

---

**Themenheft Nr. 56: Making & more: gemeinsam Lernen gestalten.**

Herausgegeben von Bernadette Spieler, Manuela Dahinden, Klaus Rummler und Tobias M. Schifferle

## Making und die Informatik

### Zugänge und die ›high ceiling‹ im Making

Nadine Dittert<sup>1</sup>  und Melanie Stilz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

<sup>2</sup> Konnektiv Kollektiv GmbH

#### Zusammenfassung

*Making lässt Schüler:innen zu Erfinder:innen innen werden, lässt sie die digitale Welt mitgestalten und ermöglicht ihnen, diese durch aktives Handeln zu verstehen. Während oft ein ästhetisch ansprechendes Produkt entsteht, ist es vor allem der Prozess dorthin, der für das Lernen relevant ist. Making für den schulischen Kontext ist bisher eher durch einen klar definierten Prozess zu einem gezielten Produkt gekennzeichnet. Dies macht die Aktivität organisatorisch wie inhaltlich planbar und gibt Sicherheit. Maker-Bildung beschreibt darüber hinaus auch einen offenen Prozess, in dem Lernwege und Ergebnisse nicht vordefiniert sind und in dem Fehler, Um- und Weiterdenken erlaubt sind. Dafür braucht es Räume und Kompetenzen, die derartiges Arbeiten zulassen und davon profitieren. Die Informatik als problemlösende Disziplin kann Maker-Bildung im Unterricht umsetzen. Damit lässt sich einerseits der Prozess der Informatik durch die Arbeit an einem Projekt verdeutlichen, andererseits werden informatische Kompetenzen benötigt, um Produkte zu entwickeln, die über einfache Informatiksysteme hinausgehen. Im Artikel zeigen wir, warum es hier die Informatik braucht und warum Maker-Bildung im Informatikunterricht umgesetzt werden sollte.*

#### Making and Computer Science. Approaches and the ›High Ceiling‹ in Making

#### Abstract

*Making allows students to become inventors, who co-create the digital world, and enables them to understand what they do by active engagement. While an often aesthetically pleasing product is created, it is the process to get there that is most relevant to learning. Making in school has tended to be characterized by a clearly defined process that leads to a purposeful product. This makes the activity plannable in terms of organization and content and provides security. Maker Education further describes a process in which*



*learning paths and results are not predefined and where mistakes and rethinking are allowed. This requires spaces and competencies that allow such work and benefit from it. Computer science as a problem-solving discipline can implement Maker Education in the classroom. On the one hand, the process of computer science can be illustrated by working on a project, and on the other hand, computer science competencies are needed to develop products that go beyond simple IT systems. In this article we show why computer science is needed here and why Maker Education should be implemented in computer science classes.*

## 1. Einleitung

«Du hast es geschafft! Denn so wie es lief, war es perfekt für den ersten Versuch! Auch wenn dein Flieger dann ging zu Bruch.»

Die kleine Rosie war verwirrt und kaum erheitert.

«Der Käsekopter stürzte ab, ich bin gescheitert.»

«Ja, er stürzte ab», sagte Tante Rose. «Das ist richtig, doch davor war etwas, und nur das ist wichtig, ich sah es genau, Rosie, ungelogen ... kurz davor ... ist er geflogen!»»

(Aus: «Wie Rosie den Käsekopter erfand» von Andrea Beaty)

Dinge erfinden und selber machen sind Kern des als *Making* bezeichneten eigenen Herstellens von Dingen. Allgemein wird damit die Entwicklung, die Adaption, die Gestaltung und/oder die Herstellung eines (digitalen) Produkts bezeichnet (Schön, Ebner, und Narr 2016). Somit stehen Handlungsorientierung und eigene Aktivität im Vordergrund. Im vorliegenden Kontext der Medienpädagogik und auch aus der Perspektive der Informatik ist dabei vor allem der Prozess der Entstehung eines Produkts von Interesse, das aus einer virtuellen und einer stofflichen Komponente besteht. Dieser Prozess ist deshalb von grossem Interesse, weil er Lernmöglichkeiten bietet, die auf ein Leben in einer digital vernetzten Welt vorbereiten. Wir wollen hier Making mit Blick darauf betrachten, zur Bildung im Humboldt'schen Sinne beizutragen – also zur Menschwerdung und dazu, sich selbst als Teil der Welt zu begreifen (von Humboldt und Flitner 1993). Der Mensch ist hier Teil einer von Digitalität geprägten Welt, die er selbst auf verschiedenen Ebenen mitgestalten kann. Dieser Tatsache muss er sich bewusst sein. Das Produkt selbst ist Ziel dieses Prozesses, lässt sich aber auf unterschiedlichen Wegen herstellen. Derartige Produkte oder auch häufig unvollkommene Artefakte sind oft bunt, blinkend oder bewegen sich. Sie wirken dank der Fabrikationsmaschinen – Laser-Cutter oder 3D-Drucker – ästhetisch und erwecken schnell einen professionellen Eindruck. Dabei sagt das entstandene Produkt wenig über den dahinterliegenden Entstehungsprozess aus, der beim Making eine wesentliche Rolle einnimmt. So lassen sich beispielsweise immer wieder

Schlüsselanhänger produzieren, die als professionell wirkende Endprodukte für positives Feedback von aussen sorgen. Der eigentliche Herstellungsprozess bietet jedoch lediglich anfangs eine Lernmöglichkeit, die sich im Wiederholen erschöpft (Blikstein 2013a).

Making bietet jedoch vielmehr die Möglichkeit, konstruktivistisches Lernen umzusetzen, wie Papert es beschreibt: Ein Artefakt gibt hierbei den eigenen mentalen Modellen eine für sich und andere wahrnehmbare Form. Dieses Artefakt wird zum «Gegenstand-mit-dem-man-denkt», anhand dessen sich Hypothesen verifizieren lassen und konstruktivistisches Lernen nach Piaget – erweitert um den Prozess der Konstruktion – stattfinden kann (Papert 1980; Piaget 2003). Es lässt sich bestätigen, was bekannt war oder was angenommen wurde. Oder aber ein Widerspruch kann dazu führen, das eigene Denken zu hinterfragen und es herauszufordern, um abermals etwas Neues zu erschaffen und zu erfahren. Der Absturz des Käsekopters, oder das Scheitern, wie Rosie es ausdrückt, ist eine Lernmöglichkeit, wie sie beim Making geboten wird: Der kurze Flug und der Absturz bieten Ansatzpunkte zum Reflektieren und Hinterfragen des Erfolgs und des Misserfolgs, zum Anpassen und um neue Wege zu gehen. Schliesslich steht am Ende ein Artefakt oder ein Produkt, in dem Vorstellungen und mentale Modelle durch diesen Prozess eine stoffliche Form erhalten und sich dadurch verändern können. Gleichzeitig liegt in diesem Prozess die Möglichkeit, die Welt aktiv mitzugestalten, sie zu verändern und sich selbst in Relation zu ihr zu setzen (Schelhowe 2007).

Im Folgenden werden wir beleuchten, wie Making und Informatik zusammenpassen. Wir möchten zeigen, wie es mit Informatik gelingen kann, offene, komplexe Projekte umzusetzen und wie diese Prozesse methodisch-didaktisch begleitet werden können. Wir gehen zunächst auf theoretische Grundlagen zur Gestaltung digitaler Medien und deren Nutzen als «Bildungs-Medien» ein. Wir definieren die Begriffe Making und Digital Fabrication und grenzen sie im Bildungskontext voneinander ab. Anschliessend gehen wir auf das Schaffende ein, das Kreativität, Problemlösen und Informatik teilen. Schliesslich wollen wir zeigen, wie Making und Informatik zusammenpassen und warum dies im Informatikunterricht stattfinden soll.

## 2. Hintergrund

Die Betrachtung dessen, was zur Bildung in der heutigen – digital vernetzten – Welt beiträgt, führte 2016 auf Schloss Dagstuhl u. a. unter Beteiligung von Medienpädagog:innen und Informatiker:innen zu dem gemeinsamen Verständnis, das im sogenannten Dagstuhl-Dreieck festgehalten wurde (Brinda et al. 2016). Digitale Bildung müsse demnach «[...] aus technologischer, gesellschaftlich-kultureller und anwendungsbezogener Perspektive in den Blick genommen werden» (ebd., 1). Um einen Stau im Navigationssystem aus diesen Perspektiven zu betrachten,

müsste die Person verstehen, welche Interpretation von GPS-Daten und Vernetzung mehrerer Systeme zur Anzeige eines Staus führt. Sie müsste sich überlegen, ob und wie sie mithilfe des Systems den Stau geschickt umfahren kann, und sie wüsste, dass ihr Verhalten bedingt durch das System ein verändertes Fahrverhalten nach sich ziehen kann. Die Person wäre vorwiegend eine Nutzerin eines Systems, das ihr Leben und das anderer in irgendeiner Form beeinflusst. Darüber hinaus jedoch ist die Person mit jeder Nutzung des Systems auch gleichzeitig dessen Gestalterin. Im sogenannten Frankfurt-Dreieck wird dies verdeutlicht, indem zu allen Perspektiven explizit die Analyse, die Reflexion und eben die Gestaltung als Prozess benannt werden, die jeweils damit in Verbindung stehen (Brinda et al. 2019). Hier wird verdeutlicht, dass auf allen drei Seiten für alle Menschen Gestaltungsspielräume bestehen. So kann eine Person mit ausreichend Handys einen Stau simulieren und durch ihr Handeln die reale Welt verändern<sup>1</sup>, beispielsweise indem sie bewirkt, dass dieser Weg von anderen zu dieser konkreten Zeit gemieden wird.

