
Themenheft Nr. 25: Medienbildung und informatische Bildung – quo vadis?
Hrsg. von Klaus Rummmler, Beat Döbeli Honegger, Heinz Moser und Horst Niesyto

«Through the Interface»

Medienbildung in der digitalisierten Kultur

Heidi Schelhowe

Zusammenfassung

Wenn Digitale Medien in der Medienpädagogik häufig verstanden werden als blosse Erweiterung bisheriger Medien – «Multimedia» und Vernetzung – wird die fundamentale Neuartigkeit dieses Computer-basierten Mediums, das seinen Ursprung in der Rationalisierung geistiger Tätigkeiten hat, verkannt: Es ist seine Programmierbarkeit, die die Verarbeitung von Daten, die Prozessierbarkeit im Medium selbst und die Interaktionsfähigkeit zur Folge hat. In meinem Beitrag mache ich diese fundamentale Bedeutung für die Kultur der zweiten Hälfte des 20. und 21. Jahrhunderts deutlich und die Konsequenzen für Bildungsprozesse. Medienbildung heisst dann auch, grundlegende informatische Prozesse zu verstehen, um sich in dieser Welt finden, sich positionieren und sie mit gestalten zu können. Dazu werden auch die Rolle der Informatik und ihrer neuen Entwicklungen im Physical Computing und Body Interaction mit Beispielen erwähnt, um zu zeigen, dass die Mittel sowohl für einen handlungs- und design-orientierten wie auch für einen, die Reflexion fördernden Umgang mit dem Computermedium heute vorhanden sind. Medienpädagogik kann – wenn sie sich mit der informatischen Bildung zusammen schliesst – zu einer aufregenden und für Bildung im 21. Jahrhundert höchst relevanten Gestaltungswissenschaft werden.

«Through the Interface» – Media Education in a Digitalised Culture

Abstract

To understand Digital Media as mere extensions of traditional media – multimedia and networks – misjudges the fundamental novelty of this medium. As a computer based medium it has its origins in rationalizing mental work and its hallmark is programmability, meaning processing of data, processibility as inherent part of the medium itself; this is the cause for its interactivity. In my contribution I point out the fundamental significance of this characteristic for the later 20th and 21st century and the consequences for education. In this sense media education means to promote an understanding of the fundamental computing qualities in order to develop student's personality, to help them to orient in a digitalised society, to support them in positioning and participating in the development of society and technology. Computer science and some of its newer concepts like physical computing and body interaction can be

correlated best with an approach towards action- and design-based learning as well as with reflection in action. Media education could be enabled to become a discipline for designing, not just interpreting the world through a close association with computer science education.

Ein Medium wie alle anderen?

Wie stellt man sich die Schülerin vor, die als Expertin des Computerwesens gilt und den Leistungskurs Informatik belegt? Der Gebrauch der weiblichen Form mag stutzen lassen – ist sie vereinbar mit dem gängigen Bild des pickeligen, unsozialen, ausschliesslich mit seinem Computer beschäftigten Nerd? Zur Medienkompetenz demgegenüber passt die Vorstellung von der aufgeschlossenen und geistig, sozial und kulturell gebildeten und zu bildenden Schüler/in. Während man davon ausgeht, dass Technologie als engstirnige und einseitige Passion gelebt wird, bezieht sich die Bildungsvorstellung als Persönlichkeitsentwicklung auf das geistig-soziale Kulturgut, umfasst Weitblick und reflektiertes Abwägen.

Nun sind dies Dichotomien, die einem modernen Verständnis von Medienbildung nicht mehr adäquat scheinen. Medienbildung bezieht sich auf die Medien der Kommunikation. In den vier Dimensionen der Medienkompetenz von Dieter Baacke kann man – mit gutem Willen – die Einbeziehung technischer Kompetenzen zumindest erahnen, wenn er in der Dimension *Medienkunde* von «Sich-Einarbeiten in die Handhabung einer Computer-Software» und in der Dimension *Mediengestaltung* vom innovativen Handeln im Sinne der «Veränderung und Weiterentwicklung des Mediensystems innerhalb der angelegten Logik» (Baacke 1999, 34) spricht. Wie Dieter Spanhel betont, geht es in der Medienpädagogik zuallererst um Medienhandeln, das basiert auf der

Fähigkeit zum sozialen Handeln mittels Zeichengebrauch [...] Das Mediale, die im psychischen System des Menschen verankerte Zeichenfähigkeit ist nicht nur Voraussetzung für jegliche Mediennutzung, sondern auch für die Entwicklung der Lern-, Kommunikations-, Handlungs- und Reflexionsfähigkeit des Menschen. Umgekehrt gilt aber auch: Die Entwicklung dieser Fähigkeiten ist an einen vielfältigen Gebrauch der unterschiedlichsten Medien gebunden (Spanhel 2010, 71).

Der Diskurs in der Medienbildung bietet bis heute noch zu wenig Anschlussmöglichkeit für informatische Bildung, eine Perspektive, aus der ich als Informatikerin argumentiere. Das technische Gerät wird in erster Linie als «Hilfsmittel», als «bloßes» Werkzeug («Sich-Einarbeiten in die Handhabung») gesehen, nicht als Gegenstand, der einer originären Aufmerksamkeit der Medienpädagogik Wert wäre. Eine der Ursachen liegt in der Fremdheit zwischen beiden wissenschaftlichen

Kulturen und der den beiden Gebieten jeweils eigenen, in ihr «angelegten Logik» (Baacke 1999, 34). Der Computer oder das Digitale Medium¹ werden in der Medienpädagogik oft nahtlos und unhinterfragt in die Geschichte der (Massen-)Medien eingereiht als ein weiteres, allenfalls im Sinne von «Multimedia» neuartiges, bisherige Medien integrierendes und vernetzendes Medium und nicht in seiner technologischen Verfasstheit reflektiert. So bleibt nach wie vor das Versprechen uneingelöst, sich «angesichts der durch die Digitalisierung und technische Bidirektionalität ermöglichten interaktiven und konstruktiven Nutzung dieser Medien und der Dynamik der Veränderungen, die die Neuen Technologien in allen gesellschaftlichen Bereichen hervorbringen, [...] ein erweitertes Medienverständnis» zu entwickeln und sich «auf Beiträge aus einer Reihe anderer Disziplinen» einzulassen (Sesink et al. 2007, 7), zumindest was die Disziplin Informatik betrifft.²

Informatik und Informatik-Unterricht befassen sich mit der «systematischen, automatisierten Verarbeitung von Information» (GI-Positionspapier 2005). Der Automat, auf den man dabei im Sinne der «automatisierten Verarbeitung» zielt, ist der Computer. Der Computer aber ist zunächst erfunden für die Maschinisierung von Kopfarbeit (Nake 1992). Bei der automatisierten Rechtschreibprüfung z. B. geht es darum, den Menschen das Rechtschreiben abzunehmen, statt es zu erlernen. Was sollte diese Disziplin mit Bildung und mit Lernen zu tun haben, wo Lernen doch heisst, Menschen zum eigenen Denken herauszufordern, statt es ihnen wegzunehmen?

