicht technisch umgesetzt und fachlich begründet werden. Die Arrangements richten sich damit an unterschiedliche Gruppen: Das Würfelprojekt adressiert Kinder im Grundschulalter im Alter von 8 bis 11 Jahren, die digitale Konstruktion mit der Untersuchung eines selbst hergestellten Gegenstands verbinden. Die digitalen Lernräume werden von Lehramtsstudierenden als zukünftigen Lehrkräften entwickelt; hier tritt zur technischen Gestaltung die didaktische Beurteilung eines Lernangebots hinzu. Beim B@t-Detektor steht die Verbindung von technischer Herstellung und naturwissenschaftlicher Erkundung im Mittelpunkt. In der Prototypenphase wurde der Detektor zunächst von Erwachsenen aus Lehre und Hochschule angefertigt. Anschließend erfolgte die Herstellung durch Lehramtsstudierende für die Primar- und Sekundarstufe und schließlich durch Kinder im Alter von 8 bis 11 Jahren. Ziel war es, die Komplexität der Anfertigung nach und nach auf die anvisierte Zielgruppe, Grundschulkinder, zu adaptieren.

In der anschließenden Diskussion berichteten Teilnehmende von Schwierigkeiten mit CAD-Software, räumlichen Ansichten sowie der Koordination von Maus und Tastatur. Vergleichbare Erfahrungen wurden für Lehramtsstudierende und praktizierende Lehrkräfte beschrieben. Diese Berichte sind keine systematische Erhebung. Sie geben aber Anlass, eine verbreitete Voraussetzung digital gestützter Lehre zu prüfen: Welche Erfahrungen werden unterstellt, wenn Lernenden ein digitales Gestaltungswerkzeug zur Verfügung gestellt wird?

Der Beitrag untersucht, wie die Forschung zu Maker Education und digitaler Kompetenz solche Anforderungen beschreibt und welche Konsequenzen sich für die Lehrkräftebildung ergeben. Digitale Gestaltungskompetenz bezeichnet hier aufgabenbezogen die Fähigkeit, eine eigene Absicht mit digitalen Werkzeugen zu realisieren, das Ergebnis zu prüfen und den Entwurf begründet zu verändern. Der Begriff dient der Analyse der vorgestellten Arrangements; ein eigenständiges, validiertes Kompetenzmodell wird damit nicht beansprucht. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie technische Voraussetzungen zu Lerngegenständen werden können, statt beim Einstieg in offene Aufgaben unerkannt vorausgesetzt zu bleiben.

2. Vorgehen des Reviews

Der Beitrag ist als kritischer narrativer Review angelegt. Er führt Literatur aus Maker Education, Kompetenzforschung und Lehrkräftebildung für eine aufgabenbezogene Fragestellung zusammen. Grant und Booth unterschei-

den Reviewformen nach ihren Zielen und methodischen Verfahren [4]. Die Bezeichnung „narrativ" entbindet dabei nicht von einer nachvollziehbaren Darstellung der Literaturbasis und der Argumentation; darauf verweist auch das Qualitätsinstrument SANRA [5]. Ausgangspunkt sind die für den Plenarvortrag und die Projekte herangezogenen Arbeiten, ergänzt um Quellen aus deren Literaturverzeichnissen. Eine protokollierte Datenbanksuche mit dokumentierten Suchstrings und einem vollständigen Auswahl-verfahren liegt dem Beitrag nicht zugrunde. Aussagen zur Vollständigkeit des Forschungsstands oder zur Häufigkeit bestimmter Befunde sind deshalb ausgeschlossen.

Die Literatur wird nach ihrer Funktion für die Fragestellung eingeordnet. Konstruktionistische Grundlagentexte erklären die Rolle selbst hergestellter Artefakte. Forschungs-arbeiten zu Making werden daraufhin betrachtet, welche Lernhandlungen sie untersuchen und welche Schlüsse ihr Design zulässt. Kompetenzrahmen dienen der begrifflichen Einordnung; sie werden nicht als Wirksamkeitsnachweise gelesen. Die drei Lehr-Lern-Arrangements konkretisieren Anforderungen und mögliche Konsequenzen. Für das Würfelprojekt und die digitalen Lernräume liegt je eine veröffentlichte Untersuchung vor [14, 15]. Die Darstellung des B@t-Detektors wird als Projekterfahrung behandelt, die dazugehörige Publikation befindet sich in der Printphase und wird vrs. 2027 erscheinen. Weitere sind auf der Projektwebsite zu finden. Berichte aus der Plenardiskussion begründen weiterführende Fragen, erlauben aber keinen Vergleich der Kompetenzen von Kindern, Studierenden und Lehrkräften. Die Nähe der Literaturauswahl zu den eigenen Projekten begrenzt die Synthese zusätzlich: Sie kann passende Erklärungen herausarbeiten, konkurrierende Zugänge jedoch nur im Rahmen der berücksichtigten Arbeiten beurteilen.