Die eigene Gestaltungsmöglichkeit bleibt im allgemeinen Umgang mit digitalen Medien jedoch häufig ungenutzt. In der jährlich erhobenen JIM-Studie zeigt sich im Medieneinsatz von Jugendlichen ein vorwiegend rezeptiver Umgang (mpfs 2023). Dabei ist die Idee der gestaltenden Teilhabe an Medieninhalten nicht neu, wie der Begriff «Prosument» für die gleichzeitige Rolle von Produzent und Konsument seit den 1980er-Jahren zeigt (Toffler 1983). Der von Bruns geprägte Begriff «Produusage» (production und usage) bezieht sich darüber hinaus auf ganze Communities, die gemeinsam Inhalte generieren und deren Rollen zwischen Nutzenden, Teilnehmenden und Leitenden wechselt (Bruns 2007). Bruns geht in diesem Zusammenhang auf den Unterschied zwischen unfertigen Artefakten, die ständig weiterentwickelt werden (können), im Gegensatz zu fertigen Produkten ein. Zudem ergibt sich durch Kollaboration auch die Verschiebung zur Urheberschaft statt Eigentum (ebd.)

Die aus medienpädagogischer Perspektive erwünschte Medienkompetenz beinhaltet ebenso mehr als die reine Nutzung von Medien. Nach Dieter Baacke braucht es über Mediennutzung und Medienkunde hinaus auch die Fähigkeit zur Medienkritik sowie zur Mediengestaltung (Baacke 1996). Mediengestaltung wird dabei als innovativ und kreativ verstanden, was Veränderungen, Weiterentwicklungen sowie das Überschreiten von Grenzen beinhaltet, Medienkritik als die kritische Auseinandersetzung mit Medien und deren Wirkung (ebd.) Als Kritik am Medienkompetenzbegriff geht Baacke auf die Medienbildung ein, die im Begriff nicht enthalten sei. Diese sei weniger in angeleiteten Schritten und mit einem festgelegten Ziel zu vermitteln, sondern strebe die Entfaltung der Person an, ohne kontinuierlich pädagogisch angeleitet zu sein (ebd., 121).

---

1 <https://blog.zeit.de/teilchen/2020/02/04/google-maps-hack-stau-autos/>, abgerufen am 02.03.2024.

Die Erklärung zum Frankfurt-Dreieck nimmt von den dort beschriebenen Perspektiven in den Blick, dass sie für die Teilhabe an gesellschaftlichen Prozessen «[...] Fähigkeiten im Umgang mit und zur Analyse, Reflexion und Gestaltung von digitalen Artefakten voraus[setzt]» (Brinda et al. 2019, 2). Der Begriff des Artefakts wird hier dem Produktbegriff oder dem des Gegenstands, wie er in der Dagstuhl-Erklärung auftaucht, vorgezogen und unterstreicht damit zusätzlich die Gestaltbarkeit des Gegenstands. Weiterhin wird hier betont, dass es dafür der Kenntnis informatischer Grundlagen und gleichzeitig medienwissenschaftliche und erziehungswissenschaftlicher Zugänge bedarf (ebd.)

Die Gestaltbarkeit von Medien ist einer der wichtigsten Punkte in Heidi Schelhowes Betrachtungen und führt sie zu dem Begriff der «Bildungs-Medien». Sie beschreibt Bildungs-Medien als Material, durch das Lernende ihre Ideen ausdrücken und durch das sie mit der Welt interagieren, indem sie Dinge kreieren, die sie teilen können (Horn und Schelhowe 2019; Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015). Der Computer mitsamt der ihm innewohnenden abstrakten Konzepte, die in entsprechenden Umgebungen für Lernende zugänglich werden, wird auf diese Weise zum Bildungsmedium (Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015). In diesem Zusammenhang betont Schelhowe immer wieder den Aspekt der «Be-greifbarkeit», der das Zusammenspiel von Handeln und Denken, von konkret und abstrakt und von Immersion und Reflexion beschreibt. Neben Be-greifbarkeit ist es die Selbstwirksamkeit, die in diesem Kontext zur Bildung beiträgt. Es ist das Empowerment, das Wissen darüber, die digitale Welt selbst aktiv mitgestalten zu können, und die eigene Wahrnehmung von sich selbst im Bezug zur Technologie, die diesen Beitrag leisten. Schliesslich ist die Verbindung der eigenen Welt mit der Welt der Technologie die dritte Säule, mittels der es gelingen kann, Lernumgebungen und -materialien derart zu gestalten, dass sie zur Bildung beitragen. Dies bezeichnen Schelhowe und ihr Team als «Imagineering» (ebd.) Die Möglichkeit, derartige Lernumgebungen zu schaffen, sieht Schelhowe u. a. dort, wo Making und Konstruktivismus aufeinandertreffen (Horn und Schelhowe 2019).

### 3. Making, Digital Fabrication und Maker-Bildung

Die Begriffe «Making» und «Digital Fabrication» werden häufig synonym für den Prozess der Erstellung digitaler Artefakte eingesetzt. Wir möchten an dieser Stelle abgrenzen, wie wir diese Begriffe betrachten, um zu verdeutlichen, was Making wertvoll für Bildung in der digitalen Welt macht. Dazu definieren wir zunächst die Begriffe und möchten dann jeweils Beispiele im Bildungskontext beschreiben, um auch hier den Unterschied herauszustellen.

### 3.1 *Digital Fabrication & Making*

Making selbst beschreibt zunächst den Prozess der Herstellung von meist physischen Dingen (Schön, Ebner, und Narr 2016). Der Begriff umfasst fernab von jeglicher Technologie auch Prozesse wie Stricken oder das selbstständige Bauen von Baumhäusern, Wurfmaschinen oder Fluggeräten. Die Geschichte «Wie Rosie den Käsekooper erfand» illustriert sehr anschaulich diesen Herstellungsprozess und seine Facetten: Das Erfinden und Erschaffen von (unkonventionellen) Dingen, der Austausch und die Zusammenarbeit mit Anderen, das Aufbauen auf das, was andere schon geleistet haben, ebenso wie das Scheitern und Reflektieren sind Elemente, die im Prozess des Makings von Bedeutung sind (Beaty 2014).

In unserem Kontext ist besonders der Teil von Making von Interesse, bei dem Digitalität eine Rolle spielt. Als Digital Fabrication lässt sich der Prozess beschreiben, der das Gestalten von Dingen beinhaltet, die eine virtuelle und eine stoffliche Ebene besitzen (u. a. Katterfeldt et al. 2015). Dies können einerseits stoffliche Produkte aus dem 3D-Drucker oder Laser-Cutter sein, denen ein virtuelles Modell zugrunde liegt, das aber im stofflichen Endprodukt nicht unbedingt erkennbar ist. Der Schlüsselanhänger, Ohrringe oder eine Blume sind Beispiele für diesen Teil der Digital Fabrication, der aufgrund des Einsatzes von Produktionsmaschinen auch als «Digital Production» bezeichnet werden kann (ebd.). Auf der anderen Seite sind stoffliche Produkte wie physische Roboter oder Mikrocontroller, deren virtuelle Ebene ein ausführbares Programm enthält, ebenso als Digital Fabrication-Produkte zu betrachten. Diese werden unter dem Begriff «Physical Computing» gefasst und haben im Bildungskontext insbesondere durch die Erfindung von Programmiersprachen und Robotern für Kinder, beginnend mit Seymour Papert, mittlerweile eine längere Tradition (Blikstein 2013b; Papert 1980). In Artefakten wie 3D-gedruckten Blüten, die durch den Farbwechsel einer an einen mit dem Internet verbundenen Mikrocontroller angeschlossenen LED das Wetter anzeigen können (z. B. blaue Blüte für Regen, gelbe Blüte für Sonnenschein), vereinen sich Physical Computing und Digital Production.

Während Digital Fabrication also diverse Produkte hervorbringen kann, lässt dieses Verfahren keine Aussagen über den Prozess der Entwicklung zu. Ohrringe lassen sich als 3D-Modelle herunterladen und ausdrucken oder können im Team selbst programmiert und mit dem Laser-Cutter ausgeschnitten werden (Dittert, Katterfeldt, und Wilske 2014). Der oben beschriebene Prozess des Makings umfasst dabei mehr als das reine Herstellen. Um den Begriff herum existiert eine eigene Kultur, die durch Menschen und ihre Teilhabe in dieser «Maker Bewegung» entstanden ist. Das *Teilen und Geben*, aber auch das *Spielen und Lernen*, sowie das Mitmachen, um sich zu unterstützen und Wandel voranzutreiben, sind die Dinge, die die Maker-Kultur ausmachen und im sogenannten *Maker Movement Manifesto* festgehalten sind

(Hatch 2013). Das Mitmachen und Teilen wird durch Plattformen wie Thingiverse<sup>2</sup>, Instructables<sup>3</sup> und Tuduu<sup>4</sup> vereinfacht. Maker:innen zeigen und teilen ihre Projekte im Netz und regen zum Mit- und Nachmachen an. So kann aus einer kurzen Idee mit etwas Kreativität, einem 3D-Drucker, Platine, Elektronikkomponenten und Heisskleber ein sprechender Rucksack werden.<sup>5</sup> An Beispielen und Anregungen mangelt es nicht; auch die Maschinen sind (in grösseren Städten) in Makerspaces oder FabLabs (kurz für engl.: fabrication laboratory) zugänglich.