In meinem Beitrag wird es um die Seite der Informatik gehen und um ihre Anschlussfähigkeit an die Medienpädagogik, womit sich auch die Informatik ihrerseits schwer tut. Ich werde dazu zunächst zur Erfindung des Computers zurück gehen: Der elektronische Computer scheint als automatische Rechenmaschine zunächst so gar nichts mit Medien zu tun zu haben. Mit der Entwicklung des Interface zum werkzeugartigen Gebrauch ist der Weg zum Computer als Medium (Schelhowe 1997) geebnet. Wo sich Informatik als Schulfach oder informatische Bildung als Querschnittsaufgaben herausgebildet haben, war dies immer auch anrühlich für die Bildungsperspektive: Informatische Bildung wird (bisweilen nicht ganz zu Unrecht) gesehen als Orientierung an den Interessen der Wirtschaft, verbunden mit

1 Ich schreibe «Digital» bewusst gross, da es um einen inzwischen gebräuchlichen und feststehenden Begriff handelt und nicht um das Attribut «digital», die das wesentliche Kennzeichen dieses Mediums im Unterschied zum Analogen wäre.

2 Mit der sogenannten Dagstuhl-Erklärung von 2016, die erst nach der Abfassung dieses Beitrags zustande gekommen ist, wurde eine schon als historisch zu bezeichnende Wende eingeleitet: Wissenschaftler/innen und Praktiker/innen aus Informatik und Medienpädagogik haben sich auf eine gemeinsame Sichtweise auf die mit der «Digitalen Bildung» verbundenen Herausforderungen verständigt. Natürlich gab es vorher schon Wissenschaftler/innen aus dem Bereich der Medienpädagogik, die auch die technologische Seite des Mediums im Blick hatten, wie in der Informatik(Didaktik) neben der technologischen auch anwendungsbezogene und gesellschaftlich-kulturelle Perspektiven eingenommen wurden (<https://www.gi.de/aktuelles/meldungen/detailansicht/article/dagstuhl-erklarung-bildung-in-der-digitalen-vernetzten-welt.html>).

dem gewinnträchtigen Verkauf von Hardware und Software, der Ausbildung von Bediener/innen und/oder Informatik-Nachwuchs. Dies macht es der Medienpädagogik schwer sich damit anzufreunden. In der Tat steht für die Informatik-Didaktik bis heute die Suche nach dem allgemeinbildenden Charakter der Informatik oben auf der Agenda. Ihrerseits tut sich die Informatik schwer, sich als Medienbildung zu verstehen. Es scheinen Gefahren der Verwässerung, des Verlusts von handfestem Wissen, der Oberflächlichkeit, des normativen Geschwätzes zu drohen.

Der Computer selbst hat sich heute jedoch zu einem (technischen) Medium der Information, Kommunikation und Interaktion entwickelt; die neuen technologischen Konzepte der Informatik bieten erstaunliches und neuartiges Bildungspotenzial. Der Computer ist «be-greifbar» geworden, durch Handeln können Abstraktionen erschlossen werden, die einen Blick in die Wissensgesellschaft und ihre wesentlichen Prinzipien der Semiotisierung und auf spezifische Verbindungen zwischen Zeichen und Stofflichkeit öffnen. Bildung, Medienbildung und Informatik können sich hier treffen. Dazu hat auch die Informatik als Gestaltungswissenschaft noch ihren Beitrag zu leisten. Am Konzept des «Reflexive Experience Design» möchte ich dies am Schluss des Beitrags verdeutlichen.

Von der Rechenmaschine über das Werkzeug zum Digitalen Medium

Geht man zurück in die Entstehungsgeschichte des Computers, so ist es zunächst höchst verwunderlich, dass dieses technische Gerät in Bildungsprozessen eine Rolle spielen soll. Ich möchte den Blick auf die Anfangszeit des Computers richten, um seine Besonderheit und den entscheidenden Unterschied, den er im Spektrum der technischen Medien macht, zu verdeutlichen.

Dass es sich beim Computer (auch) um ein Kommunikationsmedium handele, das an die klassischen Medien anschliesst, wird erst allmählich bewusst. Carl Adam Petri, der in seiner Dissertation schon 1962 darauf hinweist, dass der Computer ein Kommunikationsmedium sei und die Informatik als eine Kommunikationsdisziplin aufzubauen sei (Petri 1962), erntet zunächst Unverständnis und wird ignoriert in der mit dem Computer und seiner Entwicklung befassten wissenschaftlichen Community. Die konkrete elektronische Rechenmaschine wurde, so schon Konrad Zuse, erfunden, «um dem Ingenieur das sture Wiederholen von Rechengängen abzunehmen» (Zuse 1993, 33). Friedrich Bauer und Gerhard Goos formulieren in ihrem bis in die 1990er Jahre wichtigsten deutschsprachigen Lehrbuch der Informatik: «Die Befreiung des Menschen von der Last gleichförmiger, ermüdender geistiger Tätigkeit ist die stärkste Triebfeder der Entwicklung der Informatik» (Bauer und Goos 1971,187).

Als konkrete *Maschine* steht der Computer in der Tradition der klassischen Maschinen, die seit dem 18. Jahrhundert im Rahmen der Industrialisierung die

(körperliche) Arbeit rationalisieren. Die Tatsache, dass es sich dabei um eine *neuartige* Maschine handelt, die Zeichen statt stoffliches Material verarbeitet, kommt erst allmählich ins Bewusstsein, auch wenn Zuse bei seiner Patentanmeldung mit dem Hinweis, dass es sich um «Fleisch gewordene Mathematik» (Zuse 1993, 100) handele, eine Ahnung von der revolutionären Neuartigkeit seiner Maschine zum Ausdruck bringt. Die automatische Verarbeitung von Zeichen ist es, was – wie Petri ahnte – den Computer von vornherein mit Information und Kommunikation verbindet. Die automatische *Verarbeitung* jedoch verweist ihn in den Bereich der industriellen Produktion.

In der Anwendung müssen diese Maschinen «bedient» werden, in den drastischen Formulierungen von Karl Marx: Dem «objektiven Organismus» der Maschine wird das «Menschenmaterial einverleibt», Menschen werden zu «Anhängseln» der Maschine (Marx 1975, 415), sie zwingen den Arbeitenden ihren Rhythmus auf, schieben sich zwischen Mensch und Arbeitsgegenstand, sie erzwingen einen Umgang mit dem Arbeitsmittel selbst, wodurch der Bezug zum Gegenstand und zum Ergebnis verloren geht (Bahr 1983). Mit der Entwicklung der neuen Benutzungsschnittstellen, der Schreibtischoberfläche und der sogenannten «Direkten Manipulation» (Sheiderman 1982), die sich ab den 1980er Jahren durchsetzen, lassen sich Computer schliesslich wie Werkzeuge «handhaben». Nutzer/innen können gewissermassen durch die Oberfläche hindurchgreifen, «Through the Interface» (Bødker 1991), und sich der Illusion hingeben, selbst direkt im Aufgabengebiet zu handeln, «create the sensation in the user of acting upon the objects of the task domain themselves» (Hutchins et al. 1986, 94), Akten zu bearbeiten, Texte zu formatieren, den Papierkorb zu verschieben. Was durch dieses Konzept der *Direkten Manipulation* mehr und mehr verborgen ist, ist die Tatsache, dass es letztendlich eine Maschine ist, die diese Tätigkeiten für den Menschen – anstelle des Menschen, aber auch unterstützt durch seine Interaktion – ausführt.

