

Design von Interaktionsräumen für reflexive Erfahrung – Wie werden im Digitalen Medium implementierte Modelle erfahr- und verstehbar

*Bardo Herzig/Heidi Schelhowe/Bernard Robben/Tilman-Mathies Klar/Sandra
Aßmann*

Abstract

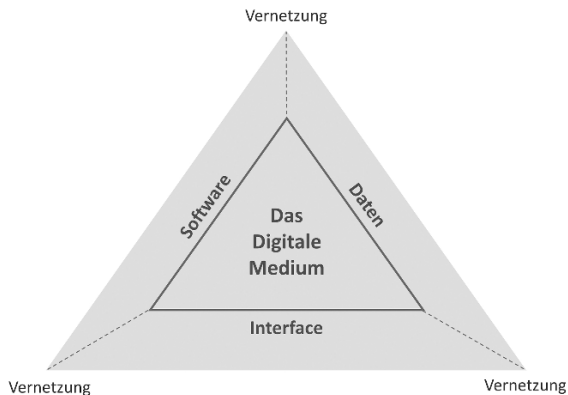
Zentrales Anliegen dieses Beitrages ist es aufzuzeigen, welche Aspekte bei der Gestaltung Digitaler Medien berücksichtigt werden müssen, damit sie als interaktive Bildungsmedien einen Zugang zu den in der Software implementierten Modellen – und den damit verbundenen fachlichen Modellen – ermöglichen. Gleichzeitig sollen Einsichten in abstrakte Prinzipien wie Formalisierung, Algorithmisierung, oder automatische Prozessierbarkeit geschaffen werden können. Am Beispiel einer interaktiven Installation mit einem hohen Aufforderungscharakter zur körperlich-sinnlichen Erfahrung wird demonstriert, wie dieses Ziel über die Reflexion der Erfahrungen im Interaktionsraum und über den experimentellen Umgang mit Parametern verfolgt werden kann. Zusammenfassend werden erste Prinzipien für ein Design für reflexive Erfahrung formuliert.

1. Interaktion mit Digitalen Medien¹

Die Nutzung von Digitalen Medien geschieht im Alltag oder auch in beruflichen Kontexten in der Regel über Schnittstellen, die bei der Nutzung eine – möglichst intuitive und ohne spezifische zusätzliche technische oder informatische Kenntnisse zugängliche – meist zeichenbasierte Steuerung ermöglichen. Dies bedeutet, dass das Medium einen relativ konkreten Umgang trotz der dahinterliegenden Modelle und Abstraktionen erlaubt. So sollte beispielsweise die Benutzungsschnittstelle eines Navigationssystems so gestaltet sein, dass eine einfache Eingabe von Startpunkt, Zielort und ggf. weiteren Wegoptionen wie die Ver-

1 ‚Digital‘ wird in diesem Artikel bei der Verwendung des Ausdrucks Digitale Medien großgeschrieben, weil er als feststehender Begriff und ‚digital‘ nicht als beschreibendes Adjektiv verstanden wird.

meidung von Mautstrecken möglich ist. Im Sinne der Usability ist eine solche Gestaltung mehr als hilfreich, ja sogar notwendig, um eine funktionsgerechte Nutzung zu gewährleisten und zu erleichtern (vgl. z. B. Nielsen 1994, sowie die einschlägigen Normen DIN EN ISO 9241). Das Digitale Medium vermittelt den Eindruck des direkten Zugriffs auf die repräsentierten Objekte. Dadurch gerät das Modell, das in der Software implementiert ist, ebenso in den Hintergrund wie die von der Maschine verarbeiteten Daten² (vgl. Darstellung 1).



Darstellung 1: Das Digitale Medium

Das Interface erfordert also nicht die Beschäftigung mit den „Über-setzungen“ (vgl. Robben 2006) vom Wirklichkeitsbereich über formale Modelle hin zum Programm und wieder zurück, sondern „nur“ mit den konkreten Ausprägungen, die auf dem Interface erscheinen und die interaktiv manipuliert werden können (vgl. hierzu auch die semiotische Analyse der Übersetzungen vom Interface zum Programmcode von van den Boomen 2014: 37ff.). Hierin offenbart sich der „doppelte Charakter“ des Computers (Schelhowe 2011: 352): Auf der einen Seite (der Seite der Programmierung) erzwingt er eine Formalisierung, die schließlich im Binärcode mündet, auf der anderen Seite bringt er „die Welt der Bilder und Töne, ja selbst des Haptischen und der Körperbewegung, das konkret Erfahrbare wieder in die Zeichenwelt zurück“ (ebd.: 353). In der alltäglichen

2 Der Einfachheit halber wird an dieser Stelle von der Verarbeitung von Daten gesprochen. (Zur Charakterisierung des Computers als informationsverarbeitende oder semiotische Maschine vgl. z. B. Nadin 1988; Nake 1993; Herzig 2012.)

