

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

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

Digital Fabrication als Brücke zwischen Making und Informatik

David Baberowski¹ , Thiemo Leonhardt¹  und Nadine Bergner² 

¹ Technische Universität Dresden

² RWTH Aachen

Zusammenfassung

Digital Fabrication (DF) bezeichnet das Planen, Konstruieren und Herstellen von Gegenständen mithilfe von Software und computergesteuerten Werkzeugen. DF ist eng mit Making und Maker Education verbunden und bietet gleichzeitig viele inhaltliche Anknüpfungsmöglichkeiten für den Medien- und Informatikunterricht. Der Beitrag argumentiert für DF als Verbindungsstück zwischen Maker Education und Informatikunterricht, indem ein DF-Prozess, bestehend aus den drei Schritten Konstruktion, Transformation und Interpretation, eingeführt wird. Dieser Prozess wird sowohl aus der Anwender- als auch aus der fachinformatischen Perspektive betrachtet. Die herausgearbeiteten Anknüpfungspunkte werden anschliessend mit existierenden Kompetenzmodellen der Informatik verglichen. Das Resultat ist, dass mit der Anwendung von DF im Informatikunterricht eine breite Abdeckung der Kompetenzbereiche (ausgehend von den Bildungsstandards der GI) erreicht werden kann. Neben dieser wichtigen Voraussetzung ist für eine feste Integration von Making und DF in den Informatikunterricht vor allem die Fortbildung von Lehrkräften diesbezüglich von grosser Bedeutung, weshalb ein Seminarkonzept für Lehramtsstudierende erarbeitet wurde. Die ersten Learnings der Pilotierung zeigen, dass eine Integration von DF in den Informatikunterricht gelingen kann und zeigen offene Forschungsfragen auf. Insbesondere ist für eine nachhaltige und umfassende Verankerung von Making im Schulunterricht neben der inhaltlichen Passung auch die Integration von Projektmethoden und Schülerzentrierung in den Informatikunterricht notwendig.

Digital Fabrication: A Bridge between Making and Informatics

Abstract

Digital fabrication (DF) refers to the planning, design, and manufacturing of objects with the help of software and computer-controlled tools. DF is closely related to Making and Maker Education and at the same time offers many possibilities for media and computer

science education. The paper argues for DF as a connector between maker education and computer science education by introducing a DF process consisting of the three steps of construction, transformation, and interpretation. This process is considered from both user and subject informatics perspectives. The identified connecting points are then compared with existing competency models in computer science. The result is that a broad coverage of the competence areas (based on the educational standards of the GI) can be achieved with the application of DF in computer science education. In addition to this important prerequisite, the training of teachers is of great importance for a firm integration of Making and DF in computer science lessons, which is why a seminar concept for student teachers was developed. The first learnings of the pilot show that an integration of DF into computer science teaching can succeed and point out open research questions. In particular, for a sustainable and comprehensive anchoring of Making in school lessons, the integration of project methods and student-centeredness in computer science lessons is necessary in addition to the content-related fit.

1. Digital Fabrication und Medienpädagogik

In diesem Beitrag wird Digital Fabrication (DF) als Vertreterin von Making und Maker Education im Kontext von Schule, insbesondere Medienpädagogik und Informatik, objektiv betrachtet. Es wird die Überzeugung der Autor:innen dargelegt, dass DF den Informatikunterricht auf vielfältige Weise, sowohl methodisch als auch inhaltlich, bereichern kann. Zur Einordnung von DF wird zunächst die Perspektive der Medienpädagogik herangezogen.

DF beschreibt den Prozess des Entwerfens, Konstruierens und Herstellens physischer Produkte mithilfe computergesteuerter Werkzeuge wie 3D-Drucker und Laser-Cutter (vgl. Torgersson 2014). Mit dieser prozessorientierten Definition lassen sich sowohl Anwendungen dieser Fertigungsverfahren in der Industrie als auch im Hobby- und Bildungsbereich zum Themenkomplex DF zusammenfassen. Damit gewinnt das Thema DF sowohl für den Einzelnen als auch für die Gesellschaft zunehmend an Bedeutung, da es die bedarfsgerechte Herstellung individualisierter und spezialisierter Objekte (auch im privaten Bereich) ermöglicht. DF kann somit ein vielseitiges Werkzeug sein, für dessen Nutzung jedoch digitalisierungsbezogene Kompetenzen erforderlich sind. Neben dem 3D-Druck, der am weitesten verbreiteten Anwendung von DF, gibt es weitere Produktionswerkzeuge wie Laser-Cutter oder computergesteuerte Fräsmaschinen. All diese Anwendungen basieren auf CNC-Systemen, was für *computerized numerical control* steht. Diese sind in der Lage, verschiedene Werkzeuge gezielt entlang ihrer Achsen zu bewegen. Beispiele für CNC-Systeme mit zwei Achsen sind Laser-Cutter oder Plotter, 3D-Drucker arbeiten entsprechend mit drei Achsen, ebenso wie viele Metallfräsmaschinen. Es gibt auch Systeme mit weiteren

Achsen, um das Werkzeug neben der Translation zu einer Koordinate auch durch Neigung auszurichten. Diese sind jedoch im Schul- und Hobbybereich bisher nicht vertreten und stehen daher nicht im Fokus dieses Beitrages.

Betrachten wir diese Fertigungsmethoden unter informatikdidaktischer Perspektive, so folgen alle einem gemeinsamen generalisierbaren Prozess. In diesem lassen sich zahlreiche Anknüpfungspunkte zu medienpädagogischen und informatischen Konzepten und Prozessen finden. In diesem Beitrag wird der DF-Prozess als mögliche Anwendung für den Informatikunterricht (mit Bezügen zur Medienbildung) diskutiert. Im Kern können Kompetenzen aus bestehenden Kompetenzmodellen und Lehrplänen im Bereich Medien und Informatik durch DF vertieft werden. Ebenso können die eingesetzten Werkzeuge wie 3D-Drucker und Laser-Cutter selbst als Lernobjekte betrachtet werden. Durch die Vielzahl möglicher Anknüpfungspunkte bietet DF, insbesondere in Verbindung mit dem Einsatz in Projekten, das Potenzial, verschiedene Inhalte der Informatik besser miteinander zu verzahnen.