### 3.2 Digital Fabrication im Bildungskontext

Im Bildungsbereich waren es zunächst Universitäten die, inspiriert durch Neil Gershenfelds Kurs «How to make (almost) anything» am MIT im Jahr 2001, Werkstätten aufbauten, in denen Digital Fabrication als «hands-on introduction to the resources for designing and fabricating smart systems»<sup>6</sup> eingeführt wurde. Mittlerweile sind FabLabs an verschiedenen Universitäten über die Informatik hinaus – beispielsweise auch im Lehramt (Universität Bremen) oder in anderen Disziplinen (Universität Siegen) – zu finden (Bockermann et al. 2021, 169-183). Betrachten wir Making jedoch als Prozess, in dem Fehler und neue Wege ebenso zum Programm gehören wie ein möglicherweise nicht perfektes Produkt im schulischen Kontext, so bleibt ein Grossteil des Potenzials unausgeschöpft, das es zurzeit bietet. Die Möglichkeiten hingegen, die Digital Fabrication Technologien bieten, werden bereits mehr und mehr in Schulen umgesetzt (Himpl-Gutermann et al. 2020; Maurer und Ingold 2021; Stelzer und Pollak 2016). Mikrocontroller wie *Legó Mindstorms*, *Arduino* und *Calliope mini* gehören an einigen Schulen seit langem zum Equipment<sup>7</sup> und werden vielfältig – vorwiegend im Informatik- oder Technikunterricht – eingesetzt. Fortbildungen für Lehrkräfte, Anregungen sowie komplett ausgearbeitete Unterrichtseinheiten helfen dabei und stehen häufig kostenlos zur Verfügung (u. a. App Camps<sup>8</sup>, IT2school<sup>9</sup>). Anleitungen bieten Sicherheit in der Durchführung und ermöglichen allen Beteiligten einen einfachen Einstieg ins Thema. Schulen kaufen 3D-Drucker und nutzen sie, z. B. im Rahmen von Schülerfirmen und für den Unterricht<sup>10</sup>.

---

2 <https://www.thingiverse.com/>, abgerufen am 21.02.2023.

3 <https://www.instructables.com/>, abgerufen am 21.02.2023.

4 <https://tuduu.org/>, abgerufen am 21.02.2023.

5 <https://www.heise.de/news/Hinter-dem-Ruecken-Der-sprechende-Furby-Rucksack-7223997.html>, abgerufen am 21.02.2023.

6 <https://ocw.mit.edu/courses/mas-863-how-to-make-almost-anything-fall-2002/>, abgerufen am 21.02.2023.

7 <https://calliope.cc/schulen/schulmaterial>, abgerufen am 03.03.2024.

8 <https://appcamps.de/unterrichtsmaterial/calliope-mini/>, abgerufen am 03.03.2024.

9 <https://www.wissensfabrik.de/it2school/>, abgerufen am 03.03.2024.

10 <https://www.igo3d.com/comedu-die-schuelerfirma-cad-jet-production-der-kgs-hemmingen>, abgerufen am 03.03.2024.

Mittlerweile existieren verschiedene Materialien, die didaktische Anregungen oder Anleitungen zum Bau eigener Artefakte bieten. Beispielsweise fokussiert die Herstellung parametrisierter Blumen oder programmierter Schmuckstücke auf den Konstruktionsprozess mittels Programmierung und leitet diesen didaktisch an (Dittert, Katterfeldt, und Wilske 2014; Dittert und Katterfeldt 2017; Pancratz et al. 2019). Derartige Szenarien sollen Lehrkräfte begleiten, ihnen Sicherheit bieten und eine Verbreitung entsprechender Lernaktivitäten in Schulen sowie im außerschulischen Bereich fördern (Dittert und Katterfeldt 2017). Am Ende erhalten die Lernenden ein selbst entwickeltes Produkt, von dem häufig bereits zu Beginn klar war, was es sein wird. Die selbst programmierten Blumen variieren nach Art, Anzahl und Form der Blätter, wobei die zugrunde liegende Programmierung – abgesehen von den Parametern – gleich ist. In etwas freieren Ansätzen lässt sich darüber hinaus die persönliche Bedeutsamkeit eher berücksichtigen, und das Endprodukt lässt sich auf individuelle Wünsche oder Ideen anpassen. Beispielsweise können mit einfacher Programmierung Stoffdrucke entworfen werden (Dittert und Katterfeldt 2018). Auch hier ist das Endprodukt – ein Stoffbeutel – für alle gleich. Hingegen lassen sich hier bereits individuelle Designs durch den kreativen Umgang mit einfachen Formen entwickeln. Entstandene Eistüten, Fische oder Flugzeuge bilden ganz unterschiedliche Interessen oder Bedeutungen ab und lassen persönliche Verbindungen zwischen Entwickler:in und Produkt zu. Szenarien wie diese lassen sich gut in schulischen Kontexten, etwa in Form von Projektunterricht und/oder als Anfangsunterricht, einsetzen. Sie folgen einem klaren Ziel und der Ablauf ist genau beschrieben. Es werden aktive Einblicke in die Funktionsweise der Technologie ermöglicht, und derartige Angebote werden oft als motivierender Zugang zu Technologie oder Informatik genutzt (u. a. Przybylla und Romeike 2014; 2018; Katterfeldt et al. 2019).

### **3.3 Making im Bildungskontext**

Während die hier als Digital Fabrication eingeordneten Ansätze aktives Lernen und Handlungsorientierung umsetzen und zu einem bestimmten Grad eigene Kreativität und eigene Lernwege zulassen, bietet Making darüber hinaus die Möglichkeit, eigene Lernprozesse zu gestalten. Dies kann beispielsweise in offenen Werkstätten oder in (ausserschulischen) Technologiewerkshops stattfinden. An der Universität Bremen fanden unter dem Titel «TechKreativ» über viele Jahre Digital Fabrication Workshops für Kinder und Jugendliche statt, die einen offenen Lernprozess zuließen (Dittert, Wajda, und Schelhowe 2016; Dittert, Katterfeldt, und Reichel 2012; Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015; Schelhowe et al. 2013). Dabei kamen neben Mikrocontrollern und klassischem Bastelmaterial auch Laser-Cutter, Plotter und 3D-Drucker zum Einsatz. In fünf aufeinander folgenden Phasen wurden die Teilnehmenden bei ihren Alltagsfantasien abgeholt, lernten die Technologien kennen,

entwickelten Ideen, setzten diese um und präsentierten sie (Dittert, Katterfeldt, und Reichel 2012). In einem solchen Prozess werden die Lernenden bis zur Findung konkreter Ideen stärker begleitet, jedoch sind die Teilnehmenden für ihren Schaffensprozess eher selbst zuständig. Sie erhalten jederzeit Hilfe, wenn sie diese benötigen, sind jedoch sehr frei in ihrer eigentlichen Arbeit. Teil der Präsentation des entwickelten Projektes ist es hier, den Prozess zu beschreiben, was gleichzeitig zu dessen Reflexion anregt. In diesem Setting wird neben dem Endprodukt auch dem Entstehungsprozess ein hoher Stellenwert beigemessen (Dittert 2015; Katterfeldt 2015; Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015).

Bei dieser Herangehensweise steht der Kontext ebenso im Mittelpunkt wie die Konstruktion selbst. Teilnehmende entscheiden im gegebenen Rahmen selbst, was sie entwickeln wollen. In ausserschulischen Tanzworkshops wurden Bühne oder Kostüme passend zur ebenso selbst entwickelten Choreografie «intelligent» ausgestattet, in Sportworkshops wurden Messgeräte für diverse Sportarten wie Fußball, Trampolin springen oder Einradfahren entwickelt, die während der Konstruktion immer wieder ausprobiert wurden (Schelhowe et al. 2013; Dittert 2014). Ein T-Shirt, das entsprechend einer Choreografie entwickelt wurde, lässt beispielsweise auf Armbewegung LEDs aufblinken. Ähnliche Szenarien sind in universitären Seminaren zu finden. So fand 2020 an der TU Berlin das Seminar «Digitalisierung und Nachhaltigkeit» im Rahmen der Lehrkräftebildung für das Fach Arbeitslehre statt. In einem ähnlichen Prozess wie in den beschriebenen ausserschulischen Workshops wurde dort zunächst aus den 17 Nachhaltigkeitszielen<sup>11</sup> der Vereinten Nationen ein Ziel festgelegt, das thematisiert und für das mittels Digital Fabrication eine Teillösung entwickelt werden sollte. Es entstand u. a. ein Wildbienenzähler, bei dem ein BBC micro:bit mit einem Ultraschallsensor ausgestattet an einem Insektenhotel befestigt wurde (Stilz und Springguth 2021). Zu Beginn eines solchen Seminars oder Workshops ist nicht absehbar, mit welchem Produkt die Maker:innen ihre Arbeit beenden. Aus der ursprünglichen Idee kann durch Gelingen oder Scheitern, sowie durch Einflüsse Anderer oder der Technologie selbst eine neue Idee entstehen, die dann verfolgt wird. Dies kann für die Workshopbegleitung herausfordernd werden, da nicht jeder Weg vorhersehbar und damit insgesamt das Vorhaben schwierig zu planen ist. Lernende gestalten hier ihren Lern- und Gestaltungsprozess aktiv mit. Dies kann jedoch gleichzeitig bedeuten, dass ein von aussen erwünschtes Ziel – beispielsweise die Entwicklung eines vernetzten Informatiksystems – nicht umgesetzt wird, weil es in diesem Kontext aus Sicht der Lernenden nicht notwendig war. So können einige der Chancen, die Making für die Bildung bietet, zur Herausforderung im schulischen Kontext werden: der eigene Lernprozess, in dem Lernende selbst

---

<sup>11</sup> <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-un-nachhaltigkeitsziele-1553514>, abgerufen am 21.02.2023.