Nutzung nimmt man die hinter dem Interface liegenden abstrakten Modelle nicht wahr. Der Computer wird zum Medium, zum „bloßen“ Mittler, durch den „in kommunikativen Zusammenhängen potenzielle Zeichen mit Hilfe von technischer Unterstützung aufgenommen bzw. erzeugt und übertragen, gespeichert, wiedergegeben oder verarbeitet und in abbildhafter oder symbolischer Form präsentiert werden“ (Tulodziecki et al. 2010: 31). Unter dem Stichwort der Mediatisierung³ wird diese Form der Interaktion als gesellschaftlicher Transformationsprozess charakterisiert, der inzwischen einen Grad erreicht hat, „der kaum noch Raum für medien- und kommunikationsfreie Räume lässt“ (Steinmaurer 2016: 16). In zum Teil synonyme Bedeutung wird mit dem Begriff der Digitalisierung auf eben diese Phänomene hingewiesen. Strenggenommen ist damit aber zunächst der technische Prozess der Wandlung von analogen in digitale Signale mit dem Zweck der Speicherung und vor allem der (Weiter-)Verarbeitung angesprochen (vgl. z. B. Müller 2015) – und damit vom Computer als Maschine. Die Kopplung von interpretativen Prozessen und sozialen Praktiken auf der einen Seite (der Nutzung) und maschinellen Prozessen auf der anderen Seite geschieht mit dem Ziel, Interaktionsprozesse alltagstauglich und „barrierefrei“ zu gestalten. Nicht nur die maschinellen Prozesse, sondern die Kopplung im Blick zu haben, stellt sich als die Aufgabe dar, die heute innerhalb der Informatik immer mehr an Bedeutung gewinnt und eine zentrale Rolle bekommt (vgl. z. B. Norman 2013; Winograd 1996, 1997). Aus der Sicht des Alltagshandelns und des Handelns in der Arbeitswelt ist dies mehr als plausibel und anders wären die genannten Transformationsprozesse auch nicht möglich gewesen. Das allmähliche Verschwinden des maschinellen Charakters des Mediums wäre unproblematisch, ja geradezu förderlich, solange es „nur“ um die funktionale oder werkzeugartige Nutzung geht. Auf der anderen Seite aber ist mit der Digitalisierung eine „Kultur“ verbunden und es ist fragwürdig, wenn die hinter den Interfaces liegenden Modellierungsprozesse und algorithmischen Prozesse ganz aus dem Wahrnehmungshorizont geraten. Denn aus der Perspektive der Autonomie des Menschen gegenüber den Maschinen werden die Undurchschaubarkeit und die Abhängigkeit von großen Konzernen, die das Informations- und Kommunikationsangebot zunehmend strukturieren und bestimmen, zum Problem. Bildung kann sich heute nicht auf Bedienungs- und Nutzungsaspekte digitaler Medien beschränken (vgl. auch GI 2016). (Medien-)Bildung heute muss

3 Wir unterscheiden hier nicht zwischen Mediatisierung und Medialisierung und verstehen Mediatisierung – in der Argumentation von Andreas Hepp – als „Konzept, um die Wechselbeziehung zwischen medienkommunikativem und soziokulturellem Wandel kritisch zu analysieren“ (2014: 190).

darauf zielen, Prozesse der Modellierung, der Formalisierung und Algorithmisierung nicht nur mittelbar „in Anspruch zu nehmen“, sondern auch in ihrer Bedeutung und ihren Grundzügen zu verstehen. Wenn Digitale Medien in so vielfältiger Weise in das anthropologische Grundverhältnis des Menschen – zu sich selbst, zu seiner dinglichen und seiner sozialen Umwelt – eingreifen (vgl. hierzu auch Aßmann et al. 2016), dann ist eine selbstbestimmte, sachgerechte, kreative und sozialverantwortliche Lebensführung auch davon abhängig, inwieweit grundlegende Prinzipien oder fundamentale informatische Ideen durchschaut und eingeschätzt und/oder für eigene Gestaltungen genutzt werden können (vgl. Herzig 2012: 229ff.; Herzig 2016; Schubert/Schwill 2011: 66ff.). Dies gilt umso mehr als „Programme, die der Welt des Semiotischen, der Zeichen angehören, (...) direkt und ohne menschliche Vermittlung auf die physikalische Realität [wirken]“ (Schelhowe 2006: 7). Software nimmt Einfluss auf unsere Lebenswelt, ohne dass es der vermittelnden Instanz des Menschen bedarf. Software und Daten müssen heute in den Fokus von Bildung rücken. Indem der Computer zum Medium wird, geht es nicht nur darum, möglichst rasch eine Aufgabe zu erledigen, sondern auch darum, eine ganzheitliche Erfahrung (experience) zu ermöglichen, zu der auch „Verstehen“ gehört:

„(...) as users we often want to be aware of the medium in order to understand the experience that is staging for us (...) we must also render the media visible to and reflective for the user. Making digital artifacts requires both perspectives (...)“ (Bolter/Gromala 2003: 5f.).

Im Bildungskontext gilt dies besonders. Das Medium bzw. die im Medium implementierten Modelle dürfen nicht völlig unsichtbar sein. Lernende müssen sich bewusst werden, dass sie mit und im Medium interagieren, wenn sie im Medium Erfahrungen mit dem Lerngegenstand machen.

2. Interaktionsräume

Die Art und Weise der Interaktion zwischen Mensch und Digitalem Medium hat sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte deutlich verändert. Während zunächst die Steuerung über Tastaturen als Eingabegeräte mit Hilfe von textuellen Codes als Befehle in einer Kommandosprache erfolgte, wurde mit der grafischen Benutzungsoberfläche (GUI, graphical user interface) die Idee der Direkten Manipulation realisiert, mit der das Gefühl vermittelt wird, man könne mit den repräsentierten Objekten unmittelbar agieren („*Ich* bewege den Ordner“) (vgl. Schelhowe 2007). Mit der Entwicklung von gestenbasierten Eingabemöglichkeiten erfolgte

schließlich eine Loslösung vom Bildschirm, der gesamte Körper kann in die Interaktion einbezogen werden (vgl. z. B. Kaerlein 2015: 146ff.). Mit Datenhandschuhen, Videokameras oder Sensoren, die das Erfassen von freien Bewegungen im (Interaktions-)Raum erlauben, wird „das semiotische Potenzial der Geste für die HCI [Human Computer Interaction, d. V.] erschlossen“ (ebd.: 146). Die Loslösung vom Bildschirm bedeutet auch die Überwindung der Begrenzung der Interaktion auf Auge und Hand und die Aufhebung der strengen Trennung zwischen Eingabe und Ausgabe:

„Unsere Hand, unser Kopf oder (...) sogar unser ganzer Körper agieren spontan und können dennoch mit dem formalen Prozess der Maschine zusammenwirken, die Interaktion wird mit den neuen Interfaces für den Menschen zunehmend körperlicher, unmittelbarer, intuitiver, eine ‚Embodied Interaction‘“ (Schelhowe 2011: 353; vgl. auch Dourish 2001).