Aus der Vielzahl medienpädagogischer Ansätze lassen sich für den Kontext der DF zwei als besonders geeignet herausstellen: aufklärende Ansätze und handlungsorientierte, partizipative Ansätze. Bei den aufklärenden Ansätzen geht es nach Süß et al. vor allem darum, den Lernenden die Funktionsweise der Medien zu vermitteln, um Medienwirkungen in positive Bahnen zu lenken. Dadurch soll die Autonomie der Lernenden erhöht und eine kritische Auseinandersetzung ermöglicht werden. Hier können durch den digitalen Herstellungsprozess in DF die verwendeten Werkzeuge (Software wie Hardware) analysiert und beispielsweise im Kontext von Urheberrechtsverletzungen diskutiert werden (Süß, Lampert, und Trültzsch-Wijnen 2018). Der handlungsorientierte, partizipative Ansatz stellt die eigenständige Gestaltung und Verbreitung von Medien in den Mittelpunkt (ebd.) Die Lernenden werden zu aktiven Produzenten. Dabei werden die Möglichkeiten und Grenzen der Medien bewusst. Die Herstellung von digitalen Modellen und im weiteren Verlauf des DF-Prozesses von physischen Produkten bietet hier viele Anknüpfungspunkte. So können digitale Modelle ausgetauscht und verbreitet werden, Lizenz- und Urheberrechtsfragen frühzeitig aktiv behandelt und die Herstellung eigener realer Produkte diskutiert werden.

2. Die Brücke zwischen Making und Informatik

Making und DF werden teilweise synonym verwendet, da beide aus der gleichen Community stammen und sich auf dieselben pädagogischen Grundprinzipien beziehen (Blikstein et al. 2021). In diesem Beitrag wird Making jedoch als Oberbegriff verstanden, der neben DF auch manuelle Fertigungsmethoden einschließt. Sowohl DF als auch Making legen grossen Wert auf Problemlöseprozesse, Projektorientierung und den kreativen Umgang mit Technik. Diese Ansätze sind in der Regel in

ausserschulischen Lernangeboten wie Fab Labs und Maker Spaces häufiger anzutreffen als im Schulunterricht (Blikstein et al. 2021). Durch eine bessere Verbindung von DF mit dem Informatikunterricht können nicht nur interessante inhaltliche Aspekte, sondern auch methodische und pädagogische Vorteile erzielt werden.

Um die Verbindung zwischen Making und Informatik genauer zu betrachten, soll zunächst der Begriff des Makings erklärt und sollen alternative Ansätze wie Physical Computing (PC) eingeordnet werden. Beide Ansätze sind eng mit Konzepten wie Design Thinking und Maker Education verbunden, welche von Veldhuis et al. (2021) gegenübergestellt wurden. Design Thinking setzt projektbasiertes Lernen als Methode in den Fokus, welche darauf zielt, ein noch unbekanntes Produkt zu erschaffen. Eine bedeutende Eigenschaft dabei ist der Bezug zwischen dem Produkt und der Lebenswelt der Schüler:innen (Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015; Razzouk und Shute 2012). Maker Education basiert ebenfalls auf der Methode des projektbasierten Lernens und konzentriert sich auf das Designen, Bauen, Modifizieren und Wiederverwenden von Materialien und Objekten. Dies impliziert die Herstellung eines Produkts, mit dem interagiert oder welches demonstriert werden kann (Blikstein 2013; Martin 2015). Als aktuelle Handlungsbedarfe im Bereich der Maker Education strebt die Field Building Collaborative (FBC) unter anderem eine verbesserte Vernetzung mit lokalen Bildungseinrichtungen und eine Diversifizierung der Community an (Blikstein et al. 2021). Die Ziele einer Weiterentwicklung der Maker Education in Europa, insbesondere in Deutschland, Österreich und der Schweiz, sind auch für die FBC interessant, obwohl sie sich in ihrem Programm vorrangig auf die USA fokussiert. Mit der Integration von DF in den Schulunterricht lassen sich diese Ziele verfolgen.

PC ist ein bewährter Ansatz zur Verknüpfung von Making und Informatik, der sich vor allem auf das Zusammenspiel von Sensoren, Aktoren und Mikrocontrollern konzentriert (Fields et al. 2017; Gendreau Chakarov et al. 2019; Merrill und Swanson 2019; Sentance et al. 2017; Wagh, Gravel, und Tucker-Raymond 2017). Ziel von PC ist die Erstellung interaktiver Objekte, die durch die Programmierung von Mikrocontrollern erreicht wird. Dadurch entsteht eine starke Verknüpfung zur Informatik mit dem Fokus auf Programmierung. Der Beitrag soll zeigen, dass DF im Gegensatz dazu ein breiteres Spektrum an informatischen Kompetenzen nutzt und somit vielfältige Anknüpfungsmöglichkeiten für den Fachunterricht bietet.

In ausserschulischen Lernorten wie Maker Spaces und Fab Labs (Anton und Wilensky 2019; Katterfeldt, Dittert, und Schelhowe 2015; Ryoo, Kali, und Bevan 2016; Spieler, Grandl, und Krnjic 2020) richtet sich der Fokus vermehrt auf die Entwicklung von 21st Century Skills. Der Schwerpunkt liegt hier stärker auf Kollaboration und Kommunikation (Adler-Beléndez et al. 2020) als auf konkreten fachspezifischen Lernzielen. Diese Ansätze sollen stärker in den Unterricht integriert werden, vorausgesetzt es besteht eine inhaltliche Anknüpfungsfähigkeit in den verschiedenen

Fächern. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Umsetzung im Bereich Informatikunterricht anhand eines generalisierten DF-Prozesses, bestehend aus den drei zentralen Schritten Konstruktion, Transformation und Interpretation im Herstellungsprozess. Diese Schritte bilden die Grundlage für die darauffolgende Analyse der Informatikkompetenzen, die in diesem Prozess benötigt werden und damit eine wichtige Voraussetzung, um Making und DF in die Lehrkräftebildung zu integrieren und den vermehrten Einsatz von DF in Schulen, vor allem im Bereich von Medien- und Informatikunterricht zu ermöglichen.