3. Maker Education als Lernumgebung

Im Konstruktionismus erhält das Herstellen eines Artefakts eine erkenntnisbezogene Funktion. Der Ansatz knüpft an die Annahme an, dass Wissen nicht lediglich aufgenommen, sondern in der aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt aufgebaut wird. Beim Making wird diese Auseinandersetzung an einem gestaltbaren, sichtbaren Artefakt nach-vollziehbar: Eine Idee kann ausprobiert, mit anderen besprochen und anhand ihrer Umsetzung überarbeitet werden [6,7]. Auch, welche folgenden Fragestellungen mithilfe des Artefakts weiter bearbeitet werden, steht im Fokus. So werden die Artefakte nicht nur zwecks des Fertigungsprozesses hergestellt, sondern dienen als Folge-Werkzeuge für die Beantwortung darauf aufbauender Fragen. Papert sowie Harel und Papert beschreiben, wie Lernende beim Entwickeln persönlich bedeutsamer und mit anderen teilbarer Produkte ihre Vorstellungen ausdrücken und bearbeiten [6,7]. Ein Entwurf legt fest, welche Idee umgesetzt werden soll. Das entstehende Artefakt macht diese Entscheidung überprüfbar und eröffnet Anlässe für Gespräche und Veränderungen. Blikstein überträgt diesen Zugang auf digitale Fertigung [8]. Ein digitales Modell kann in ein physisches Objekt überführt werden, dessen Eigenschaften wiederum Fragen an den Entwurf stellen.

Maker Education umfasst unterschiedliche Materialien, Werkzeuge und Organisationsformen [9–12]. Für die hier behandelte Frage ist relevant, wie Gestaltungsspielräume, technische Unterstützung und fachliche Anforderungen zusammenwirken. Sheridan et al. untersuchen in einer vergleichenden Fall-studie drei Makerspaces und erschließen deren Lernprozesse anhand unterschiedlicher Datenquellen [10]. Das Design ermöglicht einen kontextbezogenen Einblick in Praktiken des Making. Es liefert jedoch keinen experimentellen Nachweis, dass eine bestimmte Ausstattung oder Aufgabenform allgemeine Kompetenzen verbessert. Aus der Beschreibung eines lernförderlichen Raums lässt sich daher noch keine Wirkung für eine schulische oder hochschulische Lehrver-anstaltung ableiten.

In offenen Gestaltungsaufgaben entstehen Probleme aus den Entscheidungen der Lernenden. Eine selbst gewählte Form kann sich als schwer herstellbar erweisen; ein technisches Hindernis kann eine Änderung der Idee erforderlich machen. Hilfe durch andere wird dann für die Weiterarbeit relevant. Solche Prozesse erklären, weshalb Making mit Problemlösen und Zusammenarbeit verbunden wird

[10,11]. Für die didaktische Planung bleibt zu klären, welche dieser Handlungen eine Aufgabe tatsächlich verlangt. Eine weitgehend vorgegebene Bauanleitung eröffnet andere Entscheidungsmöglichkeiten als ein Entwurf, dessen Funktion und Umsetzung erst entwickelt werden müssen.

Bevans Review prüft kritisch, inwieweit die Forschung Ansprüche an Making als natur-wissenschaftliche Bildung stützt [13]. Damit verschiebt sich die Frage von der Attraktivität des Herstellens zu den fachlichen Praktiken, an denen Lernende teilnehmen. Für die vorgestellten Arrangements bedeutet dies, den Übergang zwischen Gestaltung und Untersuchung ausdrücklich zu planen. Beim Würfel sollen Eigenschaften des selbst entworfenen Objekts zu Fragen nach seinem Verhalten führen. Beim Detektor muss die technische Funktion mit einer Erklärung von Ultraschall und Signalwahrnehmung verbunden werden. Im digitalen Lernraum ist zu begründen, wie die gewählten Gestaltungselemente die Bearbeitung eines fachlichen Gegenstands unterstützen. Diese Verbindungen entstehen erst durch entsprechende Aufgaben und Gesprächsanlässe.