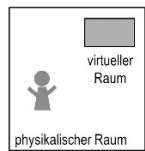
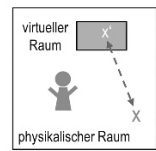
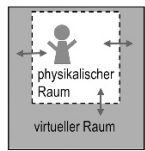
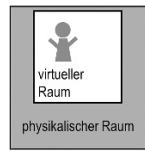
Mit der gesten- und körperbasierten Interaktion zwischen Mensch und Maschine verschiebt sich der Fokus der Aufmerksamkeit stärker auf den Raum. Schon in der ‚klassischen‘ Form der Interaktion mit einer Desktop-Anwendung kann zwischen einem physikalischen⁴ (realen) Raum – beispielsweise das Büro, in dem sich der Computer befindet – und dem virtuellen Raum – beispielsweise die Simulation eines Büroarbeitsplatzes durch die Software und ihre grafische Darstellung auf dem Bildschirm – unterschieden werden. Das Kontinuum zwischen realen und virtuellen Lernumgebungen wird u. a. durch unterschiedliche Konstellationen von physikalischem und virtuellem Raum geprägt. Wulf Halbach unterscheidet zwischen Desktop-Systemen, auf denen die virtuelle Welt auf dem Monitor dargestellt wird, und Immersionssystemen, „die den Benutzer in die dargestellte Welt eintauchen lassen, so dass seine Perspektive eine innerhalb der angebotenen Wirklichkeit wird“ (1994: 202). Mit Bezug auf Paul Milgram und Kollegen (1995) sehen Mario Gutierrez, Daniel Thalmann und Frédéric Vexo *Real Environment* und *Virtual Reality* als Pole eines Kontinuums, auf dem sich *Augmented Reality* und *Augmented Virtuality* als Mischformen (*Mixed Reality*) ansiedeln lassen (vgl. 2008: 7; vgl. Darstellung 2). Die Unterscheidung wird in der Regel über die Konzepte der Immersion und der Präsenz vorgenommen. Der Grad von Immersion hängt davon ab, „how much the user can perceive (see, hear, touch) the real world during the simulation“ (ebd.: 2). Mit Präsenz wird das Bewusstsein bzw. das damit verbundene Gefühl beschrieben, sich in einer virtuellen Welt zu befinden, d. h. es handelt sich um eine subjektive

4 Die Bezeichnung des ohne Digitale Medien unmittelbar erfahrbaren Raumes als physikalischer Raum wird hier der Einfachheit halber verwendet. Je nach Raumauffassung könnte auch der abstrakte geometrische, der topologische oder der erlebte Raum adressiert werden (vgl. dazu Robben 2014; Döring/Thielmann 2009).

Kategorie: „Presence is when multimodal simulations (images, sound, haptic feedback, etc.) are processed by the brain and understood as a coherent environment in which we can perform some activities and interact“ (ebd.: 3).

Die verschiedenen Arten von Systemen lassen sich in Bezug auf einzelne Merkmale mit jeweils charakteristischen Ausprägungen analytisch unterscheiden – wenn auch die Zuordnung von konkreten Anwendungen nicht immer eindeutig möglich ist (vgl. Darstellung 2). In der klassischen Desktop-Anwendung sind physikalischer Raum und virtueller Raum entkoppelt. Der Nutzer nimmt die physikalische Umgebung durchgehend wahr und die Darstellung des virtuellen Raumes evoziert keine explizit immersiven Sinnesqualitäten (wenngleich die Agierenden in ihrer Aufmerksamkeit gebunden sein können). Im Fall der Augmented Reality sind virtueller Raum und physikalischer Raum eng und direkt miteinander gekoppelt. Der physikalische Raum wird durch digitale Objekte angereichert, z. B. durch das Scannen eines Ankergegenstands im physikalischen Raum mit Hilfe einer Kamera in einer Datenbrille oder in einem mobilen Endgerät und der Projektion damit gekoppelter digitaler Objekte. Je nach konkreter Anwendung wird die Wahrnehmung des physikalischen Raumes durch die digitalen Objekte (virtueller Raum) überlagert (z. B. bei einer Datenbrille), so dass auch ein teil-immersiver Eindruck entstehen kann. Dieser wird deutlich stärker, wenn der virtuelle Raum den Nutzer – z. B. durch großflächige Projektionswände – umgibt und die Interaktion mit realen Gegenständen – z. B. ein Steuerelement in einem Cockpit – auf den virtuellen Raum zurückwirkt. Insofern sind auch in diesem Falle von Augmented Reality physikalischer und virtueller Raum miteinander gekoppelt, indem der virtuelle Raum und der physikalische Raum einen inhaltlich kohärenten und sinnstiftenden Interaktionsraum bilden. Eine vollständige Immersion kann schließlich in solchen Systemen erzielt werden, in denen über die Sinnesorgane nur noch eine Wahrnehmung des virtuellen Raumes möglich ist: Die im physikalischen Raum erlebbaren Sinneseindrücke (z. B. Druckempfinden) werden im virtuellen Raum simuliert (Force-Feedback, Touch-Feedback) und auch die visuelle Wahrnehmung ist auf den virtuellen Raum begrenzt (z. B. durch ein head-mounted display). Insofern sind physikalischer und virtueller Raum getrennt, wenngleich Rückwirkungen möglich sind, z. B. wenn eine Nutzerin oder ein Nutzer eine Bewegung – orientiert an Sinneseindrücken im virtuellen Raum – ausführt und dabei im physikalischen Raum das Gleichgewicht verliert. In Virtual Reality-Systemen kann der gesamte Körper als Element der Interaktion fungieren und die körperliche Bewegung stellt zusammen mit der Erfahrung einen wesentlichen Aspekt von Bedeutungskonstruktion dar: „Embodied Interaction is the

creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artifacts“ (Dourish 2001: 126).