In den verschiedenen Bildungssystemen existieren Unterschiede, insbesondere im Bereich des Informatikunterrichts, die Auswirkungen auf die Integration von Making haben. Der Informatikunterricht ist in der deutschsprachigen Bildungslandschaft stark fragmentiert. In der Schweiz beispielsweise wird das Fach Medien und Informatik nach dem Lehrplan 21 («Lehrplan 21 – Medien und Informatik» 2016) unterrichtet. In Deutschland richten sich die Lehrpläne für das Fach Informatik nach den Bildungsstandards der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (Gesellschaft für Informatik e. V. 2008; Gesellschaft für Informatik e. V. 2016; Best et al. 2019). Des Weiteren bieten die zahlreichen Möglichkeiten, die DF dem Informatikunterricht bietet, eine Chance, dieser Fragmentierung zu begegnen.

3. Bezug zur Informatikdidaktik

DF als Lerninhalt in den Informatikunterricht zu integrieren, ist ein möglicher Schritt um Making als festen Bestandteil der schulischen Bildung zu etablieren. Dies erfordert, einen vergleichenden Blick auf Anforderungen und Kompetenzen des Informatikunterrichts zu werfen. Ein wesentlicher Begriff der Informatikdidaktik ist beispielsweise Computational Thinking (CT). CT ist nicht nur in den Vereinigten Staaten ein häufig vorkommender und gleichzeitig viel diskutierter Ansatz zur Definition von digitaler Problemlösekompetenz (Feldhausen, Weese, und Bean 2018; Rich und Langton 2016). Gleichzeitig konzentriert sich die Forschung in der Informatikdidaktik auf die grossen Ideen oder grossen Prinzipien der Informatik. Weese und Feldhausen (2017) erstellten eine Liste von CT-Konzepten, die algorithmisches Denken, Abstraktion, Problemzerlegung, Daten, Parallelisierung, Kontrollfluss, Inkrementation und Iteration sowie Testing und Debugging umfasst. Basierend auf den sechs *Principles of Computing* von (Denning 2011) entwickelten (Bell, Tymann, und Yehudai 2018) die zehn *Big Ideas of Computer Science*:

1. Information wird in digitaler Form repräsentiert
2. Algorithmen interagieren mit Daten, um Probleme zu lösen
3. Die Performanz von Algorithmen kann modelliert und evaluiert werden
4. Manche Probleme können nicht von Algorithmen gelöst werden

5. Programme drücken Algorithmen und Daten in einer Form aus, die in einem Computer implementiert werden kann
6. Digitale Systeme werden von Menschen entwickelt, um menschliche Bedürfnisse zu erfüllen
7. Digitale Systeme erstellen virtuelle Repräsentationen von natürlichen und künstlichen Phänomenen
8. Daten und Systemressourcen zu schützen ist eine zentrale Aufgabe in digitalen Systemen
9. Zeitabhängige Operationen in digitalen Systemen müssten koordiniert werden
10. Digitale Systeme kommunizieren miteinander über Protokolle.

Um diese Ideen zu entwickeln, wurden Schwills fundamentale Ideen der Informatik (Schwill 1997) berücksichtigt. Darin beschreibt Andreas Schwill eine pädagogische Theorie, die auf Bruners Vorarbeiten in der Mathematikdidaktik aufbaut und die informatische Bildung für Schüler:innen und Lehrkräfte auf ein stabiles Fundament setzen soll. Hierzu wird die Dauerhaftigkeit der fundamentalen Ideen betont. Diese vorangegangenen Arbeiten bilden die Grundlage für die Entwicklung von Informatiklehrplänen auf internationaler Ebene. Im Jahr 2017 veröffentlichte die CS Teachers Association (CSTA) curriculare K-12 Standards (Computer Science Teachers Association 2017). Das im Jahr 2013 gegründete Committee on European Computing Education (CECE) hat das Ziel, die informatische Bildung in Europa einheitlich zu gestalten (The Committee on European Computing Education (CECE) 2017; Informatics for All coalition 2020; Caspersen et al. 2018). Derzeit gibt es jedoch noch kein europäisches Curriculum zur Umsetzung des Ziels.

Die Gesellschaft für Informatik hat in Deutschland Empfehlungen zu Prinzipien und Standards für die Informatische Bildung veröffentlicht (Gesellschaft für Informatik e. V. 2008; Gesellschaft für Informatik e. V. 2016; Best et al. 2019), mit dem Ziel, eine umfassende und technisch fundierte informatische Bildung in Schulen zu fördern. Diese Arbeiten basieren stark auf den fundamentalen Ideen der Informatik von Schwill (1997). Alle Varianten dieser Prinzipien und Standards folgen einem einheitlichen Aufbau, welcher fünf Kompetenzbereiche definiert (Tabelle 1).

Der gemeinsame theoretische Hintergrund der genannten Kompetenzrahmen für den Informatikunterricht ermöglicht, die Ergebnisse der Analyse von DF auf andere Modelle zu übertragen, indem die deutschen Bildungsstandards als Referenz herangezogen werden.

Soll Maker Education mit dem Informatikunterricht verknüpft werden, so treffen offene und erfahrungsgeleitete Lernprozesse auf ein Curriculum mit klaren Lernzielen und zeitlichen Vorgaben. Kritiker könnten argumentieren, dass Maker Education nicht geeignet ist, um ein bereits definiertes Lernziel innerhalb eines festen Zeitraums zu erreichen, da Umwege, eigenes Experimentieren und Iterieren durch

die Lernenden nicht vorhersehbar sind, aber wichtige Bestandteile der Maker Education darstellen. Eine rein fakultative, ausserschulische Verlagerung kann jedoch nicht alle Schüler:innen erreichen, und widerspricht damit den Zielen der FBC (Diversifikation), möglichst vielen Kindern und Jugendlichen eine Berührung mit Making zu ermöglichen. Eine Möglichkeit hierfür besteht in der Integration von DF in den Schulunterricht.