(mit-)bestimmen und sich selbst in Relation zur (digitalen) Welt zu begreifen, kann zeitlich und organisatorisch Schwierigkeiten aufwerfen und es bedarf einer sehr guten Planung der Rahmenbedingungen, um dem zu begegnen.

### 3.4 *Maker-Bildung*

Für Maker-Bildung gibt es keine eindeutige Definition. Wir möchten an dieser Stelle abgrenzen, warum wir lediglich die zweite Variante tatsächlich als Maker-Bildung betrachten: In der ersten beschriebenen Form (Digital Fabrication im Bildungskontext) steht das fertige Produkt (z. B. Blume oder Schmuckstück) und damit verbunden das Erfolgserlebnis im Vordergrund. Der Lernpfad wird entsprechend durch die Lehrkraft und/oder durch das Lehrmaterial vorgegeben. Alle Schüler:innen lernen beispielsweise, mit Mikrocontrollern, Laser-Cuttern und/oder 3D-Druckern ein Produkt zu entwickeln. Die oben beschriebenen Szenarien der Blumen aus dem 3D-Drucker sowie die Stoffdrucke sind Szenarien dieser Art (Pancratz et al. 2019; Dittert und Katterfeldt 2018). Im besten Fall bieten sie den Lernenden den Spielraum, ihrem Produkt eine für sie persönliche Bedeutung hinzuzufügen, das Endprodukt selbst ist jedoch vorgegeben. Szenarien wie diese wurden für den schulischen Kontext entwickelt. Hier ist es möglich, dass die Lehrkraft sich im Vorfeld auf die Unterrichtseinheit und ihre Inhalte sowie auf eventuell auftretende Schwierigkeiten oder Herausforderungen vorbereitet. Der zeitliche Rahmen ist vorgegeben und das notwendige Material wie Filament oder Stoffbeutel und Wärmetransferfolie kann und muss vorher besorgt werden. Der Lernprozess ist klar definiert und lässt den Lernenden wenig Spielraum für eigene Lernwege. Gleichzeitig bietet er die Möglichkeit, in kurzer Zeit den Prozess der Informatik anschaulich darzustellen: Von der Problemstellung (z. B. Ich möchte ein Design für einen Stoffbeutel entwerfen) über die Ideenfindung, das Kennenlernen der Werkzeuge inklusive der Programmierung bis zur Präsentation des fertigen Produkts. Szenarien wie diese eignen sich gut für kurze Schnupperworkshops an Projekttagen. In kurzer Zeit kann hier mit Digital Fabrication gezeigt werden, was Informatik ist und wie die virtuelle und die physische Ebene in derartigen Produkten zusammenspielen. Hierfür spielt auch das Erfolgserlebnis eine zentrale Rolle, das in diesem Szenario fast garantiert ist. Ein solches Setting ist häufig für Anfänger:innen konzipiert und setzt das Prinzip des *low floor* um, das einen einfachen Einstieg in eine Technologie fordert und mit einer entsprechend gestalteten Lernumgebung möglich ist (Resnick und Silverman 2005).

Die zweite Form – zuvor beschrieben als Making im Bildungskontext – findet in einer Werkstatt oder einem Makerspace statt und lässt sich als *«Werkstattlernen»* beschreiben. In diesem Rahmen liegt ein wesentlicher Fokus auf dem *Prozess, der zur Entwicklung des Produkts führt*. Lernwege lassen sich hier frei gestalten und sind weniger vorhersehbar und weniger planbar als im ersten Modell. Dieses Vorgehen findet

sich beispielsweise in ausserschulischen Kursen in FabLabs oder im Fach Arbeitslehre oder Technik wieder. Hierfür bieten viele Schulen gut ausgestattete Werkstätten, für die ein:e Werkstattmeister:in zuständig ist. Der Prozess der Ideenentwicklung wird dabei methodisch oft durch die Lehrkraft und/oder durch Fachpersonal begleitet, das bei der Planung und bei der technisch oft anspruchsvollen Umsetzung hilft. Hierbei ist eine Aufteilung der Kompetenzen möglich: Die Lehrkraft nimmt die Rolle der Expertin für die methodisch-didaktische Begleitung des Prozesses ein; für die technischen Details sind Werkstattmeister:innen oder Fachpersonen zuständig, die die Umsetzung mehr oder weniger stark unterstützen. Lernwege und Endprodukte sind sehr individuell, und es ist nicht ungewöhnlich, dass am Ende etwas anderes herauskommt als das, was als ursprüngliche Idee generiert wurde. Je nachdem, wie stark das Werkstattteam auf die Produktentwicklung eingewirkt hat, enthalten die Endprodukte Black-Box-Anteile bzw. bei wenig pädagogisch geschultem Personal oder Zeitknappheit durchaus auch anteilige Arbeit der Werkstattmeister:innen. Der zeitliche Rahmen ist hierbei oft grösser als im ersten Szenario und das gesamte Setting ist offener gestaltet. Der Lernprozess ist weniger vorgegeben, wodurch auch die Begleitung der Lernenden personell aufwendiger wird. Zudem ist es möglich, dass Material benötigt wird, das im Vorfeld nicht eingeplant war. In Werkstätten stellt dies generell weniger ein Problem dar, da dortige Materiallager häufig gut ausgestattet sind.

Die zuvor beschriebenen TechKreativ-Workshops lassen sich in diese Definition der Maker-Bildung einordnen: Sie folgen einer klaren Methodik und lassen dabei viel Freiraum für die Ideen der Teilnehmenden (Dittert, Wajda und Schelhowe 2016; Dittert, Katterfeldt, und Reichel 2012). Auch das beschriebene BNE-Seminar beschreibt dieses Werkstattlernen (Stilz und Springsguth 2021). Eine gute Ausstattung des Labors, ein oft zeitlich grösserer Rahmen, die Expertise und Begleitung durch das Fachpersonal sowie der gesamte methodische Rahmen ermöglichen hier die Herstellung individueller, unvorhersehbarer Produkte. In den beschriebenen Szenarien wird auch Anfänger:innen ermöglicht, eigene Projekte mit Technologie umzusetzen – der *low floor* ist weiterhin gegeben. Hinzu kommt durch die vielfältigen Möglichkeiten das Prinzip der *wide walls* – die Vielfalt der Entwicklungsmöglichkeiten – die in diesem Szenario geboten wird (Resnick und Silverman 2005).

Für die Durchführung dieser beiden beschriebenen Varianten sind mindestens informatische Grundlagen (z. B. einfache Programmierung, E-V-A Prinzip) sowie die Kenntnis der Funktionsweise der Maschinen notwendig.

Komplexe, elaborierte Projekte sind zwar möglich (*high ceiling*), benötigen jedoch begleitendes Fachpersonal mit fundierter pädagogischer und informatischer Ausbildung. Die Informatiklehrkraft kann auf diese Ausbildung zurückgreifen und folglich stellt sich die Frage, inwiefern Maker-Bildung und informatische Bildung gegenseitig Synergien besser nutzen können und sollten, um ihr Potenzial stärker als bisher entfalten zu können.

#### **4. Kreativität, Problemlösen und Informatik**

An dieser Stelle möchten wir die Begriffe Kreativität, Problemlösen und Informatik darstellen und zusammenbringen. Auf diese Weise soll deren gemeinsame Basis für Maker-Bildung im Informatikunterricht verdeutlicht werden.

##### **4.1 Kreativität**

Kreativität bezeichnet im Allgemeinen zunächst eine schöpferische Kraft<sup>12</sup>. Fälschlicherweise oft lediglich mit Kunst oder ästhetischem Gestalten assoziiert, bezieht sich der Begriff auf seinen lateinischen Ursprung *creare* für «etwas erschaffen». Nach Mel Rhodes wirken dabei vier Aspekte zusammen: der Prozess, das Produkt, die Persönlichkeit sowie das Umfeld in Beziehung zur Person. Rhodes beschreibt u. a. Lernen, Denken und Kommunikation als Teile des Prozesses. Als Produkt bezeichnet er eine Idee, die eine haptische Form erhält. Das Produkt verkörpert die Gedanken der Person, die es entwickelt hat, zu einem bestimmten Zeitpunkt und ermöglicht, Gedanken zurückzuverfolgen und damit Rückschlüsse auf die Herkunft der Idee zu ziehen. Rhodes wählt hier ebenso den Begriff des Artefakts und bezeichnet Produkte als «artifacts of thoughts» (ebd., 309). Zu den Persönlichkeitseigenschaften zählt Rhodes Aspekte wie Motivation, Gewohnheiten, Einstellungen und Selbstkonzept. Als «press» bezeichnet er das gesamte Umfeld der kreativen Person, die ihre Ideen in einer bestimmten Umgebung und in Abhängigkeit von den Gegebenheiten dort entwickelt. Dies können Bedürfnisse, Wahrnehmungen, Ereignisse und Vorstellungen sein, und sie sind damit stark mit der Person verknüpft und subjektiv geprägt (Rhodes 1961). Ken Robinson beschreibt dieses gesamte Zusammenspiel folgendermassen:

«Kreativität ist sowohl ein praktischer als auch ein konzeptioneller Prozess: Wie und was wir erschaffen, hat viel mit den Werkzeugen und Materialien zu tun, die uns zur Verfügung stehen und was wir aus und mit diesen machen.» (Resnick und Robinson 2017, 9)

Auch er betont hier den Prozess («wie wir erschaffen»), das Produkt («was wir erschaffen»), die Persönlichkeit («wir erschaffen») und das Umfeld («die Werkzeuge und Materialien, die uns zur Verfügung stehen»). In diesem Zusammenhang scheint sich das Umfeld jedoch weniger auf die persönlichen Erfahrungen der Person, sondern vielmehr auf die Arbeitsumgebung zu beziehen.