Reality-Virtuality-Kontinuum				
	Real Environment	Augmented Reality	Augmented Virtuality	Virtual Reality
Beispiel	Desktop-Simulationssoftware	Konstruktionsanleitung für Maschinen (über Datenbrille)	Flug- oder Fahr-simulator	Virtuelles Museum, Unterhaltungsspiele
Eingabe / Steuerung	Mouse, Tastatur, Touchscreen	Touchscreen (Smartphone, Tablet), Touchpad	Controller, Sensoren, Gesten, Steuergeräte (z.B. Steuerknüppel im Cockpit)	Sensoren, Datenhandschuh, Tracking-Systeme, Gesten, Körperbewegung
Ausgabe	Bildschirm / Monitor	Display (Smartphone, Tablet), Datenbrille	z.B. CAVE-System (CAVE Automatic Virtual Environment) (Projektionswände)	z.B. Head-mounted Display, Datenhandschuh (Force-Feedback, Touch-Feedback)
Immersion	nicht-immersiv	teil-immersiv	teil-immersiv / voll-immersiv	voll-immersiv
Interaktionsraum	 <p>Trennung</p>	 <p>direkte Kopplung</p>	 <p>indirekte Kopplung</p>	 <p>Trennung</p>

Darstellung 2: Reality-Virtuality-Kontinuum (Terminologie in Anlehnung an Gutierrez 2008: 7)

Virtuelle Umgebungen werden für verschiedene Kontexte entwickelt und mit verschiedenen Zielstellungen eingesetzt, insbesondere für Spiel und Unterhaltung sowie für Information und Lernen. Die virtuelle Umgebung hat dabei häufig eine instrumentelle Funktion, z. B. bei der Einblendung von Konstruktionszeichnungen oder Schaltplänen in einer Augmented Reality-Anwendung, wenn es darum geht, diese zusätzlichen Informationen für die Reparatur einer Maschine zu nutzen. Ebenso geht es in einem Flugsimulator darum, im simulierten Raum sanktionsfrei spezifische Kompetenzen in der Steuerung eines Flugzeuges zu entwickeln, wobei das Digitale Medium in diesem Falle eine möglichst abbildhaft-realgetreue Darstellung von Umweltbedingungen ermöglicht und damit gleichzeitig die Handlungssituation im Interaktionsraum von möglichen schwerwiegenden, durch fehlende Kompetenzen bedingte Folgen entlastet. In all diesen Fällen werden die dem Digitalen Medium zugrundeliegenden Modelle

– aus guten Gründen – nicht reflektiert. Aus der Perspektive der Medienbildung gewinnt aber gerade diese Einsicht in zugrundeliegende Modelle und in grundlegende abstrakte Prinzipien wie Formalisierung, Algorithmisierung und automatische Prozessierbarkeit große Bedeutung. Am Beispiel von Simulationen wird im Folgenden diskutiert, wie eine solche bildende Auseinandersetzung mit Digitalen Medien durch die Gestaltung von Interaktionsräumen erreicht werden kann.

3. Simulation, Interaktion und Lernen

Der Begriff der Simulation wird in unterschiedlichen Disziplinen nicht einheitlich benutzt. Computersimulationen werden folgendermaßen charakterisiert: „Computer simulation is the discipline of designing a model of an actual or theoretical physical system, executing the model on a digital computer, and analyzing the execution output“ (Fishwick 1995: 1). Im Kontext Digitaler Medien definiert Lev Manovich Simulation als eine wesentliche Eigenschaft des Computers als Metamedium, der die „general ability to simulate all kinds of processes and systems“ besitzt (2013: 104). In diesem Sinne kann eine Simulation verstanden werden als „compact representation of a real phenomenon which can generate a behaviour comparable with some behaviour of interest in the real system“ (Elsas et al. 1986, zit. n. Szczerbicka/Uthmann 2000: 3). Zentraler Bestandteil von Simulationen sind also die Modelle, in denen die simulierten Prozesse oder Systeme als semiotisches Produkt formal beschrieben sind. Eine wesentliche Aufgabe der Informatik im Rahmen der Softwareentwicklung besteht darin, maschinell ausführbare Modelle zu entwickeln, d. h. semiotische Produkte in die Form von Algorithmen und Programmen zu überführen, die maschinell verarbeitet werden können (vgl. Kastens/Kleine Büning 2014). Als Gegenstandsbereiche kommen sowohl „Sachverhalte, die einer vom Menschen geschaffenen Welt entstammen (Bürovorgänge, Fahrzeugströme an Kreuzungen, Bibliothekssysteme)“ in Frage (Schubert/Schwill 2011: 136), als auch natürliche Prozesse wie z. B. das Verhalten von biologischen Systemen (s. u.). Simulationen sind mit dem Ziel des Erkenntnis- oder Kompetenzerwerbs verbunden. Dies kann die Analyse des Verhaltens komplexer Systeme unter verschiedenen Bedingungen sein, die Prüfung oder Generierung von Hypothesen oder auch der Wissenserwerb über ein künstliches oder reales System.

Als Beispiel einer Simulation natürlicher Systeme kann die Simulation von Schwärmen dienen, wie sie z. B. als Vogel- oder Fischeschwärme in der Natur