Inhaltsbereich	Beispielhafte Kompetenzen
Information und Daten	Schüler:innen aller Jahrgangsstufen <ul style="list-style-type: none"> • verstehen den Zusammenhang von Information und Daten sowie verschiedene Darstellungsformen für Daten, • verstehen Operationen auf Daten und interpretieren diese in Bezug auf die dargestellte Information, • führen Operationen auf Daten sachgerecht durch.
Informatiksysteme	Schüler:innen aller Jahrgangsstufen <ul style="list-style-type: none"> • verstehen die Grundlagen des Aufbaus von Informatiksystemen und deren Funktionsweise, • wenden Informatiksysteme zielgerichtet an, • erschliessen sich weitere Informatiksysteme.
Algorithmen	Schüler:innen aller Jahrgangsstufen <ul style="list-style-type: none"> • kennen Algorithmen zum Lösen von Aufgaben und Problemen aus verschiedenen Anwendungsgebieten und lesen und interpretieren gegebene Algorithmen, • entwerfen und realisieren Algorithmen mit den algorithmischen Grundbausteinen und stellen diese geeignet dar.
Sprache und Automaten	Schüler:innen aller Jahrgangsstufen <ul style="list-style-type: none"> • nutzen formale Sprachen zur Interaktion mit Informatiksystemen und zum Problemlösen, • analysieren und modellieren Automaten.
Informatik, Mensch und Gesellschaft	Schüler:innen aller Jahrgangsstufen <ul style="list-style-type: none"> • benennen Wechselwirkungen zwischen Informatiksystemen und ihrer gesellschaftlichen Einbettung, • nehmen Entscheidungsfreiheiten im Umgang mit Informatiksystemen wahr und handeln in Übereinstimmung mit gesellschaftlichen Normen, • reagieren angemessen auf Risiken bei der Nutzung von Informatiksystemen.

Tab. 1: Inhaltsbereiche und deren Kurzbeschreibung aus (Gesellschaft für Informatik e. V. 2008).

4. Der generalisierte Prozess der Digital Fabrication

Der Prozess der DF verfolgt das Ziel, mit der Hilfe von Software und computergesteuerten Werkzeugen ein physisches Produkt herzustellen (Torgersson 2014). Der DF-Prozess ist geeignet für CNC-Systeme (computerized numerical control) wie

beispielsweise 3D-Drucker, Laser-Cutter und Fräsen. In diesem Prozess (s. Abbildung 1) können vier Zustände identifiziert werden, die durch drei Schritte miteinander verbunden sind (Baberowski, Leonhardt, und Bergner 2023). Die Zustände des Prozesses bestehen aus wohldefinierten Anforderungen (Idee und Produkt), standardisierten Formaten (Modell) und Schnittstellen (Anweisungen). Somit ist jeder Schritt unabhängig von den anderen und erlaubt eine jeweils eigene Wahl von Werkzeugen und Methoden. Diese Darstellung des Prozesses veranschaulicht die Struktur aus einer informatischen Perspektive und spiegelt nicht den tatsächlichen Arbeitsablauf wider, da dieser nicht linear verläuft und stattdessen Iterieren, Ausprobieren und Reflektieren kontinuierlich im Kontext Making und DF zum Einsatz kommt.

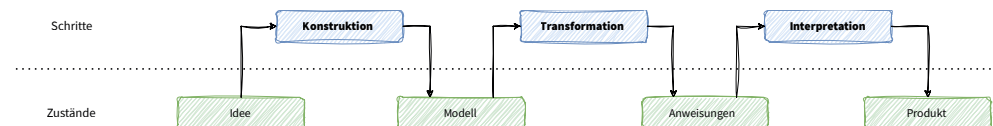


Abb. 1: Schritte und Zustände des DF-Prozess aus der Perspektive der Informatik, von DDI – TU Dresden unter CC BY 4.0-Lizenz.

Am Beginn des DF-Prozesses steht die Idee eines zu erstellenden Produkts. Diese muss noch nicht sämtliche finalen Details des Endproduktes beinhalten, sollte jedoch die wichtigsten Anforderungen definieren, bevor mit der Konstruktion begonnen wird. Diese Anforderungen können Aspekte wie Material, Geometrie, spezifische Masse oder das Aussehen des finalen Produkts betreffen.

Schritt 1 – Konstruktion: In diesem Schritt wird mithilfe von CAD-Software (computer aided design) eine digitale Modellierung eines Produkts in 2D oder 3D erstellt. Die spezifischen Operationen variieren je nach verwendetem Konstruktionswerkzeug, nutzen jedoch häufig die Manipulation und Kombination von Primitiven (Kreise, Würfel, Zylinder, usw.), um komplexe Formen und Körper zu erstellen. Während der Konstruktion wird eine ideale digitale Repräsentation des Produkts erzeugt. Das bedeutet, dass theoretisch sehr detaillierte und genaue Modelle möglich sind. Die Modelle werden in einem geeigneten Austauschformat (z. B. STL für 3D-Modelle, SVG für 2D-Modelle) exportiert.

Schritt 2 – Transformation: Ein digitales Modell enthält nicht alle notwendigen Informationen zur Herstellung des Produkts. 3D-Modelle im STL-Format sind hohle Körper, da sie nur die Geometrie der Oberfläche speichern. SVG-Dateien spezifizieren nicht, welche Teile der Grafik mit einem Laser geschnitten oder graviert werden sollen. Auch beschreibt keines der Dateiformate, aus welchem Material das Produkt hergestellt werden soll. Tatsächlich ist dies eine grosse Stärke des DF-Prozesses, da das Modell damit vollständig unabhängig von Faktoren wie dem verwendeten Material, der Maschine und in begrenztem Masse auch von der Fertigungsmethode ist. Der Schritt der Transformation hat das Ziel, Fertigungsanweisungen für ein Modell zu

finden, die bei Ausführung zur Herstellung eines Produkts führen. Diese Anweisungen werden meist in Form von G-Code formuliert, einem standardisierten Format für CNC-Systeme. Diese Anweisungen können beispielsweise das Aktivieren eines Werkzeugs – z. B. eines Lasers oder der Heizung eines 3D-Druckers – oder die Bewegung des Werkzeuges zu einer bestimmten Koordinate sein. Die Erstellung dieser Fertigungsanweisungen erfordert tiefgreifendes Wissen über die Eigenheiten des Fertigungsprozesses und der verwendeten Materialien. Diese haben einen grossen Einfluss auf die Qualität des Endprodukts. Viele Fertigungsmethoden nutzen spezielle Software wie beispielsweise Slicer-Programme für 3D-Drucker. Diese automatisieren die Transformation des Modells in Fertigungsanweisungen, können jedoch auch durch zahlreiche Parameter beeinflusst werden.