Als einen Aspekt des kreativen Arbeitens beschreibt Mihaly Csikszentmihalyi in seiner Flow-Theorie den geistigen Zustand, in dem sich eine Person befindet, die im richtigen Verhältnis von Herausforderungen zu Fähigkeiten steht, um nicht über- oder unterfordert zu sein (2014). In diesem optimalen Zustand sind Personen in der

---

12 <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kreativitaet>, abgerufen am 21.02.2023.

Lage, fokussiert einer Sache zu folgen oder an ihr zu arbeiten, was Csikszentmihalyi für Kreativität wie auch für das Lernen beschreibt. In Kombination mit Vygotskys *Zone der proximalen Entwicklung* lässt sich dies beispielsweise als Zugang zur Informatik umsetzen, in dem Schüler:innen in der sogenannten *Zone des proximalen Flows* Computerspiele entwickeln (Vygotsky und Cole 1978; Webb, Repenning, und Koh 2012).

Eine häufig gestellte Frage in Bezug auf die Kreativität ist die Frage nach dem «Neuen»: Ist es neu für mich oder ist es neu für die Welt? Im Englischen wird diesbezüglich zwischen dem kleinen und dem grossen «c» unterschieden (Csikszentmihalyi und Nakamura 2014). Neu für mich – das kleine «c» – kann etwas sein, das es bereits in der Welt gibt, was ich jedoch noch nicht erschaffen oder entwickelt habe oder was mir bisher nicht bekannt ist. Nach dem grossen «C» zu suchen bedeutet, nach Lösungen für die Probleme der Welt zu suchen und ganz neuartiges zu entwickeln, was bisher nicht existiert. Für den Lernprozess im Informatikunterricht ist das kleine «c» von Interesse (Schmalfeldt und Maurer 2021). Es spielt keine Rolle, ob Andere die Dinge bereits entwickelt haben. Für den Lernprozess ist die Erfahrung der Person selbst relevant und die Entwicklung eigener neuer Kompetenzen. Der Prozess der Konstruktion bringt dies mit sich, unabhängig davon, ob etwas für eine Person oder für alle neu ist.

Von einer digitalen bzw. «Digital Fabrication Revolution» spricht Neil Gershenfeld, wenn der Zugang zu Maschinen die traditionelle Bildung verändern wird (2008; 2012). Diese Maschinen – 3D-Drucker, Laser-Cutter, Mikrocontroller etc. – ermöglichen einen schöpferischen Akt auf virtuell-physischer Ebene und eröffnen dadurch Möglichkeiten, Kreativität auf andere als traditionelle Weise auszudrücken. Kreativität ist nicht mehr auf das rein haptische Konstruieren wie z. B. das Bauen mit Klötzen oder aus Papier begrenzt. Das rein virtuelle Schaffen, das die Informatik lange Jahre prägte, also das Schaffen eines Computerprogramms oder eines virtuellen 3D-Modells eines Körpers oder eines Designs, kann durch Digital Fabrication mit stofflicher Produktion verbunden werden und erfährt über Physical Computing hinaus eine weitere Möglichkeit der Verbindung zwischen dem Code in einer Maschine und der realen Welt. In dieser Kombination von konkret und abstrakt, von Denken und Handeln, von Geist und Körper wachsen die Möglichkeiten konstruktivistischen Lernens wie Papert es beschrieb (1980; Schelhowe 2012).

Mittels Digital Fabrication-Technologien lässt sich Kreativität nach Rhodes Definition umsetzen: In einem geeigneten Umfeld kann ein Produkt oder Artefakt entwickelt werden, das auch die Möglichkeit bietet, sich selbst in Relation zu diesem Artefakt zu begreifen. Im Hobbybereich ist dies zu beobachten, wenn Maker:innen Dinge erfinden, bauen und teilen, die sie selbst und ursprünglich für sich kreiert und sich dafür einen Raum geschaffen haben.

## 4.2 Problemlösen und Informatik

An dieser Stelle möchten wir den Prozess der Erstellung eines neuen Informatiksystems aufzeigen und diesen direkt in Bezug zu den in den o.g. TechKreativ-Workshops (s. 3.3) setzen. Ausgehend von einer Problemstellung – sei sie ein Auftrag eines Arbeitgebers oder eine Aufgabe wie ein Sportmessgerät zu designen – werden zunächst die zur Verfügung stehenden Mittel – Technologien und Materialien – betrachtet. Unter Einbezug der konkreten Situation werden Ideen entwickelt, bevor es an die eigentliche Umsetzung inklusive Tests und Iteration geht. Am Ende wird das Produkt der Öffentlichkeit vorgestellt, was auch zur Reflexion des Entwicklungsprozesses beiträgt (Dittert, Wajda, und Schelhowe 2016; Dittert, Katterfeldt, und Reichel 2012). Diese Darstellung des Informatikprozesses rückt das Kreierende und Wirklichkeitsverändernde der Disziplin in den Mittelpunkt und bedient sich des Narrativs der Informatik als Ingenieurwissenschaft. Wird ein Informatiksystem entwickelt und eingesetzt, verändert sich dadurch etwas in der Welt. Der Einsatz von Navigationssystemen kann dazu führen, dass Strassen häufiger frequentiert werden, die jedoch nicht dafür ausgelegt sind. Diese Perspektive einnehmend, beschreibt die Gesellschaft für Informatik (GI e.V.) in ihrem Positionspapier die Informatik als *Disziplin, die sich mit dem Entwurf, der Umsetzung und dem Einsatz von Informatiksystemen für verschiedene Anwendungsgebiete befasst* (GI 2006). Sie rückt dabei die Konstruktion – hier eher abstrakter Objekte – in den Mittelpunkt ebenso wie die Arbeit im Team. Zudem verweist sie auf eine neuartige Weise bei der Erschließung von Problemfeldern durch informatische Modelle und Werkzeuge (ebd.). Die Lösung von Problemen steht im Mittelpunkt der Informatik und wird auch in den Empfehlungen der GI e.V. zu den Bildungsstandards Informatik deutlich: «Informatisches Entwickeln und Problemlösen ist auch ein kreativer Prozess, in dem Theorie, Abstraktion und Design verknüpft sind» (Gesellschaft für Informatik e.V. 2016, 1). Das Schaffende, Kreative wird auch hier betont. Problemlösen wird weiterhin beschrieben als «die bewusste und selbstständige Auswahl und Anpassung geeigneter gelernter Methoden und Verfahren in neuartigen Situationen. Dabei werden aus gelernten Denkmethode[n] bzw. Lösungsverfahren die zur Bewältigung der Aufgabe geeigneten selbstständig ausgewählt und einer neuen Problemstellung angepasst.» (ebd., 4)

Wurde Kreativität zuvor als praktischer und konzeptioneller Prozess beschrieben, der abhängig von den Werkzeugen, Materialien und unserem Umgang damit ist, so wird hier deutlich, dass beide Teilprozesse Gemeinsamkeiten aufzeigen: Der konstruktive Umgang mit Methoden und Material führt schliesslich zur Lösung eines Problems. Dazu braucht es eine geeignete Umgebung, die den Prozess der Produktentwicklung stützt. An dieser Stelle sollen nun Making als Umgebung für das Lernen und Informatik als kreative, problemlösende Wissenschaft explizit zusammengeführt werden.

## **5. Making, Informatik und Informatikunterricht**

Während wir bisher eher auf den Prozess der kreativen Umsetzung eines Artefakts und auf freie Lernwege eingegangen sind, möchten wir nun zeigen, wie diese Prozesse und die Informatik zusammenpassen und schliesslich, wie Making im Informatikunterricht gelingen kann.

### **5.1 Making und Informatik**

Die oben in den Making-Szenarien beschriebenen Beispiele des T-Shirts, das auf Armbewegung blinkt, oder des Wildbienenzählers zeigen eher einfache Umsetzungen des E-V-A Prinzips und einer if-Abfrage. Das eigenständige Entwickeln eines Informatiksystems offenbart die grundlegende Funktionsweise seines Aufbaus und seiner Programmierung (Schelhowe 2007). Es werden u. a. algorithmische Grundbausteine verwendet und implementiert (Gesellschaft für Informatik e.V. 2016) und Teilnehmende verstehen den grundlegenden Aufbau von Informatiksystemen und deren Funktionsweise (Gesellschaft für Informatik e.V. 2008). Insgesamt bleiben die zu erwerbenden Informatikkompetenzen damit in diesen Beispielen auf einem grundlegenden Niveau. Die *«high ceiling»* wird mit diesen einfachen Projekten noch nicht erreicht.

Sind Informatikschaffende gleichzeitig Maker:innen so trifft informatische Kompetenz auf kreative Produktentwicklung. Umgesetzte Algorithmen gehen über einfache if-Abfragen in Endlosschleifen hinaus und es werden Softwarebibliotheken oder Module anderer Maker:innen für die Implementierung von Algorithmen verwendet (vgl. Gesellschaft für Informatik e.V. 2016). Was wir als Werkstattlernen bezeichnet haben, kann stattfinden. Sofern die notwendige Ausstattung vorhanden ist, kann der Prozess des Ideenfindens und der Umsetzung, inklusive des Scheiterns, aber auch des Präsentierens, Teilens und Reflektierens von Ideen umgesetzt werden. Es braucht dafür weniger konkrete Anleitung oder Beispiele, als vielmehr einen geeigneten Rahmen aus Methodik, Zeit, Ziel vor Augen, sowie weiteren Ideen und Anregungen, was als nächstes gemacht werden kann. Diese ergeben sich teilweise aus dem direkten Umgang mit dem Material oder aus der Kommunikation und Zusammenarbeit mit Anderen. In diesem idealtypischen Prozess befinden sich die Maker:innen im Flow – in dem ausgeglichenen Zustand zwischen Herausforderung und Fähigkeiten, in dem sie motiviert sind und bleiben und in dem der Arbeits- und Lernprozess weiter voranschreitet.