Die veröffentlichte Würfelstudie verbindet die Analyse von Artefakten mit Beobachtungen und Äußerungen der Kinder [14]. Gestaltungselemente können dadurch im Zusammenhang mit den Überlegungen untersucht werden, die ihnen zugrunde liegen. Für die vorliegende Fragestellung ist dieser Zugang aufschlussreich, weil er Werkzeuggebrauch und fachliches Denken im konkreten Prozess zugänglich macht. Seine Reichweite bleibt auf die untersuchten Situationen begrenzt. Ein individuell gestalteter Würfel und eine begründete Erklärung dokumentieren bestimmte Handlungen; sie belegen weder einen allgemeinen Kompetenzzuwachs noch die Übertragung auf andere Aufgaben.

4. Kompetenzrahmen und Forschungsbefunde

21st-Century Skills bezeichnen keine einheitlich definierte Gruppe von Kompetenzen. Die berücksichtigten Rahmen verbinden fachübergreifende Fähigkeiten mit unterschiedlichen Vorstellungen zukünftiger Bildungs-anforderungen [1–3]. Voogt und Roblin vergleichen internationale Rahmen und machen deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Gegenstand der Analyse [16]. Für Maker Education folgt daraus, die verwendeten Kompetenzbegriffe offenzulegen. Wird „Problemlösen“ als Bildungsziel genannt, muss erkennbar sein, welches Problem Lernende bearbeiten, welche Entscheidungen sie treffen und woran die Qualität ihres Vorgehens beurteilt werden soll.

Die Zuordnung einer beobachteten Handlung zu einem Kompetenzbereich ist ein erster Interpretationsschritt. Sie ersetzt keine Untersuchung der Kompetenzentwicklung. Ein ungewöhnliches Artefakt kann eine eigenständige Gestaltungslösung ausdrücken, aber auch auf einer übernommenen Vorlage beruhen. Gegenseitige Hilfe kann das gemeinsame Verständnis erweitern oder lediglich einen Arbeitsschritt delegieren. Ohne Informationen zum Entstehungsprozess bleiben diese Deutungen offen. Allgemeine Kompetenz-zuschreibungen sollten deshalb auf die dokumentierten Handlungen zurückgeführt und in ihrer Reichweite begrenzt werden.

DigComp 2.2 berücksichtigt neben Informationsverarbeitung und Kommunikation ausdrücklich die Erstellung digitaler Inhalte sowie Problemlösen [17]. Technische Gestaltung liegt damit bereits innerhalb eines breiten Verständnisses digitaler Kompetenz. DigCompEdu richtet den Blick auf den professionellen Einsatz digitaler Technologien durch Lehrende [18]. Die Rahmen bieten eine Sprache für Bildungsziele und Anforderungsbereiche. Für eine konkrete CAD-Aufgabe müssen diese Bereiche jedoch in beobachtbare Handlungen übersetzt werden: etwa eine Ansicht verändern, ein Objekt maßhaltig positionieren oder eine ungeeignete Operation erkennen. Die offene Frage betrifft somit die aufgabenspezifische Konkretisierung und didaktische Bearbeitung dieser Anforderungen.

Die Arbeiten von van Laar et al., Ng und Falloon leisten hierzu unterschiedliche Beiträge [19-21]. Van Laar et al. ordnen in einem systematischen Literaturreview das Verhältnis von 21st-Century Skills und digitalen Fähigkeiten und entwickeln daraus einen begrifflichen Rahmen

[19]. Diese Synthese unterstützt die Beschreibung anspruchsvoller digitaler Tätigkeiten, untersucht aber keine Einführung in CAD-Software. Ng verbindet ein mehrdimensionales Verständnis digitaler Literalität mit einer Untersuchung von Studierenden beim Umgang mit Bildungsmedien [20]. Die Studie behandelt das Erlernen bislang unvertrauter Technologien; ihre Selbsteinschätzungsdaten sind von einem direkten Nachweis technischer Leistung zu unterscheiden. Falloon entwickelt einen konzeptionellen Rahmen für die digitale Kompetenz von Lehrkräften, der technische Fähigkeiten in professionelle und kontextbezogene Anforderungen einordnet [21]. Dieser Rahmen begründet einen breiteren Ausbildungsanspruch, prüft aber nicht die Wirksamkeit eines Maker-Angebots. Gemeinsam erlauben die Arbeiten, technische Tätigkeit differenzierter zu beschreiben.