vorkommen. Die Bewegungen der Schwarmindividuen können mithilfe einfacher fester Regeln simuliert werden. Einen Algorithmus zur Beschreibung von Schwärmen in Anlehnung an Vogelschwärme hat Craig W. Reynolds (1987) mit dem sog. Boids-Algorithmus entwickelt: Jedem Individuum im Schwarm (das sog. Boid) werden Verhaltensregeln mitgegeben, die sein Verhalten bestimmen: Separation, Kohäsion und Ausrichtung. Über die Separation wird ein Mindestabstand zu anderen Individuen zur Vermeidung von Kollisionen sichergestellt. Die Kohäsionsregel steuert, dass die einzelnen Individuen sich in der Nähe zu anderen Schwarmindividuen bewegen und dass jedes Boid so seinen Platz im Schwarm – in Nähe zu den anderen – beibehält. Die Ausrichtung reguliert eine Orientierung der Boids aneinander in Bezug auf Geschwindigkeit und Richtung. Mithilfe der von Reynolds formulierten Boids-Regeln lassen sich die makroskopischen Eigenschaften, in diesem Fall die Bewegung eines Schwarms, simulieren. Die Regeln geben jedoch keine Auskunft darüber, in welcher Art und Weise die Kommunikation der Schwarmindividuen untereinander in der Natur funktioniert. Die hier eingesetzte Simulation hat nicht den Anspruch die Kommunikation der Schwarmindividuen untereinander zu simulieren, welche derzeit noch ein Forschungsdesiderat darstellt: „Describing general ‚macroscopic‘ properties, such as the speed or direction of behavioral waves, is relatively straightforward. Revealing the nature of social interactions by which information propagates among individuals, however, has proven much more difficult“ (Rosenthal et al. 2015: 4690).

Detlev Leutner (2001) unterscheidet mit Prozesssimulationen, simulierten Experimenten, simulierten Planspielen und Mikrowelten vier Typen von Simulationen unterschiedlicher Realitätsnähe, Komplexitätsgrade und Offenheit. Mit solchen Simulationen sind Lernziele auf verschiedenen Ebenen verbunden, z. B. der Erwerb von Systemwissen bzw. konzeptuellem Wissen (über Systemvariablen und ihre Beziehungen) oder von Steuerungswissen zur zielgerechten Steuerung des Systems (vgl. 172f.). Darüber hinaus können durch die Auseinandersetzung mit Computersimulationen domänenunspezifische Kompetenzen wie Selbstregulationsfähigkeit (vgl. Wirth/Leutner 2006), Problemlösefähigkeit (vgl. Grafe 2008) oder strategisches Lernen (vgl. Borgenheimer 2014) gefördert werden. Simulationen dieser Art sind – mit Ausnahme der Mikrowelten – in der Regel desktopbasierte Systeme (vgl. Darstellung 2), in denen eine Interaktion über Direkte Manipulation erfolgt, indem z. B. Parameter von einzelnen Systemvariablen verändert und in ihren Aus- und Rückwirkungen auf das System beobachtet werden können.

Lerntheoretisch ist damit die Annahme verbunden, dass sich über die Nutzung von Simulationen mentale Modelle als kognitive Repräsentationen des simulierten Wirklichkeitsbereiches ausbilden, verändern oder ausdifferenzieren. Diese enthalten neben den zentralen Variablen und den damit verbundenen Systemelementen insbesondere auch Informationen über deren wechselseitige Beziehung. Didaktisch bieten Simulationen den Vorteil, dass sie die hypothesengeleitete Erschließung solcher Zusammenhänge unterstützen und folgen damit einem konstruktivistischen Verständnis von Lernen. Zugänge zur Auseinandersetzung mit Simulationen werden in diesem Lernverständnis häufig über spezifische lernprozessanregende Aufgaben geschaffen. Merkmale solcher Aufgaben sind Vorstellungs- und Erfahrungsbezüge (der Lernenden), hinreichende Komplexität, Bedürfnis- und Interessenorientierung, Neuigkeitswert (in Bezug auf die zu erwerbenden Kompetenzen), angemessener Schwierigkeitsgrad und Exemplarität (vgl. Tulodziecki et al. 2017: 151). Die Annahme ist, dass sich die motivationale Wirkung solcher Aufgabenstellungen aus dem Wechselspiel zwischen der Aufgabenanforderung und den dadurch angesprochenen Bedürfnissen (z. B. nach Kompetenzerleben durch Bewältigen der Aufgabe) entfaltet.

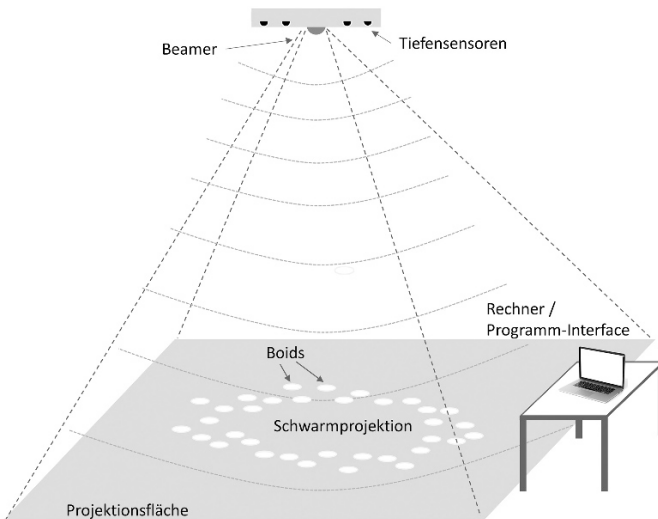
Genau diesen Aufforderungscharakter kann, so die These des vorliegenden Beitrags, auch das Digitale Medium selbst entfalten, wenn ein Interaktionsraum (perzeptives Interface) als wesentlicher Bestandteil des Mediums zur handelnden Auseinandersetzung mit dem Medium auffordert. Damit wird zunächst nicht primär die kognitive Seite der Lernenden angesprochen, sondern die sinnlich-ästhetische, indem der Körper in die Interaktion mit dem Medium einbezogen wird. Auf Basis der körperlich-sinnlichen Erfahrung schließt sich dann ein kognitiver Prozess an, in dem die Erfahrung reflektiert und abstrahiert wird: „People cannot learn from their experiences as long as they are entirely immersed in it. There comes a time when they need to step back, and reconsider what has happened to them from a distance“ (Ackermann 1996: 28). In ähnlicher Weise argumentiert Käte Meyer-Drawe, die Lernen als Erfahrung auffasst (vgl. 2008: 15) und Erfahrung selbst – im Gegensatz zum Erleben – als eine Art von Widerfahrnis versteht, die mit Überraschungen verbunden sein kann. Den Anstoß zu einem Lernprozess sieht sie in Staunen, Diskontinuitäten, Irritationen, die Aufmerksamkeit wecken. Dabei handelt es sich um einen „medialen Akt, in dem pathische Momente eine wesentliche Rolle spielen“ (ebd.: 143). Gleichzeitig betont sie, dass Lernen an die Welt der Dinge gekoppelt ist und diese sich als Erfahrungsmöglichkeit anbieten (vgl. ebd.: 180).