Schritt 3 – Interpretation: Die Fertigung des Produkts kann nun anhand der Fertigungsanweisungen beginnen. Abhängig vom verwendeten CNC-System werden die Anweisungen entweder als Datei übertragen oder schrittweise seriell von einem Computer an das CNC-System weitergegeben. Anschliessend muss das CNC-System die Anweisungen einlesen und entsprechend interpretieren. Da es diverse Bauarten und Motor-Konfigurationen von CNC-Systemen gibt, muss jedes System die Kontrollsignale für die Motoren gemäss der Fertigungsanweisung und dem aktuellen Zustand des Systems ermitteln. Ein weiterer relevanter Aspekt für die Informatik ist die Diskretisierung von Bewegungen durch das CNC-System. Somit werden Rundungen und Kreise durch eine Vielzahl an Liniensegmenten approximiert. Dieses Verfahren wird häufig in verschiedenen Bereichen der Informatik angewendet und kann zum Beispiel ähnlich wie die Codierung von Bildern als Pixelgrafiken betrachtet werden.

5. Informatik Kompetenzen in Digital Fabrication

Jeder Schritt des generalisierten DF-Prozesses bietet Möglichkeiten für Bezüge zu Informatikkompetenzen. Im Weiteren wird dies anhand der Grundlagen und Standards für den Informatikunterricht der GI (Best et al. 2019; Gesellschaft für Informatik e. V. 2008; Gesellschaft für Informatik e. V. 2016) und ihrer Kompetenzbereiche erläutert. Diese Standards dienen als Grundlage für zukünftige Informatik-Lehrpläne in Deutschland und eignen sich daher auch für eine Argumentation zur Integration von DF in den Informatikunterricht. Gleichzeitig lassen sich die Überlegungen auch auf den Lehrplan 21 übertragen, da dessen Kompetenzbereiche *Algorithmen*, *Datenstrukturen* und *Informatiksysteme* starke Ähnlichkeiten zu den Kompetenzbereichen *Algorithmen*, *Information und Daten* sowie *Informatiksysteme* der Bildungsstandards der GI aufweisen («Lehrplan 21 – Medien und Informatik» 2016).

Da jedes CNC-System zugleich ein *Informatiksystem* darstellt, eignet sich DF als Lerninhalt in diesem Kompetenzbereich. Die Komponenten eines CNC-Systems lassen sich als Software- und Hardware-, Eingabe-, Verarbeitungs- und

Ausgabekomponenten klassifizieren. Da die Firmware vieler CNC-Systeme als Open Source Code verfügbar ist, kann diese manipuliert und auf diversen Mikrocontrollern installiert werden. Durch dieses Vorgehen kann die Blackbox der Verarbeitung in der Firmware aufgelöst werden. Die Verbindung zum PC bietet sich durch die Programmierung von Mikrocontrollern zur Ansteuerung von Sensoren und Aktoren an. Der Kompetenzbereich Informatiksysteme beinhaltet auch Aspekte der Modularisierung, sowohl in Bezug auf Hard- als auch auf Software. Während der Konstruktion kommen entsprechende Kompetenzen zum Einsatz, welche auf der Modularisierung von komplexen Körpern in Teilkörper und Primitive aufbauen (Abbildung 2). Dieser Ansatz kann weiterhin mit der fundamentalen Idee der Strukturierten Zerlegung (Schwill 1997) verknüpft werden.

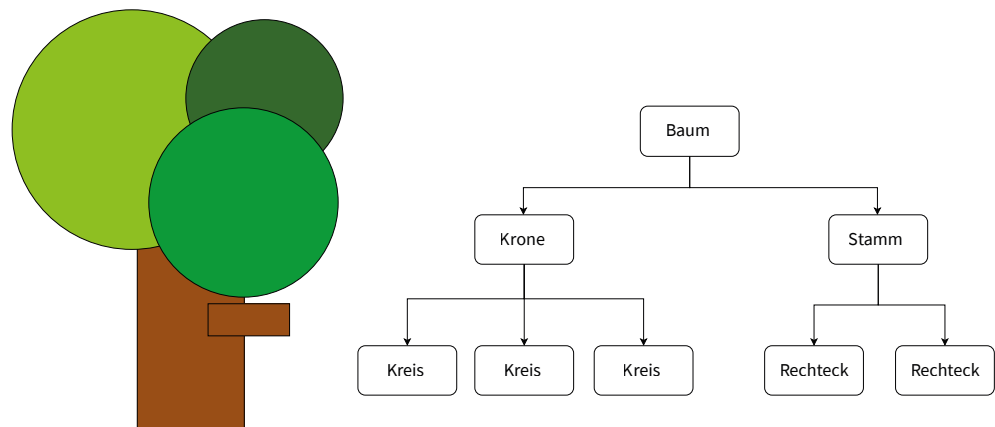


Abb. 2: Zerlegung eines 2D-Modells in Primitive (Rechteck und Kreis) anhand eines Baumdiagramms, von DDI – TU Dresden unter CC BY 4.0-Lizenz.

In jedem Schritt der DF können *Algorithmen* thematisiert werden. Während der Konstruktion müssen Attribute von Objekten genutzt werden, um parametrisierbare Modelle und sich wiederholende Teilmodelle mit Schleifen zu erstellen. Die Verbindung zu Algorithmen ist offensichtlich, wenn ein programmierender Ansatz zur Konstruktion, z. B. über die Auszeichnungssprache OpenSCAD,¹ zum Einsatz kommt. Während der Transformation kann das manuelle Erstellen von einfachen Programmen als G-Code genutzt werden, um die Verknüpfung zum Kompetenzbereich weiter zu vertiefen. Während der Interpretation des G-Codes durch das CNC-System kommen ebenso Algorithmen in Form der Firmware zum Einsatz, um die Steuersignale zu berechnen, die für die erfolgreiche Herstellung eines Produkts benötigt werden. Einfache Demonstratoren, bestehend aus Mikrocontrollern, Motoren und Sensoren, können von Schüler:innen verwendet werden, um eine beispielhafte Implementierung dieser Algorithmen nachzuvollziehen.

1 <https://openscad.org>.

Der Kompetenzbereich *Information und Daten* ist von besonderer Relevanz während der Konstruktion und Transformation. Die Codierung von Information in Binärdaten kann anhand digitaler Modelle und Fertigungsanweisungen veranschaulicht werden. Eine genaue Betrachtung des Aufbaus von STL- und SVG-Dateien sowie G-Code kann dazu beitragen, ein Verständnis für die Notwendigkeit des Transformationsschritts aufzubauen.

Diese Anweisungen können verwendet werden, um Aspekte von *Sprachen und Automaten* zu vermitteln. Während der Ausführung wird der G-Code eingelesen, was in der Regel mit regulären Ausdrücken umgesetzt wird, die sich in diesem Kompetenzbereich wiederfinden. Da die Bewegungen während der Ausführung von statischen Anweisungen und dem vorherigen Zustand des CNC-Systems abhängen, kann das System als Automat betrachtet und diskutiert werden.