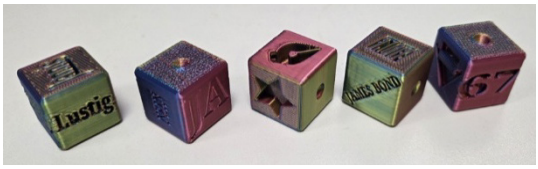


Abb. 1: Im Lernarrangement entwerfen Lernende mit der 3D-Modellierungssoftware TinkerCAD einen individuellen Würfel. Dabei gestalten sie die Würfelflächen kreativ, lernen Grundlagen des digitalen Konstruierens kennen und setzen ihre Ideen mithilfe eines 3D-Druckers in ein eigenes, greifbares Produkt um.

Wie spezifische Werkzeugroutinen erworben werden und auf andere Gestaltungsaufgaben übertragbar sind, bleibt für die hier diskutierten Arrangements empirisch zu klären.

5. Anforderungen in den drei Lernarrangements

Digitale Gestaltung wird anspruchsvoll, sobald ein vorhandenes Werkzeug für eine eigene Absicht eingesetzt werden soll. Eine Funktion auszuführen und ihre Eignung für den Entwurf zu beurteilen sind dabei verschiedene Anforderungen. Die folgenden Beispiele konkretisieren diese Unterscheidung. Sie unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Adressatengruppen: Grundschulkinder bearbeiten eine fachlich gerahmte Konstruktions- und Untersuchungsaufgabe, Lehramts-studierende entwickeln ein digitales Lernangebot für ihre zukünftigen Lernenden, während das Detektorprojekt die technische Herstellung und fachliche Erkundung in aufeinanderfolgenden Erprobungen mit Erwachsenen, Lehramtsstudierenden für die Primar- und Sekundarstufe sowie Kindern im Alter von 8 bis 11 Jahren verbindet. Sie bilden keine Stufenfolge zunehmender Kompetenz, sondern unterschiedliche Verbindungen von Werkzeuggebrauch, fachlicher Frage und technischer Umsetzung ab.

In TinkerCAD wird ein Würfel aus geometrischen Körpern aufgebaut, die positioniert, skaliert und gruppiert werden. Aussparungen verändern seine Form. Dabei repräsentiert eine zweidimensionale Bildschirmansicht einen dreidimensionalen Raum. Lernende müssen unterscheiden, ob sie die Ansicht verändern oder das Objekt selbst drehen. Hinzu kommt die Koordination von Zeigegerät, Tastatur und Benutzeroberfläche. Wenn ein Körper an der falschen Stelle liegt, ist zunächst zu prüfen, ob seine räumliche Position missverstanden wurde oder die gewünschte Bewegung technisch nicht ausgeführt werden konnte. Beide Schwierigkeiten können im fertigen Modell ähnlich aussehen, verlangen aber unterschiedliche Hilfen. Eine Demonstration der Bedienung hilft bei einer unvertrauten Eingabe; bei einem räumlichen Missverständnis muss die Darstellung erläutert oder mit einem materiellen Modell verglichen werden.

Bei den digitalen Lernräumen verband die Lehrveranstaltung die Erprobung von Werkzeugen mit der Entwicklung eines Bewertungsrasters und gamifizierter Lernangebote zum Artenschutz. In den im Vortrag dargestellten schriftlichen Reflexionen beschrieben Studierende wahrgenommene Fortschritte, Programmierprobleme und einen hohen Zeitbedarf. Diese Aussagen geben Auskunft über ihre Erfahrungen, nicht über einen unabhängig gemessenen Kompetenzzuwachs. Für die Lehre ist dennoch aufschlussreich, worauf die Reflexionen Bezug nehmen: Eine funktionierende Befehlshierarchie oder die erfolgreiche Umsetzung eines 3D-Objekts machte einen zuvor schwierigen Arbeitsschritt bewältigbar. Ob daraus ein didaktisch geeignetes Lernangebot

entstand, erfordert eine gesonderte Beurteilung der fachlichen Aufbereitung und der vorgesehenen Lernhandlungen.

Der B@t-Detektor erweitert den Blick auf technische Gestaltung, weil digitale und materielle Arbeitsschritte miteinander verbunden werden können. Das Lesen eines Schaltplans, das Bestücken und Verlöten einer Platine sowie die Prüfung eines Signals verlangen zunächst elektrotechnisches Verständnis und handwerkliche Fertigkeiten. Diese Tätigkeiten sollten nicht pauschal als digitale Kompetenz bezeichnet werden. Ein digitaler Anteil entsteht dort, wo beispielsweise ein Gehäuse modelliert oder eine programmierbare Komponente eingesetzt wird. Für das Lernen ist der Zusammenhang der Teilhandlungen relevant: Bleibt die erwartete Rückmeldung aus, müssen mögliche Ursachen an der Stromversorgung, den Bauteilen oder den Verbindungen geprüft werden.