Bis heute begegnet man in den Erziehungswissenschaften und in der Bildungspraxis der Aussage, der Computer als Technologie sei nicht in den Vordergrund zu stellen, er sei ja «nur» ein Werkzeug. Dies verkennt die fundamental neuartige Eigenschaft dieses «Werkzeugs», dass es gleichzeitig eine Maschine ist und mehr tut als nur zu vermitteln, dass es ein Eigenleben entwickelt und dies den menschlichen Handlungen hinzufügt und gegenüberstellt. Das Digitale Medium hat über die Programmierbarkeit die entscheidende Wirkmächtigkeit, dass die eingegebenen Zeichen nicht nur gespeichert und übertragen werden, sondern dass sie in verarbeiteter und veränderter Form auf der Seite des Menschen ankommen und wahrgenommen werden: «[...] the most fundamental quality of new media that has no historical precedent – programmability» (Manovich 2001, 47).

Computer wurden in der industriellen Produktion schon früh auch für die Steuerung materiell-stofflicher Prozesse genutzt; heute ist diese Verbindung zwischen

Zeichen und Materie, wie sie den Computer von Anfang an kennzeichnet, insbesondere z. B. mit der Veralltäglichen des 3D-Druckers, offensichtlich. Die klassische Trennung von Materie und Geist, von Stofflichkeit und Zeichen, die die abendländische Kulturgeschichte geprägt hat und über die sich auch die Medienpädagogik von der technischen Bildung trennt, trägt nicht mehr. Sind Arduino-gesteuerte «smarte» Objekte der Medienwelt zuzurechnen, weil es Zeichenprozesse sind, durch die ihre Bewegungen entstehen, oder gehören sie zur Welt der materiell-stofflichen Gegenstände? Sind «intelligente» Spielzeuge, die kommunizieren, eher den Medien oder der Welt der physikalischen Objekte zuzurechnen? Wo verläuft beim 3D-Druck die Grenze zwischen Virtualität und «realer Realität»?

Digitale Medien beruhen auf Zeichen- und Kommunikationsprozessen. Sie sind jedoch in ihren Bewegungen nicht auf Virtuelles, auf Bildschirm und Tastatur beschränkt, sondern sie erfassen auch die physikalischen Prozesse, verändern und prägen die stoffliche Umwelt mit ihren automatisierten «Kommunikationen». Indem Computer heute nicht mehr in den Büros und hinter den Bildschirmen eingesperrt sind, sondern die Welt durchstreifen, als Waschmaschinen oder Roboter, in der Kleidung vernäht, im 3D-Druck oder in der sog. Industrie 4.0, wird offensichtlich, dass im Zwischenraum zwischen Zeichen und Stofflichkeit, zwischen Geist und Körper, zwischen Virtualität und Realität etwas Neues entstanden ist.

Was als abstrakte Beschreibung beginnt und als Computerprogramm formuliert ist, erscheint in der Nutzung schliesslich als konkreter, sichtbarer und fühlbarer stofflicher Prozess, der uns entgegentritt, so dass die Gegenstände – wie von Zauberhand – ein Eigenleben führen, ohne dass die Ursachen der Bewegung noch zu erkennen sind. Durch diese Eigenbewegung der Dinge wird menschliches Handeln herausgefordert, evoziert, Nutzer/innen werden zur Interaktion aufgefordert und werden von Rezipierenden zu Handelnden im Umfeld der Medien.

Im Unterschied zur Frühzeit, in der Carl Adam Petri mit seinem Vorschlag einer Kommunikationstheorie eher verlacht wird, ist die Informatik selbst seit den 1990er Jahren auf der Suche nach ihrem neuen «Paradigma», das traditionell in der *Turing-Maschine* gesucht wurde. Peter Wegner, einer der führenden Wissenschaftler in Computer Science wirft in einem breit diskutierten Beitrag in der Zeitschrift *CACM* die Frage auf, ob das alte Paradigma noch zeitgemäss sei und nicht durch ein Interaktions-Paradigma ersetzt werden müsse (Wegner 1997). Ute und Wilfried Brauer hatten schon 1995 einen Richtungswechsel für die Informatik gefordert: Der wachsenden Bedeutung von Kommunikation und Kooperation werde das sequentiell orientierte *Turing-/Zuse-Paradigma* nicht gerecht (Brauer/Brauer 1995).

Informatik als Schulfach und informatische Bildung

Im Jahr 2000 verabschiedete das Präsidium der Gesellschaft für Informatik (GI) ein «Memorandum» mit dem Titel *Digitale Spaltung verhindern – Schulinformatik stärken!* Darin wird erklärt, die GI sei überzeugt,

dass eine stärkere Verankerung der Informatik in der Schule:

- einerseits durch eine Verbreiterung der informatischen Allgemeinbildung über eine Stärkung der allgemeinen IT-Kompetenz erheblich zur Effizienzsteigerung zahlreicher Arbeitsprozesse beitragen und
- andererseits über eine Verbesserung der Ausbildung von Informatik-Spezialisten die Innovativität und das Qualitätsniveau unserer IT-Industrie stark anheben würde. (GI 2000a)

Weitere Erklärungen mit der Forderung, Informatik in der Schule und auch als Schulfach zu etablieren, folgen und werden in verschiedenen Gremien der GI (zuletzt GI-Dagstuhl-Seminar 2016) kontinuierlich wiederholt. In den Erklärungen, die aus den Einheiten kommen, die sich in der GI mit Bildung befassen, wird in der Regel differenzierter argumentiert, im Memorandum des Präsidiums (siehe oben) steht die Orientierung auf (wirtschaftliche) Verwertbarkeit dieser informatischen Kompetenz unverblümt im Vordergrund.