Diese Beschreibung von Making trifft bisher eher auf den Hobby- und Freizeitbereich zu: Labore laden zu OpenLabs ein, Ferienkurse für Schulkinder finden statt, Hackathons werden durchgeführt. Einen solchen Prozess in das institutionelle Lernen zu transferieren, ist durchaus herausfordernd. Intrinsische Motivation lässt sich nicht simulieren, jedoch bietet Making durch seine vielfältigen Möglichkeiten viele

Gelegenheiten, an den Lebensalltag der Gestalter:innen anzuknüpfen. Die universitäre Informatikausbildung hält dazu vielversprechende Beispiele bereit. An der Universität Oldenburg findet dieses Werkstattlernen zu Beginn des Informatikstudiums statt. In dem Kurs «Soft Skills und technische Kompetenz» werden (Informatik-)Studierende über zwei Semester dazu angeleitet, ihre eigenen Soft Skills wie Zeitmanagement, Teamarbeit, Kreativität etc. zu reflektieren, lernen neue Methoden dazu kennen und entwickeln schliesslich im Team ein Internet-of-Things Projekt (Fandrich, Pancratz, und Diethelm 2022). Ziel dieser Veranstaltung ist, einerseits technische Kompetenzen hands-on zu entwickeln (3D-Druck, Mikrocontrollerprogrammierung etc.), andererseits sich mit (den eigenen) Soft Skills zu befassen und diese direkt in die gemeinsame Arbeit an einem Artefakt einfließen zu lassen. Prozessbegleitend erstellen die Studierenden einen Blog, auf dem etwa alle 3 Wochen Übungsaufgaben u. a. zur Selbstreflexion und zur Projektbeschreibung zu bearbeiten sind. Auf einer Abschlusskonferenz stellen die Studierenden ihre Projekte untereinander vor. Projekte der letzten Semester waren beispielsweise eine smarte Mülltonne, die ihren Füllstand erfassen und mitteilen kann, ein Pomodoro-Timer und ein automatisch wässernder Blumentopf. Die Projektideen sind geprägt von Diversität, was ihren möglichen Einsatzbereich sowie ihren technischen Anspruch betrifft. Während Grundlagen – beispielsweise zum Aufbau des Internets, zur Programmierung von Mikrocontrollern, sowie deren Netzanbindung – in der begleitenden Vorlesung oder Übung thematisiert werden, obliegt es den Studierenden, welches Niveau ihr Projekt am Ende erreichen wird. Die (Informatik-) Kompetenzen, die Studierende zeitgleich in anderen Lehrveranstaltungen erwerben, können hier ebenfalls direkt eingebracht werden. So bietet die Veranstaltung einen Rahmen, in dem die Studierenden selbstständig in ihren Gruppen an ihren Projekten arbeiten. Hierzu wird mehrmals wöchentlich Zugang zu einer Art Makerspace geboten, wo sie frei arbeiten können. Die hier entstandenen Projekte zeigen ein deutlich anderes Niveau als ein blinkendes T-Shirt oder ein Wildbienenzähler. Die Programmierung ist komplexer, wird während des Prozesses immer wieder überprüft und es können Konzepte und Methoden der Softwareentwicklung zur Gestaltung angewandt werden (vgl. Gesellschaft für Informatik e.V. 2016). Hierbei können auch gesellschaftlich relevante Themen in den Fokus rücken, beispielsweise die Beurteilung und Bewertung gesellschaftlicher Folgen durch die Anwendung von Informatiksystemen (ebd.)

Es zeigt sich, dass eine Verknüpfung von Making und Informatik möglich ist und dass auf diese Weise «high ceiling»-Projekte entstehen können. Dort, wo Raum zum Abbiegen und zum Fehler machen ist, können Lernprozesse derart gestaltet werden, dass durch die und während der Gestaltung von Artefakten Vorstellungen, Phänomene und Systeme analysiert und reflektiert werden. Inhalte werden aktiv handelnd erschlossen, Fragen nach Sinnhaftigkeit oder Nachhaltigkeit von Systemen können kritisch diskutiert werden. Durch gemeinsames Arbeiten, Aufbauen auf

das, was andere zuvor geleistet haben, und den Rollentausch im Entwicklungsprozess entsteht die Möglichkeit, neue Perspektiven zu entdecken und sich selbst als Urheber:in in Bezug dieses Prozesses und der digitalen Welt zu betrachten.

### 5.2 *Making im Informatikunterricht*

Digital Fabrication ist bereits im Informatikunterricht angekommen. Häufig dient es als Einstieg oder Grundlage für ein einfaches Verständnis, um aktiv Einblick in ein Informatiksystem zu geben, seine grundlegenden Prinzipien durch eigenes Gestalten zu verstehen oder einen motivierenden Einblick in die Informatik zu erhalten. Der Informatikunterricht selbst bietet jedoch das Potenzial hier noch weiterzugehen. Vielmehr kann hier Maker-Bildung im Sinne des Werkstattlernens, des teilweise ergebnisoffenen Prozesses, stattfinden. Im Informatikunterricht darf das strikt angeleitete Making in offenes, leicht angeleitetes Making übergehen. Wenn die Grundlagen bekannt sind – und das sind sie im Laufe des Schulunterrichts im Fach Informatik –, dann kann Making weit mehr bewirken, als E-V-A zu veranschaulichen oder interessante Zugänge zur Informatik zu bieten. Es ist möglich, weitere Inhalte der Informatik und deren komplexe, abstrakte Inhalte so zu erschliessen, dass sie be-greifbar werden und zur Formung des Ichs in der digitalen Welt beitragen.

Während der Pandemie hat sich der Erfindergeist in Schulen gezeigt: Informatikkurse fingen an, CO<sub>2</sub>-Messgeräte im Unterricht zu bauen (Przybylla und Huber 2021). Auch hier ist das Endprodukt zu Beginn des Prozesses bereits festgelegt, jedoch stehen gleichzeitig alle Möglichkeiten des Werkstattlernens offen. Die CO<sub>2</sub>-Ampel, die grün, gelb oder rot leuchtet, ist zunächst der erste Schritt. Sie allerdings nicht nach konkreter Anleitung nachzubauen, mehrere Ampeln im Raum zu verteilen, sie divers zu gestalten, Phänomene zu beobachten und die Gestaltung des Artefakts zu reflektieren, sind mögliche didaktische Ansatzpunkte. Sich darüber hinaus mit den eingehenden Daten intensiv zu beschäftigen, diese über einen längeren Zeitraum aufzuzeichnen und zu analysieren, Geräte untereinander oder auf der ganzen Welt miteinander zu vernetzen und Daten zu vergleichen, selbst gestellte Forschungsfragen zu beantworten – all diese Möglichkeiten sind gegeben, wenn Making und Informatik zusammenkommen. Schüler:innen können sich hier kreativ ausleben, eigene Programme schreiben, auf Fehler und Probleme stossen, diese beheben und Daten oder Funktionsweisen technischer Geräte hinterfragen. Making kann den Weg von *Reproduktion* (nachbauen – Anforderungsbereich I) über *Reorganisation und Transfer* (weitere Sensoren hinzufügen – Anforderungsbereich II) zu *Reflexion und Problemlösung* (Analyse der Daten über längeren Zeitraum, Vernetzung mit anderen Geräten, Entwicklung ganz neuer Geräte – Anforderungsbereich III) begleiten und einen Rahmen dazu bilden (Gesellschaft für Informatik e.V. 2016). Kompetenzen verschiedener Inhalts- und Prozessbereiche lassen sich klar definieren: Mit Sensorwerten lassen

sich Informationen und Daten erarbeiten; der Bau eines Informatiksystems lässt die Grundlagen des Aufbaus verstehen (Gesellschaft für Informatik e.V. 2008). Bei gesellschaftlich relevanten Themen, wie es etwa die Pandemie war, lässt sich der Bereich *Informatik, Mensch und Gesellschaft* sehr konkret in den Blick nehmen, um die Möglichkeiten der weltverändernden Informatik hervorzuheben. Themen wie Klimaschutz, Nachhaltigkeit oder Smart Home sind ebenfalls breit gefächerte Bereiche, die für viele Schüler:innen Relevanz haben und Möglichkeiten für Making im Informatikunterricht bieten. Das Zeigen, Teilen und Kommunizieren, beispielsweise mit Informatikkursen an anderen Orten, bietet weitere Möglichkeiten, sich informatisch, aber auch gesellschaftlich weiter mit den Themen zu beschäftigen. Über das Bienenzählen hinaus können mit Vernetzung und Auswertung der Daten weitere Informationen über die Bienenpopulation gewonnen und reflektiert werden.