Abb. 2: Der B@t-Detektor wandelt die Ultraschallrufe von Fledermäusen für Menschen in wahrnehmbaren Hörschall um. Über drei kleine runde Schalter lassen sich die Funktionen einzeln ein- und ausschalten: Audio (hörbare Signale), LED-Auge (sichtbare Signale) und Vibration (fühlbare Signale). Die Lernenden entscheiden bei der Fertigung selbst, welcher der farbigen Schalter welche Funktion steuert. So können Fledermausrufe über verschiedene Sinne wahrgenommen werden.

Die Fehlersuche erhält dadurch eine überprüfbare technische Aufgabe. Der Einsatz bei einer Fledermauserkundung eröffnet anschließend Fragen nach der Bedeutung und den Grenzen des wahrgenommenen Signals.

Die Arrangements zeigen, wie unterschiedlich die Voraussetzungen einer Gestaltungsaufgabe ausfallen. Bei CAD steht die Verbindung von räumlicher Darstellung und Eingabe im Vordergrund. Im digitalen Lernraum muss eine technische Funktion auf ihre didaktische Eignung hin beurteilt werden. Beim Detektor sind Fehler in einem materiellen System einzugrenzen. Tabelle 1 ordnet diese Anforderungen und die daraus entwickelten Lehrentscheidungen. Die Zusammenstellung ist eine analytische Beschreibung der Projekte; sie stellt weder ein geprüftes Kompetenzmodell noch einen Nachweis für die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Hilfen dar.

6. Werkzeuge als Teil des Lerngegenstands

Werkzeuge bestimmen mit, welche Handlungen eine Gestaltungsaufgabe verlangt. Ein Touchscreen, ein Trackpad und eine Maus bieten unterschiedliche Eingabemöglichkeiten. Für präzise Positionierungen in einer CAD-Anwendung sind deshalb die konkrete Oberfläche, das Eingabegerät und die verfügbaren Funktionen zu berücksichtigen. Aus einer allgemeinen Angabe zur Gerätenutzung lässt sich noch nicht erschließen, welche dieser Operationen vertraut sind. Die im Vortrag diskutierten Schwierigkeiten betreffen damit eine Aufgabe, die in ihrer jeweiligen technischen Umgebung analysiert werden muss.

Ein pauschales Urteil über eine Generation von Tablet-Nutzenden wäre aus den vorliegenden Berichten nicht ableitbar. Zu untersuchen ist vielmehr, welche Tätigkeiten Personen mit welchen Geräten ausgeführt haben. Erfahrung mit Touchgesten kann für eine Anwendung hilfreich sein, während eine andere Anwendung ungewohnte Tastenkombinationen verlangt. Ob dadurch mehr Fehler entstehen oder eine Einführung länger dauert, muss an vergleichbaren Aufgaben geprüft werden. Auch Unterschiede zwischen Kindern, Studierenden und Lehrkräften lassen sich erst beurteilen, wenn die jeweiligen Vorerfahrungen und die Bedingungen der Bearbeitung erfasst werden.

Für die Lehre ergibt sich daraus eine aufgabennahe Diagnose. Lehrende müssen erkennen können, ob Lernende eine fachliche Idee noch nicht entwickelt haben, die Darstellung missverstehen oder einen beabsichtigten Arbeitsschritt nicht ausführen können. Eine kurze Aufgabe zu Beginn kann solche Schwierigkeiten

Tab. 1: Anforderungen und didaktische Folgerungen für die drei Lehr-Lern-Arrangements

Lern-arrangement	Anforderungen der Aufgabe	Mögliche Lernhandlungen	Folgerung für die Lehre
3D-Würfel mit TinkerCAD	Räumliche Navigation, Maus und Tastatur, Gruppieren und Aushöhlen („bohren"), Übertragung in den 3D-Druck	Eigene Symbole entwickeln / zeichnen, Hypothesen zur Masseverteilung bilden, Würfelergebnisse prüfen, ggfs. Entwurf überarbeiten	Kurze technische Einführung mit anschließender offener Gestaltung verbinden; Artefakt und Prozess gemeinsam auswerten und reflektieren
Digitale Lernräume	Werkzeugauswahl, Programmierlogik, 3D-Modellierung, didaktische Reduktion, Gestaltung und Zeitmanagement	Gamification begründen, digitale Inhalte verknüpfen, Kriterien entwickeln, Peer-Feedback nutzen	Technische Erprobung und didaktische Reflexion nicht voneinander trennen; ausreichend Entwicklungszeit einplanen, Reflexion über den Einsatz in der Schule
B@t-Detektor	Anleitung lesen, löten, Bauteile prüfen, Gehäuse gestalten, Signal deuten	Fehler eingrenzen, Funktion testen, Ultraschall untersuchen, Artefakt im Feld einsetzen	Elektrotechnische und gegebenenfalls digitale Teilhandlungen unterscheiden; Funktion und Signal fachlich klären

sichtbar machen, wenn sie die später benötigten Operationen enthält. Darauf lassen sich gezielte Hilfen beziehen.