Mit der Gestaltung von Bildungsmedien ist zum einen das Ziel verbunden, Zugang zu den in der Software implementierten Modellen – und den damit

verbundenen Wirklichkeitsbereichen – zu schaffen, zum anderen aber auch Einsichten in abstrakte Prinzipien wie Formalisierung, Algorithmisierung, oder automatische Prozessierbarkeit zu ermöglichen. Die Gestaltung des Mediums als evokatives Medium soll dazu führen, dass die Lerngegenstände erfahrbar und reflektierbar werden. Im Folgenden wird gezeigt, wie dies am Beispiel von Schwarmsimulationen umgesetzt werden kann.

4. Reflexive Erfahrung in Interaktionsräumen

Eine Simulation von Schwarmverhalten, die nicht nur eine kognitive, sondern auch körperliche Erfahrung in der Interaktion beinhaltet, lässt sich mit einer Installation realisieren, wie sie in Darstellung 3 skizziert ist und von der Forschungsgruppe *dimeb* (Digitale Medien in der Bildung) entwickelt und realisiert wurde.



Darstellung 3: Schwarm-Installation

Über einen Beamer werden Lichtpunkte (Schwarmindividuen, Boids) auf den Boden projiziert, die sich nach den Boids-Regeln als Schwarm verhalten. Der

über der Projektionsfläche befindliche Interaktionsraum wird mit Hilfe von Tiefensensoren gescannt, so dass eine Person, die die Projektionsfläche betritt, in ihren Bewegungskoodinaten erfasst werden kann. Die Interaktion des Schwarms mit dem Akteur auf der Projektionsfläche verändert das Verhalten des Schwarms, abhängig von der Bewegung der Person:

- Bei Stillstand oder langsamer Bewegung geht der Schwarm in den Zustand des ‚Vertrauens‘, d. h. er bewegt sich langsam auf den Akteur zu, umkreist ihn und folgt ihm ggf. langsam.
- Moderate Bewegungen des Akteurs mit Armen und Beinen führen in den Zustand ‚Neugier‘ des Schwarms, der sich dann mit mäßiger Geschwindigkeit auf den Akteur zubewegt.
- Schnellere Bewegungen des Akteurs versetzen den Schwarm in den Zustand ‚Flucht‘ und die Boids bewegen sich vom Akteur weg.
- Hektische und sehr schnelle Bewegungen durch den Akteur führen zum Zustand ‚Aggressivität‘, in dem der Schwarm sich auf den Akteur zubewegt.

Je nach Zustand, in dem der Schwarm sich befindet, verändern die Boids ihre Farbe und ihre Form. Die Zustände des Schwarms werden zusätzlich durch eine Audioausgabe mit langsameren oder schnelleren Tonfolgen akustisch begleitet. Der Installation liegen also algorithmisch umgesetzte Regeln zugrunde, die zum einen das Verhalten der Boids untereinander regeln, zum anderen das Verhalten der Boids in Bezug auf einen Akteur im Interaktionsraum.

Das Besondere, das diese Installation – neben der Möglichkeit der Embodied Interaction – als Bildungsmedium kennzeichnet, ist ein Interface auf einem Bildschirm, mit dem das Verhalten und die Darstellung des Schwarms über Schieberegler verändert werden können. Im Einzelnen lassen sich die Größe der Boids, das Neugierverhalten, der Herdentrieb und die Fluchtdistanz verändern.

Mit Bezug auf die Kategorisierung von virtuellen Welten in Darstellung 2 weist die Schwarminstallation sowohl Aspekte einer Desktop-Anwendung auf als auch von Augmented Virtuality, wenngleich die Umgebung des realen Raums durch eine virtuelle Projektion auf eine Ebene (Projektion auf den Boden) beschränkt ist.

Auf Basis von Erfahrungen mit Kindern⁵ lässt sich der evokative Charakter des Digitalen Mediums nachzeichnen. Im ersten Schritt der Interaktion treten

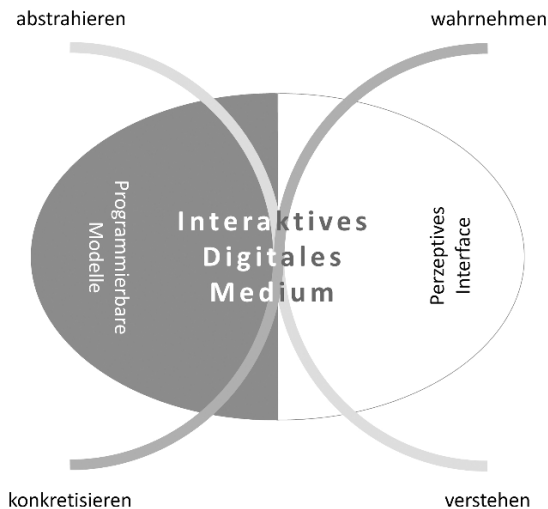
5 Die nachfolgend berichteten Erfahrungen beziehen sich auf Schülerinnen und Schüler im Alter von 10-12 Jahren.