Für die Informatiklehrkraft bedeutet dies, dass sie diesen Prozess als Lernbegleitung anregen muss. *Design Thinking* hat sich als geeignete Methode im Making erwiesen, die in Form eines systematischen Innovationsansatzes hilft, neuartige Lösungen für Probleme unterschiedlicher Art zu entwickeln. Es beruht auf drei wesentlichen Elementen: einem strukturierten, ergebnisoffenen Prozess, dem kooperativ handelnden Team und einem die Kreativität fördernden Raum (Feldhausen, Weese, und Bean 2018). Ein klar strukturierter Prozess, dessen einzelne Schritte den Lernenden Orientierung geben, hilft, den Fokus vom Ergebnis weg und hin zu den einzelnen Schritten zu lenken. Design Thinking bietet ein Gerüst für den Wandel der Rolle der Lehrkraft von der Fachexpertin, die den Unterricht in erster Linie über direkte Instruktionen anleitet, zur Lernbegleiterin beim Einsatz stärker lernenden-zentrierter Elemente (Stilz, Ebner, und Schön 2020). Die Lernenden werden dabei unterstützt, ihren Lernprozess selbst zu steuern, der sichere Rahmen des in allen Schritten planbaren Lernpfads wird verlassen. Dieser Schritt ins Ungewisse birgt jedoch für die Lehrkraft die Herausforderung, keine planbaren Ergebnisse in Aussicht stellen zu können. Die Ergebnisoffenheit lässt Unsicherheit nicht nur zu, diese wird vielmehr selbstverständlicher Bestandteil des Lernens. Der Umgang mit Rückschlägen oder demotivierenden Erfahrungen muss dabei in jedem Schritt thematisiert und methodisch greifbar gemacht werden. Dazu ist es wichtig, den Prozess sichtbar zu machen, das eigene Vorgehen, Entwürfe und Überlegungen regelmässig zu dokumentieren, mit anderen zu teilen und zu diskutieren. Dabei können Blogs oder Tagebücher helfen und auch zur Reflexion anregen. Auf die Strategien, die im Prozess eingesetzt werden, können die Lernenden später auch in anderen Situationen zurückgreifen. Die Auseinandersetzung damit, was als Erfolg zu werten ist, muss dafür bewusst in den Lernprozess integriert werden, was für Lehrkräfte bisher unbekannt sein kann. Eine weitere Herausforderung für die Lehrkraft ist es, die Vorstellungen der Schüler:innen wieder einzuholen und in einen realistischen Rahmen zu bringen. Sie kann somit auch bei fachlichen Herausforderungen Lösungswege aufzeigen und

die Lernenden dabei unterstützen, sich weiterzuentwickeln. Dazu braucht es das konkrete Wissen über die Technologie und ihre Möglichkeiten sowie die Kenntnis des zeitlichen Rahmens des Projekts und der didaktischen Mittel. Raum und Vorstellungen zu öffnen, ist wichtiger Teil des Makings, aus dem dann die konkreten Optionen geschaffen werden. Informatikunterricht kann diesen Raum schaffen und das Umfeld entsprechend so gestalten, dass es dieses Lernen, Denken, Kommunizieren und Tun erlaubt und fördert.

## 6. Fazit

Making mit all seinen Facetten – das Entwickeln von Produkten, denen eine virtuelle und eine physische Ebene innewohnt – in einem Prozess, der von Freiräumen, Neugier, intrinsischer Motivation sowie einer positiven Fehlerkultur geprägt ist, beschreibt jenes konstruktionistische Lernen, wie es Informatikunterricht aussehen kann. Wie in bisherigen Maker-Bildungsansätzen zu beobachten ist, braucht es dazu neben methodischer Kompetenz auch fundierte Informatikkenntnisse z. B. über den Aufbau von Informatiksystemen, den Umgang mit Bibliotheken, aber auch den Umgang mit den Produktionsmaschinen, die nicht selten über mehrere Personen verteilt sind. Die Informatiklehrkraft vereint diese Kompetenzen und ist in der Lage, ein solches kreatives Umfeld im Informatikunterricht zu schaffen, in dem der Fokus auf dem Schaffensprozess liegt, aber auch das Produkt relevant ist. Dabei müssen keine weltneuen Produkte entstehen. Hier ist es das kleine «c», das für den Lernprozess und vor allem für die Lernenden von Bedeutung ist. Auf diese Weise kann Informatik als *Wissenschaft zum Dinge erschaffen und Probleme lösen* wahrgenommen werden. Im Sinne der Bildung muss dazu bei den Themen angesetzt werden, die junge Menschen in ihrem Alltag als relevant empfinden, und bei Problemen, die sie lösen wollen. Unter einem weit gefassten Oberthema lassen sich vielfältige Projekte umsetzen – die «wide walls» sind gegeben. Den «low floor» zu Digital Fabrication im Informatikunterricht gibt es bereits – die «high ceiling» bietet noch viel Potenzial. Diesen Prozess zu begleiten, ihn anzuleiten und zuzulassen, erfordert jedoch auch von der Lehrkraft neben informatischer und didaktischer Kompetenz vor allem Offenheit, Kreativität und ebenso den Mut zum Scheitern. Allein die Idee eines Käsekopters bringt kein neues Fluggerät, aber das mutige Ausprobieren, neue und vielleicht ungewöhnliche Ideen in die Tat umzusetzen, und auch das Risiko zu scheitern bringen uns an einen Punkt, an dem etwas gelingen und etwas Neues entstehen kann. Gross-tante Rose würde es so formulieren:

«Dein erster Flop war ein Riesenerfolg, so mach dich bereit,  
auf, los, zu neuen Taten. Verlieren wir keine Zeit!»

## Literatur

- Baacke, Dieter. 1996. «Medienkompetenz – Begrifflichkeit und sozialer Wandel». In *Medienkompetenz als Schlüsselbegriff*, herausgegeben von Antje von Rein, 112–24. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Beaty, Andrea. 2014. *Wie Rosie den Käsekopter erfand*. München: Knesebeck.
- Blikstein, Paulo. 2013a. «Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention». In *FabLab – Of Machines, Makers and Inventors*, herausgegeben von Julia Walter-Herrmann und Corinne Büching, 203–22. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.1515/transcript.9783839423820.203>.
- Blikstein, Paulo. 2013b. «Gears of Our Childhood: Constructionist Toolkits, Robotics, and Physical Computing, Past and Future». In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children*, 173–82. IDC '13. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2485760.2485786>.
- Bockermann, I., J. Borchers, A. Brocker, M. Lahaye, A. Moebus, S. Neudecker, O. Stickel, M. Stilz, D. Wilkens, und R. Bohne. 2021. *Handbuch Fab Labs: Einrichtung, Finanzierung, Betrieb, Forschung und Lehre*. Bonn: Bombini.
- Brinda, Torsten, Niels Brügger, Ira Diethelm, Thomas Knaus, Sven Kommer, Christine Kopf, Petra Missomelius, Rainer Leschke, Friederike Tilemann, und Andreas Weich. 2019a. *Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt*. Gesellschaft für Informatik. <https://doi.org/10.18420/infos2019-a1>.
- Brinda, Torsten, Ira Diethelm, Rainer Gemulla, Ralf Romeike, Johannes Schöning, und Carsten Schulte. 2016. «Dagstuhl-Erklärung: Bildung in der digitalen vernetzten Welt», herausgegeben von *Gesellschaft für Informatik e.V.* [https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung\\_2016-03-23.pdf](https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung_2016-03-23.pdf).
- Bruns, Axel. 2007. «Producers: Towards a Broader Framework for User-Led Content Creation». In *Transforming Audiences 2009*. Washington, DC, USA.
- Csikszentmihalyi, Mihaly. 2014. «Flow and the foundations of positive psychology». Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8>
- Csikszentmihalyi, Mihaly, und Jeanne Nakamura. 2014. «Creativity Through the Life Span from an Evolutionary Systems Perspective». In *The Systems Model of Creativity: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*, Mihaly Csikszentmihalyi, 239–55. Dordrecht: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9085-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9085-7_15).
- Dittert, Nadine. 2014. «TechSportiv: constructing objects-to-think-with for physical education». In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, 569–77. NordiCHI '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2639189.2639202>.
- Dittert, Nadine. 2015. *TechSportiv. Technologiekonstruktion: Ein «Gegenstand-mit-dem-mandant» für menschliche Bewegung*. Dissertation. Bremen: Universität Bremen. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:46-00104200-18>.

- Dittert, Nadine. 2018. «Diversity in Digital Fabrication: Programming Personally Meaningful Textile Imprints». In *Proceedings of the Conference on Creativity and Making in Education*, 112–13. FabLearn Europe'18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3213818.3219812>.
- Dittert, Nadine, und Eva-Sophie Katterfeldt. 2017. «Das EduFab-Kit-Ein modularer FabLab-Baukasten für Lehrer\*innen». *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. Lecture Notes in Informatics (LNI) – Proceedings, Volume P-274*, 291-300. <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/4327>.
- Dittert, Nadine, Eva-Sophie Katterfeldt, und Milena Reichel. 2012. «TechKreativ: Tangible Interfaces in Lernwelten». In *Be-greifbare Interaktionen – Der allgegenwärtige Computer: Touchscreens, Wearables, Tangibles und Ubiquitous Computing*, herausgegeben von Bernd Robben und Heidi Schelhowe, 293–304. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.1515/transcript.9783839420058>.
- Dittert, Nadine, Eva-Sophie Katterfeldt, und Sabrina Wilske. 2014. «Programming Jewelry: Revealing Models behind Digital Fabrication». In *Proceedings of FabLearn 2014*, 4. Aarhus, Denmark. [http://fablearn.eu/2014/wp-content/uploads/sites/2/2018/10/fablearn14\\_submission\\_82.pdf](http://fablearn.eu/2014/wp-content/uploads/sites/2/2018/10/fablearn14_submission_82.pdf).
- Dittert, Nadine, Kamila Wajda, und Heidi Schelhowe. 2016. *Kreative Zugänge zur Informatik: Praxis und Evaluation von Technologie-Workshops für junge Menschen*. Bremen. <http://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00105551-1.pdf>.
- Fandrich, Anatolij, Nils Pancratz, und Ira Diethelm. 2022. «Soft Skills and Technical Competence: Interdisciplinary Qualification of First-Year Computer Science Students». In *Proceedings of the 27th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education Vol. 2*, 637–37. Dublin Ireland: ACM. <https://doi.org/10.1145/3502717.3532146>.
- Feldhausen, Russell, Joshua Levi Weese, und Nathan H. Bean. 2018. «Increasing Student Self-Efficacy in Computational Thinking via STEM Outreach Programs». In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 302–7. SIGCSE '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3159450.3159593>.
- Gershenfeld, Neil. 2008. *Fab: the coming revolution on your desktop – from personal computers to personal fabrication*. New York: Basic Books.
- Gershenfeld, Neil. 2012. «How to make almost anything: The digital fabrication revolution». *Foreign Aff.* 91: 43. <https://www.jstor.org/stable/41720933>.
- Gesellschaft für Informatik e.V. 2006. *Was ist Informatik? Positionspapier der Gesellschaft für Informatik e.V.* <https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/was-ist-informatik-lang.pdf>.
- Gesellschaft für Informatik e.V., Hrsg. 2008. «Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule-Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I». Gesellschaft für Informatik e.V. <https://dl.gi.de/items/8be548f4-643c-4893-bf5f-ea130b607322>