Eine Bedienhilfe sollte beispielsweise die betreffende Operation erschließen und anschließend wieder eigene Entscheidungen ermöglichen. Übernimmt die Lehrperson dauerhaft die technische Ausführung, bleibt unklar, welche Teile des Entwurfs die Lernenden selbst realisieren können.

Die Auswahl der Werkzeuge betrifft auch die Teilhabe. Im Vortrag wurde angesprochen, dass Schulen die für bestimmte 3D-Umgebungen geeigneten Geräte nicht allen Kindern bereitstellen können. Dieser Hinweis beschreibt eine praktische Zugangsfrage, deren Verbreitung hier nicht quantifiziert wird. Für die Planung genügt die Verfügbarkeit irgendeines digitalen Endgeräts jedoch nicht. Zu klären sind die Nutzbarkeit der konkreten Software, die Eignung der Eingabeform und mögliche Anpassungen für unterschiedliche Voraussetzungen. Übungszeit und verlässliche Unterstützung gehören zu diesen Zugangsbedingungen.

7. Konsequenzen für die Lehrkräftebildung

Lehrkräfte benötigen Erfahrungen, an denen sie technische Schwierigkeiten und fachliche Lernmöglichkeiten gemeinsam beurteilen können. Falloons konzeptioneller Rahmen stützt diese Verbindung von Werkzeugkenntnissen und professionellen Entscheidungen [20]. Für makerbezogene Lehrveranstaltungen bedeutet das, eigene Gestaltungsprozesse didaktisch auszuwerten. Aus der Literatur und den Projekterfahrungen ergibt sich hierfür eine begründete Ausbildungsperspektive. Wie weit eigene Maker-Erfahrung die spätere Unterrichtsgestaltung verbessert, lässt sich aus dem vorliegenden Beitrag nicht bestimmen.

Eine überschaubare Gestaltungsaufgabe kann den Einstieg bilden. Studierende entwerfen und prüfen ein Artefakt und halten fest, an welchen Stellen sie Unterstützung benötigten. In der anschließenden Analyse unterscheiden sie die fachliche Entscheidung von der technischen Ausführung: War die beabsichtigte Form für die Untersuchung geeignet? Konnte sie selbstständig modelliert werden? Welche Hilfe ermöglichte die Weiterarbeit? Auf dieser Grundlage planen sie ein Lernangebot für Kinder. Peer-Feedback sollte dabei die technische Funktion und die erwarteten Lernhandlungen gesondert prüfen, damit ein funktionierendes Produkt nicht vorschnell als didaktisch überzeugende Aufgabe bewertet wird.

Für den Würfel lässt sich diese Planung am Übergang vom Modellieren zum Untersuchen konkretisieren. Wird das gedruckte Objekt

zum Ausgangspunkt von Fragen nach seinen Eigenschaften und seinem Verhalten, müssen Studierende überlegen, welche Beobachtungen eine Erklärung stützen und welche Alternativen offenbleiben. Entsprechend verlangt der Detektor eine fachliche Klärung dessen, was seine Rückmeldung über Ultraschall aussagt. Im digitalen Lernraum ist zu prüfen, ob ein Gamification-Element die fachliche Bearbeitung unterstützt oder lediglich zusätzliche Bedienhandlungen erzeugt. Die didaktische Analyse setzt jeweils am Zusammenhang zwischen Aufgabe und Erkenntnismöglichkeit an.

Die technische Einführung muss diejenigen Operationen erschließen, die für eigene Entscheidungen gebraucht werden. Beim CAD-Entwurf kann dazu eine begrenzte Übung zur Positionierung und Gruppierung gehören. Danach muss Zeit bleiben, den eigenen Entwurf zu testen und zu verändern. Werden Herstellung und Präsentation bereits als Abschluss geplant, entfällt die Gelegenheit, aus dem Verhalten des Artefakts weiterführende Fragen zu entwickeln. Die Reflexion sollte deshalb auch erfassen, was erst durch die Erprobung erkennbar wurde und welche Änderung sich daraus begründen lässt.