die Kinder in den Schwarm ein und erfahren körperlich den Umgang mit der Installation. Die Schwarmprojektion kann mit Bezug auf Edith Ackermann als eine Projektion von Symbolen mit ‚dreifachem Charakter‘ verstanden werden (vgl. 1999: 81). Sie sind Double – i. d. F. von Lebewesen –, sie sind eigenständiges Objekt und sie sind das eigentliche Lebewesen. Semiotisch betrachtet, entspricht dies einer Entkopplung, einer Separierung und einer Verschmelzung von Signifikant und Signifikat. Gerade die „Verschmelzung gibt Symbolen letztlich ihre dramatische Energie. Ohne die empathische Projektion – das Double benutzen ‚als ob‘ – wäre keine erlebte Erfahrung möglich“ (ebd.). Das Eintauchen in den Interaktionsraum, d. h. in die durch das simulierte Modell projizierte Wirklichkeit, hat nicht nur motivierende Funktion, sondern stellt einen ersten Schritt des Verstehens des hinter dem Interface liegenden Modells dar – ein Prinzip, auf das Seymour Papert in der Konstruktion von Mikrowelten schon hingewiesen hat: „In contrast to Piaget, Papert draws our attention to the fact, that ‚diving into‘ situations rather than looking at them from a distance, that connectedness rather than separation, are powerful means of gaining understanding“ (Ackermann 2001: 92). Interessanterweise evoziert die Simulation – obwohl sie sich auf eine zweidimensionale Projektion auf den Boden beschränkt – ein sehr ausgeprägtes Gefühl des Eintauchens, des immersiven Erlebens bei den Kindern. In der Interaktion mit dem Schwarm sind folgende Verhaltensformen – auch in Kombination – beobachtbar:

- Ruhen und Beobachten (keine Bewegung),
- Verändern der Position (langsames oder schnelleres Gehen),
- Verändern der Lage (z. B. Knien, Hocken).

Darüber hinaus werden Bewegungen ausgeführt, die die Verschmelzung von Signifikat und Signifikant deutlich werden lassen, etwa, wenn Kinder auf einzelne Boids treten, um sie anzuhalten, die Boids ‚übersteigen‘ oder versuchen, einzelne Boids mit den Händen zu fangen. Begleitet wird das Eintauchen in den Schwarm teilweise auch mit emotionalen verbalen oder nonverbalen Äußerungen des Erstaunens, der Verärgerung (z. B., wenn ein Boid nicht gefangen werden kann) oder auch der Freude über die Tatsache, dass der Schwarm auf die eigenen Bewegungen reagiert. Der hohe Aufforderungscharakter des Digitalen Mediums kann zum einen auf die für den Menschen sensorisch wahrnehmbaren Reize des Mediums zurückgeführt werden, zum anderen aber auch auf das Bedürfnis, durch aktiven Einsatz des eigenen Körpers Kontrolle über das simulierte Modell zu gewinnen und Strukturen in der Wechselwirkung zwischen Körper

und Schwarmprojektion zu explorieren. In der Erfahrung verflechten sich sinnliche Wahrnehmung und emotionales Erleben, die in einem nachfolgenden Schritt in einen reflexiven Prozess münden, in dem die Erfahrung artikuliert, systematisiert und abstrahiert wird. Dieses Heraustreten aus dem konkreten Interaktionsraum ermöglicht die kognitive Annäherung an das dem perzeptiven Interface zugrundeliegende Modell, indem die Erfahrungen in (vermuteten) Regeln der Interaktion formuliert werden – und in einem wiederholten Schritt des Eintauchens in den Schwarm überprüft werden können. So entsteht ein Wechselspiel von ‚diving in‘ und ‚stepping out‘ (vgl. Ackermann 1996), das Prozesse des Wahrnehmens und Konkretisierens, des Abstrahierens und Verstehens miteinander verschränkt (vgl. Darstellung 4).



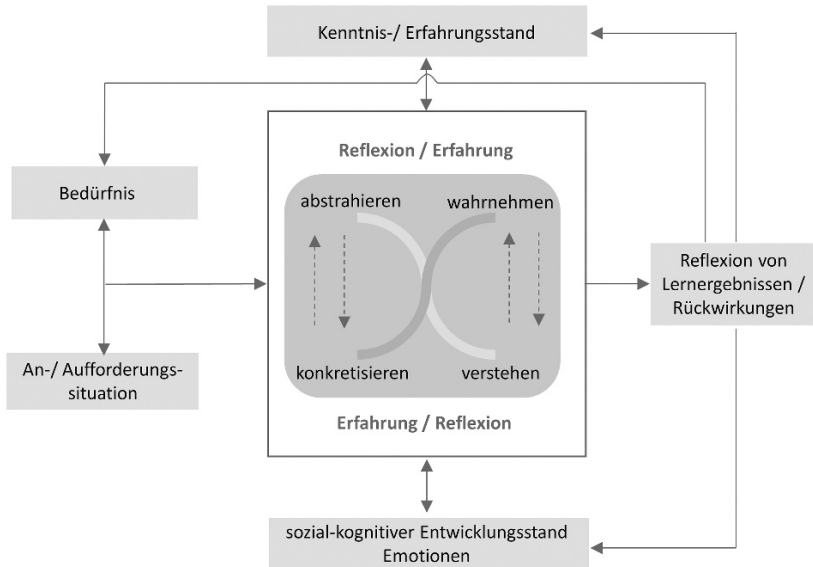
Darstellung 4: Reflexive Erfahrung mit Interaktiven Digitalen Medien