Ebenfalls im Jahr 2000 legt die GI ein *Gesamtkonzept zur informatischen Bildung an allgemein bildenden Schulen* vor. Dort heisst es: «Informatische Bildung ist das Ergebnis von Lernprozessen, in denen Grundlagen, Methoden, Anwendungen, Arbeitsweisen und die gesellschaftliche Bedeutung von Informatiksystemen erschlossen werden [...] In allen Phasen der informatischen Bildung stellt die Informatik die Bezugswissenschaft dar.» (GI 2000b,1) Informationstechnische Grundbildung und «Internet-Führerschein» oder «Bürgerinformatik» werden als gescheitert betrachtet, dort gehe es nur um oberflächliche Bedienfertigkeit und Handhabung bestimmter Softwareprodukte. (ebenda, 2)

1999 hatte die GI erstmals eine Empfehlung verabschiedet, in der sie Medienkompetenz als zumindest einen Teil der Informatik anerkennt (GI 1999; Schelhowe/Tulodziecki 1998). Dieser Beschluss war nicht ohne erhebliche Einsprüche und Bedenken zustande gekommen, dass man sich mit der Medienkompetenz doch Beliebigkeit und die «Schmalbildfilmer», die nichts weiter als kognitiv anspruchsloses Handeln auf der Oberfläche betreiben, ins Haus hole. Heute deutet sich z. B. in der «Hamburger Erklärung» eine versöhnlichere Haltung und Annäherung ab, Informatikunterricht leiste einen fundamentalen Beitrag auch zur Medienbildung (Memorandum 2011), allerdings wird weiterhin der Anspruch formuliert, Informatik bzw. informatische Bildung als eigenes und neben der Medienbildung existierendes Fach zu etablieren.

Die Notwendigkeit, in der schulischen Allgemeinbildung ein Verständnis für algorithmische Prozesse und für das Programmieren zu wecken, wird seit ein paar Jahren in der öffentlichen Debatte wieder deutlicher formuliert. Aus Europa kommt die «European Coding Initiative» (2014) mit der Aufforderung, Informatik in alle Bereiche der Bildung zu integrieren. In Deutschland hat Wirtschaftsminister Gabriel in einem Interview gefordert, «Programmieren als zweite Fremdsprache» zu verstehen. «Programmiersprachen gehörten zu den Sprachen des 21. Jahrhunderts» (Gabriel 2014). Höchst aktuell werden im Schweizer Lehrplan 21 Medienbildung und informatische Bildung zusammen gepackt und als eigener Modulbereich für die Volksschule (allerdings mit begrenztem, nicht durchgehendem Zeitbudget, was die Kantone nun ausfüllen müssen) und als eigenes Fach (zusätzlich zu den Anwendungen in den einzelnen Fächern) verpflichtend zusammen gefasst (<http://www.lehrplan.ch>). Gespannt darf man sein, wie die Kantone sich nun dazu verhalten. Vielfach ist auf Konferenzen von Seiten der Pädagogik Distanz zu diesen Initiativen zu spüren. Das Innere des Computers zu kennen, Algorithmik zu verstehen oder zu programmieren, wird als Expertenwissen gesehen, das keinen Platz in der Allgemeinbildung hat. Anton Reiter, der in seinem Beitrag in der Zeitschrift *Medienimpulse* die Beziehung zwischen Medienbildung und informatischer Bildung kenntnisreich analysiert, konstatiert für die Seite der Medienpädagogik: «In den gängigen Konzepten zur Medienbildung kommen zentrale Vorgehensweisen der Informatik wie z.B. Algorithmen und Datenstrukturen, Modellbildung, Programmieren (Codieren) nicht vor» (Reiter 2015). Viele Medienpädagogen seien weiterhin «auf einen Medienkompetenzbegriff ausgerichtet, der die formalen Teilbereiche der informatischen Bildung ausblendet» (ebenda).

Diese Distanz ist nachvollziehbar, wenn – wie im Memorandum der GI von 2000 – die wirtschaftliche Verwertbarkeit dieser «formalen» Seite der Medienkompetenz in den Vordergrund gestellt wird. Allerdings ist das Verständnis für Algorithmik weit mehr als dies: Inhalte und Vorgehensweisen der Informatik zu kennen, hat eine fundamentale Bedeutung, um die Digitalisierung, die Arbeits- und Lebenswelt prägt, zu verstehen, sich dazu in Bezug zu setzen und sich gestaltend auf diese Welt beziehen zu können. In den Digitalen Medien kommen die wichtigen Ideen zum Ausdruck, die die Welt ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts geprägt haben, sie werden in ihnen sichtbar und sie können in ihnen erfahrbar werden. In den Worten von Janet H. Murray vermitteln Digitale Medien «the pleasure of agency, the sense of participating in a world that responds coherently to our participation» (Murray 2003, 6) und «[...] the digital medium is as much a pattern of thinking and perceiving as it is a pattern of making things. We are drawn to this medium because we need it to understand the world and our place in it.» (ebenda,11)

Zum Bildungspotenzial Digitaler Medien – Medienbildung in einer digital geprägten Kultur

Worin nun besteht das Bildungspotenzial Digitaler Medien, die den Computer als technologischen Kern haben? In einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung eingesetzten Expertenkommission zum Thema «Medienbildung in der Digitalen Kultur» haben wir unter dem Titel «*Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur: Medienbildung für die Persönlichkeitsentwicklung, für die gesellschaftliche Teilhabe und für die Entwicklung von Ausbildungs- und Erwerbsfähigkeit*» festgehalten, welche Aufgaben für die Medienbildung entstehen. In vier Themenfeldern werden diese Ziele formuliert: Information und Wissen; Kommunikation und Kooperation; Identitätssuche und Orientierung; Digitale Wirklichkeiten und produktives Handeln (BMBF 2010). Einerseits werden hier aus der Medienpädagogik bekannte Formulierungen aufgegriffen, die mit den Digitalen Medien als integrierende Medien oder Multimedia weiterhin Bedeutung haben, andererseits werden aber auch neue Aufgaben formuliert, die mit der Neuartigkeit des Mediums entstehen. An dieser Stelle möchte ich insbesondere auf das vierte Themenfeld *Digitale Medien und produktives Handeln* eingehen. Dort heisst es in der Einleitung:

Mit der Verbreitung der Digitalen Medien haben immer mehr Lebens- und Arbeitsbereiche eine doppelte Existenz bekommen. Sie existieren in der stofflich-physikalischen Welt, haben aber auch eine Repräsentation in der digitalen Welt. Beide Welten sind kaum zu trennen. Mit den eingebetteten Systemen und dem Internet der Dinge wird sich diese Tendenz der Verzahnung der Wirklichkeitsebenen fortsetzen. Dies bedeutet, dass die spezifischen Zusammenhänge und Herstellungsweisen zwischen virtuellen und physikalischen Wirklichkeiten sowie die Rolle der automatisierten, verarbeitenden Prozesse in ihren Grundprinzipien verstanden werden müssen, um sich in beiden Wirklichkeiten und zwischen ihnen erfolgreich bewegen und handeln zu können, sowohl in der Lebens- wie auch in der Arbeitswelt. Das heisst auch, dass Aufgeschlossenheit und Beteiligung an Innovationen nur dadurch zu gewährleisten sind, dass Anwendungswissen mit Wissen über IT und Medien verknüpft werden kann. (BMBF 2019, 10)

Daraus folgt, dass informatischer Kompetenz, der Algorithmik, die hinter den modernen Interfaces liegt, eine zentrale Rolle in der Medienbildung zugewiesen wird. Das «Dahinter-Schauen» erledigt sich nicht von selbst und kann von Jugendlichen in der Breite nicht selbst angeeignet werden. Vielmehr braucht es organisierte Bildungsprozesse, um die Aufmerksamkeit auf das Medium, seine Eigenschaften und Arbeitsweisen zu richten. Es geht dabei nicht um schlichtes Nutzen, das heute in manchen Dimensionen zum Alltagswissen einer Reihe von Jugendlichen gehört.