Die institutionelle Umsetzung hängt von zugänglicher Infrastruktur und geklärten Zuständigkeiten ab. Mobile Materialsets oder Kooperationen mit Werkstätten können dafür geeignet sein. Bei digitaler Fertigung müssen zusätzlich Vorbereitung, Wartung und die Bearbeitung der Druckaufträge organisiert werden. Welche dieser Tätigkeiten Studierende selbst übernehmen sollen, ist eine didaktische Entscheidung: Übernehmen sie etwa den Export und die Fertigungsvorbereitung, erweitert sich die Aufgabe um weitere technische Anforderungen. Werden diese Schritte zentral ausgeführt, muss die Auswertung des Lernprozesses diese Unterstützung berücksichtigen.

8. Konsequenzen für Forschung und Assessment

Bei der Untersuchung von Maker-Angeboten muss das Erhebungsverfahren zur behaupteten Veränderung passen. Selbsteinschätzungen erschließen wahrgenommene Sicherheit und Fortschritte. Produktanalysen zeigen Merkmale einer Lösung, lassen aber den Anteil der Unterstützung offen. Beobachtungen machen Vorgehensweisen zugänglich, erfassen jedoch nur die dokumentierten Situationen und erfordern nachvollziehbare Interpretationsregeln. Die Verbindung dieser Datenquellen kann unterschiedliche Deutungen prüfen. Sie ersetzt weder einen Ausgangswert bei Aussagen über Zuwachs noch eine weitere Aufgabe bei Aussagen über Transfer.

Die Würfelstudie verbindet Artefaktmerkmale mit Äußerungen und Beobachtungen [14]. Diese Zuordnung ist für die Interpretation einzelner Gestaltungshandlungen geeigneter als eine isolierte Bewertung des Produkts. Auch dabei bleibt zu fragen, welche Handlungen selbstständig ausgeführt und welche durch Anleitung ermöglicht wurden. Für die Hochschullehre könnten aufeinanderfolgende digitale Entwürfe und kurze Prozessprotokolle dokumentieren, wann ein Problem erkannt und wie es bearbeitet wurde. Eine begründete Änderung wäre dann anhand des Ausgangsentwurfs, der Prüfung und der späteren Version nachvollziehbar. Die Qualität eines solchen Verfahrens hängt von transparenten Kriterien ab.

Die Frage nach Eingabegeräten lässt sich in vergleichenden Studien konkretisieren. Erfasst werden sollten bisherige Tätigkeiten mit den Geräten, Erfahrungen mit CAD und die für die Aufgabe erforderlichen Operationen. Während der Bearbeitung wären Bedienfehler von räumlichen oder fachlichen Missverständnissen zu unterscheiden. Vergleichbare Aufgaben und dokumentierte Hilfen könnten zeigen, ob bestimmte Vorerfahrungen den Einstieg erleichtern und welche Unterstützung Schwierigkeiten vermindert. Ein solches Design würde die Berichte aus der Plenardiskussion in prüfbare Fragen überführen. Aus den Berichten selbst lässt sich die Wirksamkeit einzelner Eingabeformen nicht ableiten.

Für die Professionalisierung ist darüber hinaus zu untersuchen, ob Studierende aus eigener Gestaltungserfahrung geeignete Lehrentscheidungen entwickeln. Dazu reicht eine positive Bewertung des Maker-Angebots nicht aus. Beobachtbar wäre beispielsweise, ob sie ein Bedienproblem zutreffend diagnostizieren, eine passende Hilfe anbieten und anschließend

wieder selbstständige Bearbeitung ermöglichen. Unterrichtsentwürfe und deren Erprobung könnten ergänzend zeigen, ob sie den fachlichen Erkenntnisweg über die Herstellung hinaus planen. Damit ließe sich der Ausbildungsanspruch an konkrete professionelle Handlungen binden.

9. Lessons Learned

Die Zusammenschau präzisiert eine Voraussetzung makerbezogener Lehre: Offene Gestaltung braucht einen geplanten Zugang zu den jeweils verwendeten Werkzeugen. Die Kompetenzrahmen berücksichtigen pro-duktive digitale Tätigkeiten bereits; Lehrende müssen diese Ansprüche für ihre Aufgaben konkretisieren. Die drei Arrangements verdeutlichen, dass dafür unterschiedliche Kenntnisse gebraucht werden und technische, fachliche sowie didaktische Schwierigkeiten voneinander zu unterscheiden sind. Die verfügbaren Befunde und Projekterfahrungen begründen diese Planungsaufgabe. Sie erlauben keine Aussage darüber,

wie häufig die Schwierigkeiten auftreten oder welche Einführung für alle Lernendengruppen am besten geeignet ist.