Der Kompetenzbereich *Informatik, Mensch und Gesellschaft* bietet die Möglichkeit, das Thema Nachhaltigkeit in den Informatikunterricht zu integrieren. Während Kunststoff beim 3D-Druck aufgrund seiner mangelnden Nachhaltigkeit ein schlechtes Image hat, kann sich die Fähigkeit zur Reparatur und die dadurch entstehende Vermeidung unnötiger Ersetzungen, positiv auf die Umwelt im Alltag von Schüler:innen auswirken. Die Open-Source- und Open-Hardware-Community haben einen bedeutenden Beitrag zur Zugänglichkeit des 3D-Drucks und des Laser-Cuttings geleistet. Das Beispiel bietet Anlass, den Einfluss freier Software zu diskutieren. Ein weiterer Aspekt von DF ist die Demokratisierung der Produktionsmöglichkeiten, die es Individuen ermöglicht, zum Beispiel die Abhängigkeit vom Angebot an Ersatzteilen eines Herstellers zu verringern.

6. Eine Implementierung in der Lehramtsausbildung

Bisher fehlen praktische Umsetzungen der beschriebenen Potenziale im Informatikunterricht. Eine Ursache hierfür könnte in den hohen Anforderungen der DF-Verfahren an anwendungsspezifische Kompetenzen der Lehrkräfte liegen. Eine erfolgreiche Verknüpfung von Informatikunterricht und DF erfordert eine tiefere Einarbeitung der Lehrkräfte in den Themenbereich, damit sie Informatikbezüge in der Anwendung von 3D-Druckern und Laser-Cuttern identifizieren können. Aus diesem Grund wurde ein Seminarkonzept für Lehramtsstudierende des Fachs Informatik entwickelt und pilotiert. Das Konzept soll fachliche, anwendungsbezogene und didaktische Kompetenzen im Bereich des DF fördern und praktische Unterrichtserfahrungen ermöglichen (Baberowski, Leonhardt, und Bergner 2023). Die Veranstaltung ist für Studierende im sechsten Semester konzipiert und setzt solide fachliche Grundkenntnisse voraus. Die Teilnehmenden haben in der Regel bereits erste

eigene Unterrichtserfahrungen gesammelt, jedoch noch keine Gelegenheit gehabt, sich eine Routine in der Planung und Durchführung von Unterricht anzueignen. Das Konzept ist dreiphasig aufgebaut und wird im Folgenden kurz erläutert.

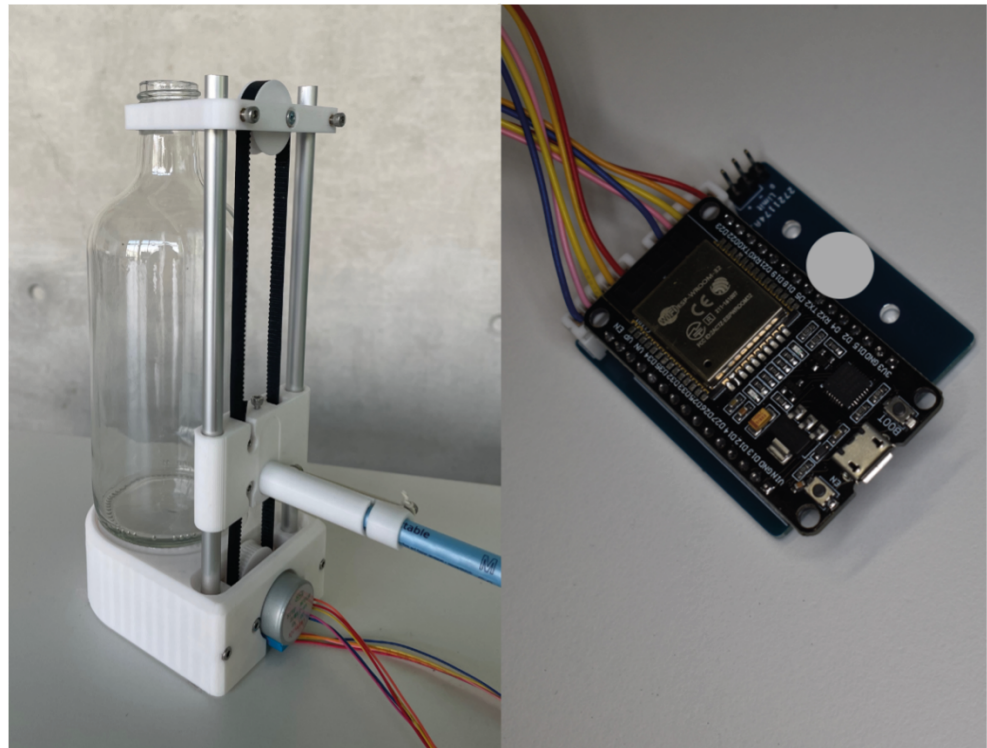


Abb. 3: Demonstrationsgerät zur Programmierung eines einfachen CNC-Systems. Die Motoren können die Flasche drehen und den Stift auf und ab bewegen und somit Formen auf die Flasche zeichnen, von DDI – TU Dresden unter CC BY 4.0-Lizenz.

6.1 Fachliche Einarbeitung

In der ersten Phase sollen die Teilnehmenden selbstständig den Umgang mit 3D-Druckern und Laser-Cuttern erlernen. Dies stellt eine relevante Voraussetzung für die erfolgreiche Integration dieser Werkzeuge in den Unterricht dar. Es schafft die Voraussetzung, auf etwaige Fragen und Probleme spontan einzugehen. Dabei wird sich zunächst an den Schritten des DF-Prozesses (Konstruktion, Transformation, Interpretation) orientiert.

Zunächst wird jeder Schritt in einer separaten Seminareinheit aus der Anwendungsperspektive durchlaufen. Nachdem verschiedene Softwarealternativen für die Konstruktion von 2D- und 3D-Modellen ausprobiert wurden, wird näher darauf eingegangen, welche Bezüge zur Informatik bestehen. So kann jeder Schritt der DF

gemeinsam inhaltlich analysiert werden. Die fachliche Einarbeitung wird durch das eigenständige Herstellen eines eigenen Produkts mithilfe eines 3D-Druckers oder Laser-Cutters abgeschlossen. Dabei sollen alle Teilnehmenden aktiv tätig sein.