(Übrigens gilt das schon nicht im Hinblick auf komplexere Anwendungssoftware, wie sie in Arbeitsprozessen genutzt wird). Es geht um das Verstehen dessen, was man selbst und was die «intelligenten» Dinge, die den Alltag bevölkern, tun.

Es ist hier nicht die Rede davon, den Computer als *Werkzeug* nutzen zu können im Sinne praktischen Medienhandelns, wie man Videoschnitt oder Kameraführung beherrschen muss. Vielmehr geht es darum, Digitale Medien in ihrer Entstehung und in ihrer Wirkung zu verstehen, um sich in der Welt zurecht zu finden, aber auch mitgestaltend und verantwortungsvoll zu partizipieren.

In den Digitalen Medien sind wesentliche Merkmale sowohl der postindustriellen Arbeitswelt als auch der Lebenswelt und der Kultur des 21. Jahrhunderts implementiert. Sie sind Ausdruck einer gigantischen Semiotisierung und Formalisierung materieller, sozialer, administrativer Prozesse und sie wirken wiederum in die Kultur hinein, indem sie über ihre interaktiven Potenziale menschliches Handeln evozieren, das sich einerseits in diese formalisierten und maschinisierten Prozesse einfügen muss, sie aber auch ergänzt und überschreitet. Dies verstehen zu lernen, indem die Genese Digitaler Medien in der Programmierung nachvollzogen wird, gehört zur Bildung in einer digital geprägten Kultur.

Nun haben sich jedoch diese Computermedien mit ihren intuitiv zu handhabenden Oberflächen dahin entwickelt, dass ihnen ihre Programmiertheit nicht mehr anzu-sehen ist. Das Ranking als Antwort auf die Google-Anfrage erscheint «natürlich» und gibt den Blick auf den Google-Algorithmus nicht frei. Und dennoch oder gerade deshalb besitzen die Digitalen Medien per se ein Bildungspotenzial, wie es bei keinem früheren Medium der Fall war. Sie öffnen einen konkreten, audiovisuellen, ja haptischen oder körperlichen Zugang und fordern zum handelnden Umgang auf – was von der Reformpädagogik (Montessori 1987, Lange 1966) über Piaget (1974) und den Konstruktivismus als der geeignete Zugang auch für komplexere Lernprozesse betrachtet wird. Gleichzeitig aber sind es höchst komplexe kognitive Prozesse, die hinter der Ebene des Handelns liegen. Auch dies lehren Montessori und Piaget: Das konkrete Handeln ist nicht per se der Schlüssel zu komplexem Lernen, sondern es muss in pädagogischen Kontexten auf eine Abstraktion hinweisen und der Modellbildung dienen. Hinter der Suchanfrage steht der Suchalgorithmus, hinter dem Rechtschreibprogramm liegen im Programm implementierte Regeln der Rechtschreibung, hinter dem mit dem 3D-Drucker erzeugten Produkt gibt es Modelle, die seine Entstehung bewirken. Computer gesteuerte Objekte können, wie Seymour Papert sagt, zu «things-to-think-with» werden (Papert 1980).

Die Idee der intuitiven und «kinderleicht» zu bedienenden Oberflächen ist es, den arbeitenden Menschen das Denken (in Regeln) in gewissem Umfang abzunehmen. Für das Lernen wäre dies fatal. Was also, wenn die Informatik daran arbeiten würde, Digitale Medien für das Lernen so zu konstruieren, dass sie einerseits den handlungsorientierten, körperlichen und bildhaften Zugang ermöglichen, gleichzeitig

aber darüber auch eine Darstellung der zugrunde liegenden Abstraktionen in Form des Computerprogramms auf neue Weise ermöglichen und den Zugang zur dahinter liegenden Modellbildung für Lernende öffnen? Eine Art Montessorimaterial also: eine Rechtschreibsoftware, bei der man sehen kann, welche Regeln für Rechtschreibung gelten; eine Suchmaschine, die zeigt, wie sie arbeitet, wenn sie sucht; ein 3D-Drucker, für den man das Modell selbst erzeugt (wie z. B. in FabLabs³). So kann sich das Medium, richtig eingesetzt, vom Rationalisierungs- zum Bildungsmedium verwandeln. Der Wechsel zwischen strukturiertem Vorgehen und Modellbildung einerseits, Learning-by-Doing und spielerischem Zugang gehören wesentlich zu Lernprozessen mit dem Medium.

Im Forschungszusammenhang der Arbeitsgruppe Digitale Medien in der Bildung (*dimeb*) entwickeln wir spezifische Hard- und Software für Bildungskontexte, die diesem Prinzip (wir nennen es *REDIB – Interaktionsdesign für reflexive Erfahrung im Bildungskontext*) folgen. Digitale Lernmedien werden so gestaltet, dass die Lernenden Einsicht in Modelle bekommen, die in der Software implementiert sind. Das kann – je nach Alter und Lernkontext – heissen, dass bloss Parameter geändert werden, um der Algorithmik auf die Spur zu kommen, das kann aber auch heissen, dass selbst programmiert wird, um «intelligente» Gegenstände herstellen zu können. Dafür haben wir eine einfach zugängliche grafische Programmierumgebung und Toolkits entwickelt, die dazu anregen.

Zwei Beispiele aus unserer Arbeit in der Arbeitsgruppe Digitale Medien in der Bildung sind der *Eduwear*-Koffer mit der *Programmierumgebung Amici* und die Installation *Der Schwarm*:

Im Rahmen eines europäischen Projekts haben wir das sog. Toolkit *Eduwear* entwickelt (Dittert et al. 2012). Es enthält einen Mikroprozessor (Arduino-Derivat *Li-liPad*), verschiedene Sensoren und Aktuatoren, leitfähiges Garn u. a. mehr. Man kann damit sogenannte «Wearables», smarte Kleidung und Fashion, aber auch Vieles mehr herstellen. Dazu haben wir eine Open-Source Programmierumgebung (*Amici* – download unter www.dimeb.de) entwickelt, die sowohl grafisches als auch textuelles Programmieren erlaubt. Anknüpfend an sportliche Interessen können Schüler/innen damit z. B. ein Artefakt, passend zu ihrer Lieblingssportart, etwa einen «intelligenten» Fussballschuh, bauen und programmieren (Dittert 2014). Indem sie ihre Sport-Medien selbst bauen und programmieren, eignen sie sich handelnd theoretische Konzepte aus der Bewegungslehre an, die die körperliche Bewegung durch ein mentales Modell stützen. Sie setzen sich z. B. mit der optimalen Stelle für den Aufprall des Balls oder mit der Stärke des Abpralls am Fuss auseinander.