Für die Lehrkräftebildung liegt der Ertrag darin, eigene Gestaltung mit der Analyse von Unterstützung zu verbinden. Studierende sollen nachvollziehen können, welche Entscheidung eine Aufgabe verlangt, welche technische Voraussetzung dafür nötig ist und welche Erkenntnis die anschließende Prüfung ermöglicht. Ein Artefakt dokumentiert dann einen bearbeitbaren Entwurf, an dem fachliche Fragen weiterverfolgt werden können. Ob dieser Zugang professionelle Handlungsmöglichkeiten erweitert, muss an der Planung und Begleitung entsprechender Lernprozesse untersucht werden.

Interessenkonflikt

Die Autorin erklärt, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Beitrag der Autorin

A.-K. Krebs: Konzeption, Literaturauswertung, Analyse, Schreiben des Originalentwurfs sowie Überarbeitung des Manuskripts.

Literatur

[1] Binkley M, Erstad O, Herman J, Raizen S, Ripley M, Miller-Ricci M, Rumble M. Defining twenty-first century skills. In: Griffin P, McGaw B, Care E, Hrsg. Assessment and teaching of 21st century skills. Dordrecht: Springer; 2012. S. 17–66. doi:10.1007/978-94-007-2324-5_2

[2] Pellegrino JW, Hilton ML, Hrsg. Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century. Washington, DC: National Academies Press; 2012. doi:10.17226/13398

[3] OECD. OECD Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass 2030. Paris: OECD; 2019. Verfügbar unter: https://www.oecd.org/education/2030-project/

[4] Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Info Libr J. 2009;26(2):91–108. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

[5] Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. Res Integr Peer Rev. 2019;4:5. doi:10.1186/s41073-019-0064-8

[6] Papert S. Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas. New York: Basic Books; 1980.

[7] Harel I, Papert S, Hrsg. Constructionism. Norwood, NJ: Ablex; 1991.

[8] Blikstein P. Digital fabrication and "making" in education: The democratization of invention. In: Walter-Herrmann J, Büching C, Hrsg. FabLabs: Of machines, makers and inventors. Bielefeld: transcript; 2013. S. 203–22. doi:10.1515/transcript.9783839423820.203

[9] Halverson ER, Sheridan K. The maker movement in education. Harv Educ Rev. 2014;84(4):495–504. doi:10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063

[10] Sheridan K, Halverson ER, Litts B, Brahms L, Jacobs-Priebe L, Owens T. Learning in the making: A comparative case study of three makerspaces. Harv Educ Rev. 2014;84(4):505–31. doi:10.17763/haer.84.4.brr34733723j648u

[11] Hsu YC, Baldwin S, Ching YH. Learning through making and maker education. TechTrends. 2017;61:589–94. doi:10.1007/s11528-017-0172-6

[12] Martin L. The promise of the maker movement for education. J Pre-Coll Eng Educ Res. 2015;5(1):30–9. doi:10.7771/2157-9288.1099

[13] Bevan B. The promise and the promises of making in science education. Stud Sci Educ. 2017;53(1):75–103. doi:10.1080/03057267.2016.1275380

[14] Krebs A.-K. “It looks like my die has a favorite number”—maker education for 21st century skills in primary science education. Front Educ. doi:10.3389/feduc.2025.1732650

[15] Krebs, A.-K. Förderung von ICT Literacy in der Lehrkräftebildung. Einsatz von Gamification-Elementen im Kontext Artenschutz - In: technik-education (tedu). Fachzeitschrift für Unterrichtspraxis und Unterrichtsforschung im allgemeinbildenden Technikunterricht 5 (2025) 1, S. 11-20. doi: 10.25656/01:36051

[16] Voogt J, Roblin NP. A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences. J Curric Stud. 2012;44(3):299–321. doi:10.1080/00220272.2012.668938

[17] Vuorikari R, Kluzer S, Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2022. doi:10.2760/115376

[18] Redecker C. European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017. doi:10.2760/159770

[19] van Laar E, van Deursen AJAM, van Dijk JAGM, de Haan J. The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. Comput Human Behav. 2017;72:577–88. doi:10.1016/j.chb.2017.03.010

[20] Ng W. Can we teach digital natives digital literacy? Comput Educ. 2012;59(3):1065–78. doi:10.1016/j.compedu.2012.04.016

[21] Falloon G. From digital literacy to digital competence: The teacher digital competency framework. Educ Technol Res Dev. 2020;68:2449–72. doi:10.1007/s11423-020-09767-4