- Gesellschaft für Informatik e.V., Hrsg. 2016. «Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe II (Januar 2016)». Gesellschaft für Informatik e.V. <https://dl.gi.de/items/847078d0-36fc-4a5f-a40e-8790de705f2c>.
- Hatch, Mark. 2013. *The maker movement manifesto – rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. New York: McGraw-Hill.
- Himpsl-Gutermann, Klaus, Wolfgang B. Ruge, Christina Adorjan, Lotte Krisper-Ullyett, Sonja Macher, Elisabeth Lehner, Hermann Morgenbesser, et al. 2020. «Medienbildung, Making und Schulentwicklung: Theoretische Überlegungen und Erfahrungen zur Implementierung von Maker Labs an Schulen am Beispiel des EduMakerSpace Favoriten». *Medienimpulse* 58 (4): 49 Seiten. <https://doi.org/10.21243/mi-04-20-26>.
- Horn, Michael, und Heidi Schelhowe. 2019. «2018 Edith Ackermann Award: Bildungsmedien: where TechKreativ meets Footwork». In *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children*, 11–14. IDC '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3311927.3331885>.
- Humboldt, Wilhelm von, und A. Flitner. 1993. *Schriften zur Politik und zum Bildungswesen*. Humboldt, Wilhelm von: Werke in fünf Bänden. Cotta.
- Kafai, Yasmin B., Eunkyong Lee, Kristin Searle, Deborah Fields, Eliot Kaplan, und Debora Lui. 2014. «A Crafts-Oriented Approach to Computing in High School: Introducing Computational Concepts, Practices, and Perspectives with Electronic Textiles». *ACM Transactions on Computing Education* 14 (1): 1–20. <https://doi.org/10.1145/2576874>.
- Katterfeldt, Eva-Sophie. 2015. *Making Models: vom Selbermachen stofflich-digitaler Artefakte als Modellbildung*. Dissertation. Bremen: Universität Bremen. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:46-00104375-16>.
- Katterfeldt, Eva-Sophie, Nadine Dittert, Sobin Ghose, Arne Bernin, und Mareike Daeglau. 2019. «Effects of Physical Computing Workshops on Girls' Attitudes towards Computer Science». In *Proceedings of the FabLearn Europe 2019 Conference*, 1–3. FabLearn Europe '19. Oulu, Finland: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3335055.3335066>.
- Katterfeldt, Eva-Sophie, Nadine Dittert, und Heidi Schelhowe. 2015. «Designing Digital Fabrication Learning Environments for Bildung: Implications from Ten Years of Physical Computing Workshops». *International Journal of Child-Computer Interaction* 5 (September): 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2015.08.001>.
- Maurer, Björn, und Selina Ingold. 2021. *Making im Schulalltag. Konzeptionelle Grundlagen und Entwicklungsschritte*. München: kopaed.
- mpfs – Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. 2023. «JIM-Studie». <https://www.mpfs.de/studien/jim-studie/2023/>.
- Pancratz, Nils, Anatolij Fandrich, Christos Chytas, Mareike Daeglau, und Ira Diethelm. 2019. «Blöcke, Blumen, Mikrocontroller und das Internet of Things: Ein Konzept zum kontextorientierten Einsatz von Parametric Design und Physical Computing in Mädchen-Förderworkshops». *Informatik für alle*. <https://doi.org/10.18420/INFOS2019-C15>.

- Papert, Seymour. 1980. *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Piaget, Jean. 2003. *Meine Theorie der geistigen Entwicklung*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Przybylla, Mareen, und Stefan W. Huber. 2021. «Entwicklung von CO2-Messgeräten im Informatikunterricht». *NFOS 2021–19. GI-Fachtagung Informatik und Schule*. [https://doi.org/10.18420/infos2021\\_w240](https://doi.org/10.18420/infos2021_w240).
- Przybylla, Mareen, und Ralf Romeike. 2014. «Physical Computing and Its Scope--Towards a Constructionist Computer Science Curriculum with Physical Computing». *Informatics in Education* 13 (2): 241–54. <https://doi.org/10.15388/infedu.2014.05>.
- Przybylla, Mareen, und Ralf Romeike. 2018. «Impact of Physical Computing on Learner Motivation». In *Proceedings of the 18th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, 1–10. Koli Finland: ACM. <https://doi.org/10.1145/3279720.3279730>.
- Resnick, Mitchel, und Ken Robinson. 2017. «Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity Through Projects, Passion, Peers, and Play». *MIT Press*.
- Resnick, Mitchel, und Brian Silverman. 2005. «Some Reflections on Designing Construction Kits for Kids». In *IDC '05: Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children*, 117–22. New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1109540.1109556>.
- Rhodes, Mel. 1961. «An Analysis of Creativity». *The Phi Delta Kappan* 42 (7): 305–10. <http://www.jstor.org/stable/20342603>.
- Schelhowe, Heidi. 2007. *Technologie, Imagination und Lernen: Grundlagen für Bildungsprozesse mit Digitalen Medien*. Münster [u. a.]: Waxmann.
- Schelhowe, Heidi. 2012. «Interaktionsdesign für reflexive Erfahrung: digitale Medien für Bildung». In: *Be-greifbare Interaktionen – Der allgegenwärtige Computer: Touchscreens, Wearables, Tangibles und Ubiquitous Computing*, herausgegeben von Bernd Robben und Heidi Schelhowe. 253–72. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.1515/transcript.9783839420058>.
- Schelhowe, Heidi, Eva Sophie Katterfeldt, Nadine Dittert, und Milena Reichel. 2013. «Edu-Wear: e-textiles in youth sports and theatre». In *Textile Messages: Dispatches from the World of E-textiles and Education*, herausgegeben von Leah Buechley, Kylie A. Peppler, Michael Eisenberg, und Yasmin B. Kafai. New York: Peter Lang.
- Schmalefeldt, Thomas und Maurer, Björn. 2021. «Kreativität in der informatischen Bildung. Bestandsaufnahme und Entwicklungsperspektiven». *merz | medien + erziehung* 65 (5): 10–23. <https://doi.org/10.21240/merz/2021.5.2>.
- Schön, Sandra, Martin Ebner, und Kristin Narr, Hrsg. 2016. *Making-Aktivitäten mit Kindern und Jugendlichen: Handbuch zum kreativen digitalen Gestalten*. 2. Auflage. Norderstedt: Books on Demand.
- Stelzer, Roland, und Peter Pollak. 2016. «Fab Lab @ School: Digitale Fertigungstechnologien im Unterricht». *Medienimpulse* 54 (1). <https://doi.org/10.21243/mi-01-16-10>.

- Stilz, Melanie, Martin Ebner, und Sandra Schön. 2020. «Maker Education. Grundlagen der werkstatorientierten digitalen Bildung in der Schule und Entwicklungen zur Professionalisierung der Lehrkräfte». In *Digital?! Perspektiven der Digitalisierung für den Lehrberuf und die Lehrerbildung*, herausgegeben von Martin Rothland und Simone Herrlinger, 143-159. Beiträge zur Lehrerbildung und Bildungsforschung. Münster: Waxmann. [https://www.researchgate.net/publication/343111382\\_Maker\\_Education\\_Grundlagen\\_der\\_werkstatorientierten\\_digitalen\\_Bildung\\_in\\_der\\_Schule\\_und\\_Entwicklungen\\_zur\\_Professionalisierung\\_der\\_Lehrkrafte](https://www.researchgate.net/publication/343111382_Maker_Education_Grundlagen_der_werkstatorientierten_digitalen_Bildung_in_der_Schule_und_Entwicklungen_zur_Professionalisierung_der_Lehrkrafte).
- Stilz, Melanie, und Juliane Springsguth. 2021. «Bildung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit zum Potential der Arbeitslehre für die allgemeine Lehrkräftebildung». *Journal of Technical Education – JOTED* 9 (2): 209–28. <https://doi.org/10.48513/joted.v9i2.238>.
- Toffler, Alvin. 1983. *Die dritte Welle-Zukunftschance: Perspektiven für die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts*. München: Goldmann.
- Vygotsky, Lev Semenovich, und Michael Cole. 1978. *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Webb, David C., Alexander Repenning, und Kyu Han Koh. 2012. «Toward an Emergent Theory of Broadening Participation in Computer Science Education». In *Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 173–78. Raleigh North Carolina USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2157136.2157191>.