3 FabLabs sind Werkstätten, in denen 3D-Drucker, Laser-Cutter und weitere Geräte und Materialien zu finden sind, und um die herum sich Communitys von «Makern» bilden; (Schelhowe 2013) zum Potenzial von FabLabs als Lernumgebungen.



Abb. 1.: Eduwear (eigene Darstellung).

Der Schwarm ist eine Installation, in der Schwarmverhalten nach dem Algorithmus von Craig Reynolds zur Steuerung des Verhaltens autonomer Charaktere (Reynolds 1999) modelliert und implementiert ist. Der Algorithmus entspringt dem Versuch, das Verhalten z. B. von Fischeschwärmen, die keiner zentralen Steuerung unterliegen und sich dennoch auf ein beobachtbar geregeltes Verhalten einpendeln, zu verstehen und nachzubauen. Der Schwarm aus Lichtpunkten in unserer Installation reagiert gleichzeitig auch auf Bewegungen eines menschlichen Akteurs, der die Projektionsfläche betritt. Die Lichtpunkte können Farbe, Aussehen und Verhalten ändern und Zutraulichkeit/Neugierde, Flucht oder Aggression symbolisieren, abhängig vom Verhalten des menschlichen Akteurs.

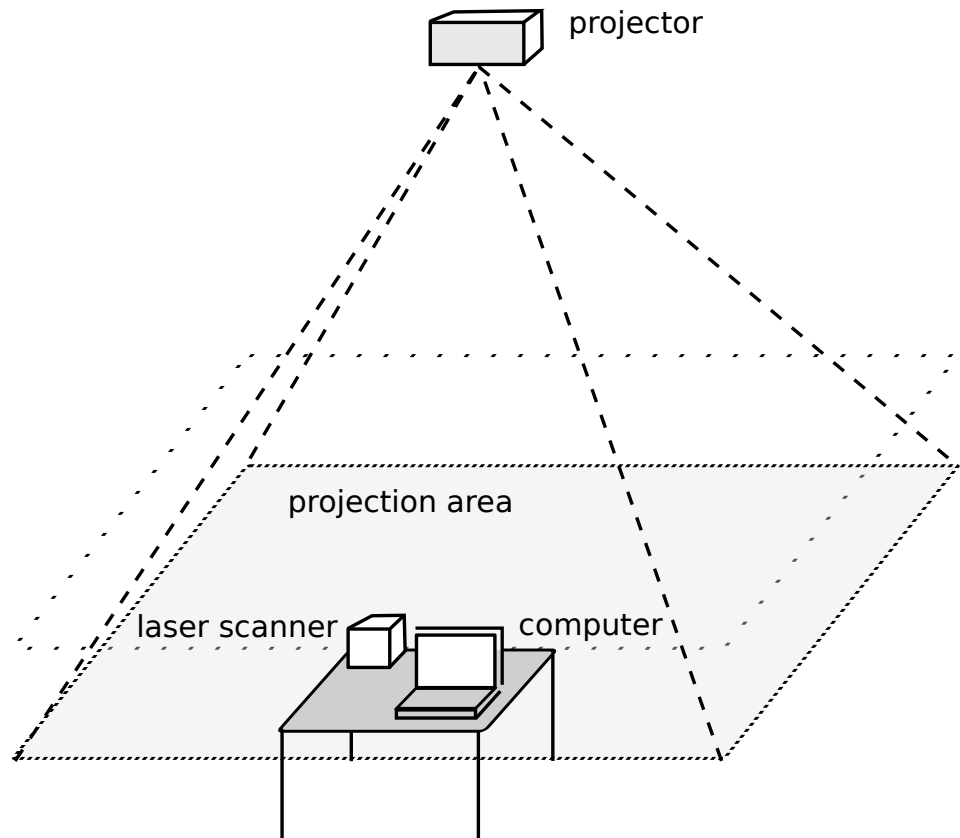


Abb. 2.: Der technische Aufbau «Der Schwarm» (eigene Darstellung).



Abb. 3.: Kinder interagieren mit dem Schwarm (eigene Darstellungen).

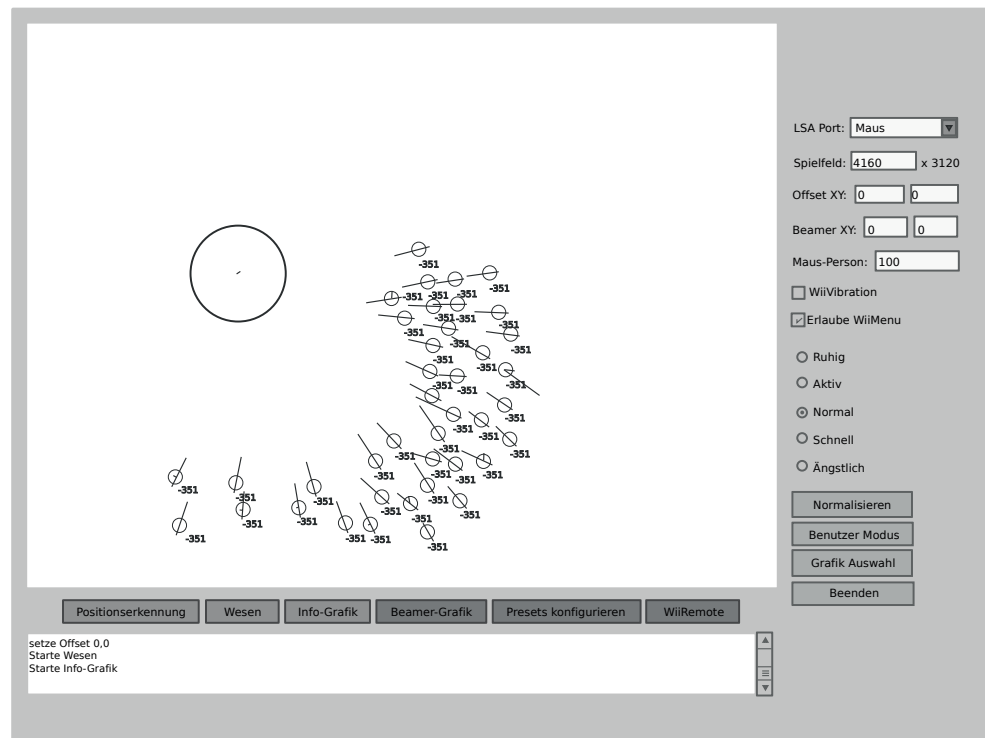


Abb. 4.: Administrationsoberfläche «Der Schwarm» (eigene Darstellung).