6.2 Didaktische Aspekte

In der zweiten Phase des Seminars planen die Teilnehmenden in Kleingruppen einen Informatikworkshop im Themenkomplex DF. Dabei wird in jeder Seminareinheit ein anderer Aspekt des Planungsprozesses thematisiert. Diese Aspekte umfassen zum Beispiel die Betrachtung von Lernzielen, Binnendifferenzierung, Motivation sowie Fehlvorstellungen. Ausgehend von einem kurzen theoretischen Einstieg wird kontinuierlich an den Workshopkonzepten gearbeitet. Bei der Wahl des Themas haben die Gruppen vollständige Freiheit und sind dazu motiviert, ihre eigenen Ideen einzubringen. In dieser Phase ist es ein grundlegendes Prinzip, dass sich die Gruppen untereinander kontinuierliches Feedback geben.

6.3 Praktische Erprobung

Am Ende des Semesters finden Workshops mit Schüler:innen im Lehr-Lernlabor EduInf² der TU Dresden statt. Dort stehen 3D-Drucker, Laser-Cutter, Laptops und Tablets zur Verfügung. Die Studierenden können den Raum nach ihren Vorstellungen vorbereiten und somit die Rahmenbedingungen optimal auf den jeweiligen Workshop abstimmen. Während der Erprobung werden die Workshops aus verschiedenen Perspektiven mit mehreren Kameras aufgezeichnet. Diese Aufnahmen werden im Anschluss gemeinsam mit den Studierenden zur Reflexion genutzt.

6.4 Learnings

Im Rahmen der Seminarpilottierung wurden erste Beobachtungen bezüglich der Ziele gemacht. Es wurde erkannt, dass es für die fachliche Einarbeitung der Studierenden wichtig ist, ihnen freien Zugang zu den Geräten für eigene Projekte zu ermöglichen. Aus diesem Anlass wurde ein offener Werkstatt-Tag eingerichtet, der einem Maker Space ähnelt. Dies hat den Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben, wichtige praktische Erfahrungen zu sammeln, die später im Workshop bei der Problemlösung sehr wertvoll waren.

Das grösste Potenzial für weitere Untersuchungen liegt vermutlich in der zweiten und dritten Phase des Seminars. Konkrete Unterrichtsszenarien zur Integration von DF in den Informatikunterricht existieren bisher kaum. Durch die Erarbeitung von Materialien und anschließende Erprobung können wichtige Erfahrungen

2 <http://tu-dresden.de/inf/eduinf>.

gesammelt werden. Die weitere Forschung sollte sich systematisch mit dem Erarbeiten von Empfehlungen für Materialien und den Einsatz von DF im Informatikunterricht befassen.

In den durchgeführten Workshops lag der Fokus auf informatischen Lernzielen, die durch Partner- oder Projektarbeiten vermittelt wurden. Allen Gruppen gelang es, grundlegende Verbindungen zwischen DF und Informatikdidaktik herzustellen. Somit ist es im Rahmen des Seminarkonzepts möglich, (angehende) Lehrkräfte gezielt auf den Einsatz von DF im Informatikunterricht vorzubereiten.

7. Fazit

Mit DF können zusätzlich zu den Kompetenzen des Herstellens und der Analyse digitaler Medien auch Kompetenzen im Bereich des Makings und der Fertigung physischer Produkte mittels computergesteuerter Werkzeuge vermittelt werden.

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz zur Vermittlung von fachspezifischen Medien- und Informatikkompetenzen im Hinblick auf einen allgemeinen DF-Prozess vorgestellt. Dieser Prozess ist unabhängig von den Modellierungsmethoden, Werkzeugen und verwendeten Geräten. Infolgedessen können verschiedene Informatikkompetenzen auf den DF-Prozess abgebildet werden. Daher ist eine Integration des DF-Prozesses als Teil des Informatikunterrichts möglich. Hierfür wurde der DF-Prozess anhand der deutschen Bildungsstandards für den Informatikunterricht analysiert, um eine direkte Integration in den Informatikunterricht und in die Lehrkräfteausbildung zu ermöglichen. Eine entsprechende Integration in europäische oder amerikanische Curricula ist ebenso möglich, da die theoretischen Grundlagen identisch sind, wie gezeigt wurde.

Die beschriebenen fachlichen Zusammenhänge sind erforderlich, um die Integration von DF und Making in den lehrplanorientierten Schulunterricht abseits von außerschulischen Lernorten wie Fab Labs und Maker Spaces zu ermöglichen. Dafür sind nicht nur inhaltliche Verknüpfungen, sondern auch methodische und pädagogische Perspektiven von entscheidender Bedeutung. Deshalb wurde ein Konzept erarbeitet und erprobt, das ermöglicht, Lehrkräfte auf den Einsatz von DF im Informatikunterricht vorzubereiten. Die Pilotphase zeigte sowohl Potenziale als auch offene Fragestellungen in Bezug auf die Lehrkräftefortbildung. Es bedarf weiterer Forschung, um praktische Lehr-Lern-Szenarien für einen schülerzentrierten, projektorientierten Informatikunterricht zu entwickeln.