In Workshops, die wir dazu veranstaltet haben, tauchen die Kinder und Jugendlichen mit grosser Begeisterung in die Interaktion ein. Sie fangen aber auch rasch an Fragen zu entwickeln, wollen wissen, was hinter dem Schwarm steht. Wir haben für die Erkundung eine «Administrationsoberfläche» entwickelt, mit der die Akteure explorativ die Algorithmen des Schwarms erschliessen können. Über diese Administrationsoberfläche lassen sich Parameter wie Anzahl und Grösse der Lichtpunkte verändern sowie das Verhalten des Schwarms und der Grad z. B. von Zutraulichkeit oder Herdentrieb manipulieren. Die Veränderungen, die die Parametereinstellungen bewirken, können auf dem Bildschirm getestet, aber auch immer wieder auf der Projektionsfläche «erfahren» werden. Wir nutzen also die Möglichkeiten des Mediums Computer selbst, um über Simulation und Parametersteuerung, durch eigenes Handeln und Experimentieren, durch einen Wechsel von Immersion und Reflexion, «Diving In» und «Stepping Out» (Ackermann 1996), ein Begreifen der abstrakten Modelle dieses Schwarmverhaltens und komplexeres Lernen über die dahinter liegende Algorithmik zu fördern.

Mit dem Aufbau eines FabLab für Bremen, das sich insbesondere auch dem Bildungsgedanken verpflichtet, versuchen wir gegenwärtig, diesen Gedanken auch auf den 3D-Druck zu übertragen (Katterfeldt/Dittert/Schelhowe 2015).

Aufgaben der Informatik und was die Medienpädagogik von informatischer Bildung gewinnen kann

Als Susanne Bødker zu Beginn der 1990er Jahre ihrem Buch den Titel *Through the Interface* gab, hatte sie nicht das Sichtbarmachen der Vorgänge in der Maschine im Sinn. Ihre Publikation entstand vielmehr im Kontext des sogenannten *Scandinavian Approach* (Ehn/Kyng 1987), wo es darum ging, in Zusammenarbeit mit Gewerkschaften das Interface von Computern so «werkzeugartig» zu gestalten, dass hoch qualifizierte Arbeitende in die Lage versetzt werden, gewissermassen durch das Interface hindurch auf «Gegenstände» durchzugreifen und sie in der virtuellen Welt ebenso qualifiziert zu bearbeiten, wie sie es in der Welt des Stofflichen tun. Für die Arbeitswelt ist es wünschenswert, dass Mensch und Maschine zusammen arbeiten, die Maschine die stärker routinisierten und formalisierten Aufgaben erledigt, der Mensch seine Kreativität und feinsinnige Qualifikation einsetzt. Dabei darf und soll beim Arbeiten der Expert/in die Maschine ruhig – wie es auch für das Werkzeug gilt – aus dem Bewusstsein verschwinden und dem Arbeitsprozess selber Platz machen.

Für Lernen aber gilt es, viele der heute formalisierten Bereiche erst zu erfahren und zu erkunden, bekannte Modelle handelnd nachzuvollziehen und sich zu erschliessen, um modellhaft zu verstehen, wie die sächliche und soziale Umwelt, das Zusammenleben und gesellschaftliche Prozesse funktionieren. «Through the Interface» heisst hier gerade, zu den Prinzipien der Konstruktion der Digitalen Medien vorzudringen und diese zugänglich zu machen, so dass sie erfahrbar und begreifbar werden. Auf dieser Basis können sich dann auch spezifisch menschliche Kompetenzen, Kreativität und die Vorstellung von Selbstwirksamkeit, die sich auch auf die Weiterentwicklung von IT und Medien selber beziehen, entwickeln.

Mit Physical Computing und der Einbeziehung des gesamten Körpers in die Interaktion hat die Informatik heute Mittel geschaffen, die an Bildungsprozesse anknüpfen können mit der in der Pädagogik gesicherten Erkenntnis, dass Körper und Geist, Abstraktion und Sinnlichkeit, Denken und Handeln, Immersion und Reflexion zum Lernprozess dazu gehören. Die Informatik ist aufgefordert, solche Systeme aus Hardware, Software und geeigneten Interfaces zu entwickeln, die beides erlauben, nicht nur die Immersion fördern, sondern gleichzeitig auch das Denken und die Lust auf Abstraktionen wecken, indem der Zugang zu den hinter den IT-Prozessen liegenden Formalisierungen ermöglicht wird. Die technischen Möglichkeiten für beides sind heute vorhanden.

Medienbildung hatte als Medienerziehung in der Schule häufig einen faden Beigeschmack der Spassbremse, des erhobenen Zeigefingers und des von der Realität des jugendlichen Medienhandelns meilenweit entfernten abstrakten Geredes. Als praktische Medienarbeit, insbesondere in der Freizeitpädagogik, blieb es oft bei der Aussage, «es habe Spass gemacht», ohne dass klar war, was die jungen

Menschen – ausser dem Handling und der Produktion von Inhalten – über die Medien selbst lernen können. Mit einer Medienbildung, die informatische Bildung gleichberechtigt einbezieht und sich auf die informatische Gestaltung des Digitalen Mediums bezieht, könnte die Medienbildung einiges gewinnen: Sie macht wesentliche Prinzipien der digitalisierten Kultur im handelnden Umgang zwischen Immersion und Reflexion deutlich und sie entwickelt sich gleichzeitig zu einer Gestaltungswissenschaft, die die Welt nicht nur interpretiert, sondern sie auch mitverändert.

Literatur

- Ackermann, Edith. 1996. «Perspective-Taking and Object Constructon: Two Keys to Learning». In *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, hrsg. v. Yasmin Kafai und Mitchel Resnick. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 25–35.
- Baacke, Dieter. 1999. «Medienkompetenz als zentrales Operationsfeld von Projekten». In *Handbuch Medien: Medienkompetenz, Modelle und Projekte*, hrsg. v. Dieter Baacke, Susanne Kornblum, Jürgen Lauffer, Lothar Mikos und Günther A. Thiele, 31–35. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung.
- Bahr, Hans-Dieter. 1983. *Über den Umgang mit Maschinen*. Tübingen: Konkursbuchverlag.
- Bauer, Friedrich L., und Gerhard Goos. 1991. *Informatik. Eine einführende Übersicht*. 4. Aufl. Berlin: Springer.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung, Hrsg. 2010. «Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur. Medienbildung für die Persönlichkeitsentwicklung, für die gesellschaftliche Teilhabe und für die Entwicklung von Ausbildungs- und Erwerbsfähigkeit». http://www.dlr.de/pt/Portaldaten/45/Resources/a_dokumente/bildungsforschung/Medienbildung_Broschuere_2010.pdf.
- Bødker, Susanne. 1991. *Through the Interface: A Human Activity Approach to User Interface Design*. Mahwah, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Ass.
- Brauer, Wilfried, und Ute Bauer. 1995. «Informatik – das neue Paradigma. Änderungen von Forschungszielen und Denkgewohnheiten der Informatik». *LogIn* 15 (4): 25–29.
- Breier, Norbert, et al. 2011. «Memorandum für eine verpflichtende informatische Bildung und Medienbildung». <https://www.ew.uni-hamburg.de/ueber-die-fakultaet/personen/breier/files/memorandum-pdf.pdf>.
- Dittert, Nadine, Eva-Sophie Katterfeldt, und Heidi Schelhowe. 2012. «Die EduWear-Umgebung – Wearables konstruierend be-greifen». *i-com* 11 (2): 37–43.
- 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 (NordiCHI 14)*. ACM, New York, NY, USA, 569-577. doi:10.1145/2639189.2639202.
- Ehn, Pelle, und Morton Kyng. 1987. «The Collective Resource Approach to Systems Design». In *Computers and Democracy – a Scandinavian Challenge* Aldershot, hrsg. v. G. Bjerknes, P. Ehn, und M. Kyng. UK: Avebury, 17–58.
- Gabriel, Sigmar. 2014. «Wirtschaftsminister Gabriel für Programmiersprachen als Schulfach». <http://www.presseportal.de/pm/30621/2839153>.

- GI-Gesellschaft für Informatik. 1999. «Empfehlung der Gesellschaft für Informatik e.V. erarbeitet von einem Arbeitskreis des Fachausschusses «Informatische Bildung in Schulen» (7.3)». <https://www.gi.de/presse/pressemitteilungen-thematisch/informatische-bildung-und-medienerziehung.html>.
- GI-Gesellschaft für Informatik. 2000a. «Digitale Spaltung verhindern – Schulinformatik stärken!» https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/Download/memorandum_schulinformatik040921.pdf.
- GI-Gesellschaft für Informatik. 2000b. «Empfehlungen für ein Gesamtkonzept zur informatischen Bildung an allgemein bildenden Schulen. Erarbeitet vom Fachausschuss 7.3 «Informatische Bildung in Schulen» der Gesellschaft für Informatik e. V.». https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/empfehlungen/gesamtkonzept_26_9_2000.pdf.
- GI-Positionspapier. 2005. «Was ist Informatik» <https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/Download/was-ist-informatik-kurz.pdf>.
- GI-Dagstuhl-Seminar 2015: «Erklärung zur Informatischen Bildung in der Schule». *Informatik-Spektrum* 38.3 (Juni): 244–245.
- Hutchins, Edwin L., James D. Hollan, und Donald A. Norman. 1986. «Direct Manipulation Interfaces». In *User Centered System Design*, hrsg. v. Donald A. Norman und Stephen W. Draper, 87–124. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- 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. doi:10.1016/j.ijcci.2015.08.001.
- Lange, Wichard (Hrsg.) 1966. *Friedrich Fröbels gesammelte pädagogische Schriften. Erste Abteilung: Friedrich Fröbel in seiner Entwicklung als Mensch und Pädagoge. Bd 1: Aus Fröbels Leben und erstem Streben. Autobiographie und kleinere Schriften*. Berlin 1862. Faksimiledruck Osnabrück.
- Manovich, Lev. 2001. *The Language of New Media*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Marx, Karl. 1975. *Das Kapital: Kritik der politischen Ökonomie*. Erster Band. Marx/Engels Werke Bd 23. (Original 1890), Berlin: Dietz.
- Montessori, Maria. 1987. *Schule des Kindes: Montessori-Erziehung in der Grundschule*, hrsg. v. P. Oswald und G. Schulz-Benesch. 2., durchges. Aufl. Freiburg: Herder.
- Murray, Janet H. 2003 «Inventing the Medium». In *The New Media Reader*, Wardrip-Fruin; Montfort, Nick. Cambridge, Mass.; London, Engl: The MIT Press, 3-12.
- Nake, Frieder. 1992: «Informatik und die Maschinisierung von Kopfarbeit». In *Sichtweisen der Informatik*, hrsg. v. Wolfgang Coy, Fieder Nake, Jörg-Martin Pflüger, Arno Rolf, Jürgen Seetzen, Dirk Siefkes und Reinhard Stransfeld. Braunschweig: Vieweg. 181–201.
- Papert, Seymour. 1980. *Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic books.
- Petri, Carl Adam. 1962. *Kommunikation mit Automaten*. Dissertation Darmstadt.
- Piaget, Jean. 1974. *Theorien und Methoden der modernen Erziehung*. Frankfurt a.M.: Fischer.
- Reiter, Anton. 2015. «Medienbildung und informatische Bildung». *Medienimpulse - Beiträge zur Medienpädagogik* 2, 21.6.2015 <http://medienimpulse.at/articles/view/795>.
- Reynolds, Craig W. 1999. «Steering Behaviors for Autonomous Characters». In *Proceedings of the Computer Game Developers Conference*. San Francisco, CA: Miller Freeman Game Group, 763–782.

- Schelhowe, Heidi, und Annemarie Hauf-Tulodziecki. 1998. «Informatische Bildung als Medienerziehung?» In *Informatik und Ausbildung. Proceedings der GI-Fachtagung*, hrsg. v. Volker Claus. Stuttgart: Springer. 279–281.
- Schelhowe, Heidi. 1997. *Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers*. Frankfurt: Campus.
- Schelhowe, Heidi. 2011. «Interaktionsdesign: Wie werden Digitale Medien zu Bildungsmedien? Neue Fragestellungen der Medienpädagogik». *Zeitschrift für Pädagogik* 3 (Mai/Juni): 350–362.
- Schelhowe, Heidi. 2013. «Digital Realities, Physical Action and Deep Learning. FabLabs as Educational Environments?» In *FabLabs. Shape your World*, hrsg. v. Corinne Büching und Julia Walter-Herrmann. Bielefeld: transcript 2013.
- Sesink, Werner, Michael Kerres, und Heinz Moser, Hrsg. 2007. *Jahrbuch Medienpädagogik 6.: Medienpädagogik – Standortbestimmung einer erziehungswissenschaftlichen Disziplin*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Shneiderman, Ben. 1982. «The Future of Interactive Systems and the Emergence of Direct Manipulation». *Behaviour and Information Technology* 1 (3): 237–256. doi:10.1080/01449298208914450.
- Spanhel, Dieter. 2010. «Entwicklung und Erziehung unter den Bedingungen von Medialität». In *Mensch und Medien*, hrsg. v. Manuela Pietraß und Rüdiger Funiok, 65–89. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Walter-Herrmann, Julia, und Corinne Büching, Hrsg. 2013. *FabLab – Of Machines, Makers and Inventors*, Bielefeld: transcript.
- Wegner, Peter. 1997. «Why Interaction is More Powerful than Algorithms». *CACM* May, Vol. 40, No.5, 81-91. doi:10.1145/253769.253801.
- Zuse, Konrad. 1993. *Der Computer – Mein Lebenswerk*. 3. Aufl. Berlin: Springer.

Abbildungen

Abb. 1.: Eduwear (eigene Darstellung).

Abb. 2.: Der technische Aufbau «Der Schwarm» (eigene Darstellung).

Abb. 3.: Kinder interagieren mit dem Schwarm (eigene Darstellungen).

Abb. 4.: Administrationsoberfläche «Der Schwarm» (eigene Darstellung).