Literatur

- Adler-Beléndez, Dhyana, Eduardo Hoppenstedt, Mishaal Husain, Edwin Chng, und Bertrand Schneider. 2020. «How Are 21st Century Skills Captured in Makerspaces? A Review of the Literature». In *Proceedings of the FabLearn 2020 – 9th Annual Conference on Maker Education*, 40–45. FabLearn '20. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3386201.3386214>.
- Anton, Gabriella, und Uri Wilensky. 2019. «One Size Fits All: Designing for Socialization in Physical Computing». In *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 825–31. SIGCSE '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287423>.
- Baberowski, David, Thiemo Leonhardt, und Nadine Bergner. 2023. «Digital Fabrication im Informatikunterricht – Entwicklung eines Seminars für Lehramtsstudierende». <https://doi.org/10.18420/INFOS2023-027>.
- Bell, Tim, Paul Tymann, und Amiram Yehudai. 2018. «The Big Ideas in Computer Science for K-12 Curricula». *Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science February 2018* (124). <http://smtp.eatcs.org/index.php/beatcs/article/viewFile/521/>.
- Best, Alexander, Christiane Borowski, Katrin Büttner, Rita Freudenberg, Martin Fricke, Kathrin Haselmeier, Henry Herper, et al. 2019. «Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich». Bonn. <https://t1p.de/guiq>.
- Blikstein, Paulo. 2013. «Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention». In *FabLab*, herausgegeben von Julia Walter-Herrmann und Corinne Büching, 203–22. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.14361/transcript.9783839423820.203>.
- Blikstein, Paulo, Dorothy Jones-Davis, Sonya Pryor-Jones, Stephanie Santoso, Kyle Cornforth, Josh Weisgrau, und Sherry Lassiter. 2021. «Transforming Public Education with Making and Digital Fabrication». *Field Building Collaborative*. <https://buildfabmake.org/wp-content/uploads/2022/01/TransformingEducationWithMaking-2021.pdf>.
- Caspersen, Michael E., Judith Gal-Ezer, Andrew McGettrick, und Enrico Nardelli. 2018. «Informatics for All The strategy». *ACM*. <https://doi.org/10.1145/3185594>.
- Computer Science Teachers Association. 2017. «CSTA K-12 Computer Science Standards». 2017. <http://www.csteachers.org/standards>.
- Denning, Peter J. 2011. «The Great Principles of Computing». In *The Best Writing on Mathematics 2011*, herausgegeben von Mircea Pitici, 82–92. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400839544.82>.
- 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>.

- Fields, Deborah A., Yasmin B. Kafai, Tomoko Nakajima, und Joanna Goode. 2017. «Teaching Practices for Making E-Textiles in High School Computing Classrooms». In *Proceedings of the 7th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education*, 1–8. FabLearn '17. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3141798.3141804>.
- Gendreau Chakarov, Alexandra, Mimi Recker, Jennifer Jacobs, Katie Van Horne, und Tamara Sumner. 2019. «Designing a Middle School Science Curriculum that Integrates Computational Thinking and Sensor Technology». In *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 818–24. SIGCSE '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287476>.
- Gesellschaft für Informatik e. V. 2008. «Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule: Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I». *Beilage zu: LOG IN*, 28(150/151). https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/2345/52-GI-Empfehlung-Bildungsstandards_2008.pdf.
- Gesellschaft für Informatik e. V., Hrsg. 2016. *Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe II, Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e. V. Arbeitskreis «Bildungsstandards II»*. LOG IN.
- Informatics for All coalition. 2020. «Educating People for the Digital Age». <https://www.informaticsforall.org/wp-content/uploads/2020/07/Informatics-for-All-position-paper.pdf>.
- 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>.
- «Lehrplan 21 – Medien und Informatik». 2016. http://v-ef.lehrplan.ch/container/V_EF_Modul_MI.pdf.
- Martin, Lee. 2015. «The Promise of the Maker Movement for Education». *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)* 5 (1): 30–39. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099>.
- Merrill, Devon J., und Steven Swanson. 2019. «Reducing Instructor Workload in an Introductory Robotics Course via Computational Design». In *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 592–98. SIGCSE '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287506>.
- Razzouk, Rim, und Valerie Shute. 2012. «What Is Design Thinking and Why Is It Important?» *Review of Educational Research* 82 (3): 330–48. <https://doi.org/10.3102/0034654312457429>.
- Rich, Peter J., und Matthew B. Langton. 2016. «Computational Thinking: Toward a Unifying Definition». In *Competencies in Teaching, Learning and Educational Leadership in the Digital Age*, herausgegeben von J. Michael Spector, Dirk Ifenthaler, Demetrios G. Sampson, und Pedro Isaias, 229–42. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30295-9_14.

- Ryoo, Jean J., Lianna Kali, und Bronwyn Bevan. 2016. «Equity-Oriented Pedagogical Strategies and Student Learning in After School Making». In *Proceedings of the 6th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education*, 49–57. FabLearn '16. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3003397.3003404>.
- Schwill, Andreas. 1997. «Computer Science Education Based on Fundamental Ideas». In *Information Technology*, herausgegeben von Don Passey und Brian Samways, 285–91. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35081-3_36.
- Sentance, Sue, Jane Waite, Steve Hodges, Emily MacLeod, und Lucy Yeomans. 2017. «Creating Cool Stuff: Pupils' Experience of the BBC micro:bit». In *Proceedings of the 2017 ACM SIG-CSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 531–36. SIGCSE '17. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3017680.3017749>.
- Spieler, Bernadette, Maria Grandl, und Vesna Krnjic. 2020. «The hAPPY-Lab: 13th International Conference on Informatics in School: Situation, Evaluation and Perspectives, ISSEP 2020». *CEUR Workshop Proceedings 2755* (Januar): 64–75. <https://ceur-ws.org/Vol-2755/paper6.pdf>.
- Süss, Daniel, Claudia Lampert, und Christine W. Trültzsch-Wijnen. 2018. «Medienpädagogische Ansätze: Grundhaltungen und ihre Konsequenzen». In *Medienpädagogik: Ein Studienbuch zur Einführung*, 83–107. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19824-4_4.
- The Committee on European Computing Education (CECE). 2017. «Informatics Education in Europe: Are We All In The Same Boat?» *Technical Report*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3106077>.
- Torgersson, Olof. 2014. «On Learning Outcomes for Participatory Design in Digital Fabrication». <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4280.3686>.
- Veldhuis, Annemiek, Bernice d'Anjou, Tilde Bekker, Ioanna Garefi, Panagiota Digkoglou, Georgia Safouri, Silvia Remotti, Emer Beamer Cronin, und Madalina Bouros. 2021. «The Connected Qualities of Design Thinking and Maker Education practices in Early Education: A narrative review». In *FabLearn Europe / MakeEd 2021 – An International Conference on Computing, Design and Making in Education*, 1–10. FabLearn Europe / MakeEd 2021. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3466725.3466729>.
- Wagh, Aditi, Brian Gravel, und Eli Tucker-Raymond. 2017. «The Role of Computational Thinking Practices in Making: How Beginning Youth Makers Encounter & Appropriate CT Practices in Making». In *Proceedings of the 7th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education*, 1–8. FabLearn '17. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3141798.3141808>.
- Weese, Joshua, und Russell Feldhausen. 2017. «STEM Outreach: Assessing Computational Thinking and Problem Solving». In *2017 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, 28845. Columbus, Ohio: ASEE Conferences. <https://doi.org/10.18260/1-2--28845>.