Der Prozess der Reflexion wird angestoßen durch die für den einzelnen Akteur überraschende Situation, das Systemverhalten nicht unmittelbar erklären und verstehen zu können – „a state of doubt, hesitation, perplexity [or] mental difficulty“ (Dewey 1933: 12, zit. n. Rogers 2001: 42). In einer ersten Reflexionsphase werden Hypothesen zur Wechselwirkung zwischen körperlicher Bewegung und Schwarmreaktion als regelbasiertes Verhalten aufgestellt und – durch erneutes Eintauchen in den Schwarm – überprüft. In kleinen Gruppen werden die

individuellen Erfahrungen expliziert und – vor dem Hintergrund der Erfahrungen anderer Akteure (Kinder) – gemeinsam diskutiert und in ggf. modifizierten Hypothesen einer erneuten Prüfung unterzogen. Die sozial eingebundene Bedeutungskonstruktion zum Verstehen des programmierbaren Modells ist Teil der Embodied Interaction als „the creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artifacts“ (Dourish 2001: 126). In einer zweiten Reflexionsphase bietet die Schwarmsimulation über das Programm-Interface die Möglichkeit, das Modell über Parameter, die das Bewegungsverhalten des Schwarms und die Interaktion des Schwarms mit einem Menschen steuern, zu ändern. Dieser Zugang zum Modell kann in induktiver oder deduktiver Weise erfolgen: Parameteränderungen können vorgenommen, in ihren Auswirkungen erlebt und in Form von Regeln formuliert werden, oder es kann ein bestimmtes Schwarmverhalten angestrebt werden. Dazu werden dann zunächst Hypothesen über zu ändernde Parameter formuliert und anschließend geprüft. Auf diese Weise werden die Modelle, d. h. die Grundstrukturen der Algorithmen erfahrbar und verstehbar. Der Schritt der körperlichen Erfahrung ist dabei nicht nur Motivationsmittel, sondern Teil des Reflexionsprozesses. Paul Dourish betont in seinem Ansatz der Embodied Interaction die phänomenologische Auffassung von Lernen und Bedeutungskonstruktion und deren Relevanz für das Design von Interfaces:

„However, phenomenology turns our attention to how we encounter the world as meaningful through our active and engaged participation in it, and so we can see that the underlying purpose of this sort of ‚more natural‘ approach to interface design is that it allows us to engage with technology in a different way“ (2001: 239).

Diese andere Beschäftigung mit Technologie ist die Beschäftigung mit dem doppelten Charakter des Computers als interaktives Digitales Medium in Prozessen des Wahrnehmens und Verstehens, des Konkretisierens und Abstrahierens.



Darstellung 5: Reflexive Erfahrung als Handlung

Die Interaktion mit Digitalen Medien im hier beschriebenen Sinne von Wechselspiel aus Erfahrung und Reflexion lässt sich auch handlungstheoretisch deuten. Im Anschluss an die Tradition der humanistischen Psychologie kann Handeln als eine „bedürfnis- und situationsbedingte psychische oder physische Aktivität [verstanden werden], die bewusst durchgeführt wird, um einen befriedigenden bzw. als bedeutsam empfundenen Zustand zu erreichen“ (Tulodziecki et al. 2017: 64). In einem solchen Verständnis stellt die Motivation, sich mit einem Gegenstand auseinanderzusetzen, einen Spannungszustand zwischen einer situativen Anforderung und den dadurch aktivierten Bedürfnissen dar, den es durch entsprechende (Lern-)Aktivitäten aufzulösen gilt. Die spezifische Anforderungssituation besteht im Fall des Digitalen Mediums in seinem evokativen Charakter, durch den die Grundbedürfnisse nach Sinneserregung und körperlicher Aktivierung ebenso angesprochen werden können wie die Persönlichkeitsbedürfnisse, etwa in Form von Neugier oder kognitiven Antrieben nach Wissen und Verstehen (vgl. Maslow 1981: 62ff., 76). Die Prozesse des ‚diving in‘ und ‚stepping out‘, des Wahrnehmens und Erlebens, des Abstrahierens und Verste-

hens, werden durch den bisherigen Kenntnis- und Erfahrungsstand des Einzelnen auf der einen Seite und durch die kognitive und soziale Entwicklung auf der anderen Seite beeinflusst. Zudem begleiten Emotionen die körperliche und geistige Auseinandersetzung mit dem Digitalen Medium. Die Lernergebnisse und deren Reflexion haben Rückwirkungen auf den Kenntnis- und Erfahrungsstand – als neu gewonnene Erfahrungen, Einsichten und Kenntnisse – und auf den sozial-kognitiven Entwicklungsstand – z. B. als Erweiterung der Fähigkeit, Erfahrungen als abstrakte Zusammenhänge zu formulieren und hypothesengeleitet zu prüfen oder als neue oder ausdifferenziertere Fähigkeit, Prozesse formal als Regelsysteme als Grundlage der Algorithmisierung beschreiben zu können. Darüber hinaus wirken die Lernaktivitäten auf die Bedürfnissituation zurück, im positiven Fall im Sinne der Bedürfnisbefriedigung, ggf. aber auch als Bedürfnisfrustration. In letztem Fall würde sich dies möglicherweise auch auf die begleitenden Emotionen auswirken. Die Gestaltung eines Digitalen Mediums als Bildungsmedium sollte das Durchlaufen solcher Handlungszusammenhänge als Lernprozesse evozieren, ermöglichen und unterstützen.

Reflexion im hier zugrundeliegenden Verständnis ist auf die individuelle Erfahrung ebenso angewiesen, wie auf die zeichenbasierte Artikulation und Explikation von den aus der Erfahrung resultierenden mentalen Modellen und deren Austausch, Diskussion und ggf. Modifikation. Konkretes Erleben und distanzierteres Abstrahieren laufen in zyklischen Prozessen ab und sind auf die sukzessive Annäherung an das subjektive Verstehen der in der Anforderungssituation erfahrenen Problemlage ausgerichtet (zu unterschiedlichen Reflexionsansätzen vgl. z. B. Rogers 2001).

5. Designprinzipien

Das Design eines Mediums kann keinen bestimmten Umgang damit erzwingen, es kann aber eine Aufforderung enthalten und zu einer Aktivität einladen. Zentral dafür, dass das Digitale Medium sein Potenzial im Bildungskontext verwirklicht, sind zwei komplementäre Gestaltungsprinzipien:

- Es muss reichhaltige für den Menschen sensorisch wahrnehmbare Reize enthalten, so dass ein Lerngegenstand erfahrbar und erlebbar (experience) wird.

- Diese Sinneserfahrung muss gleichzeitig eine Reflexion über den Lerngegenstand evozieren, was Voraussetzung für Lernen im tieferen Sinne ist.

Auf der Basis der hier skizzierten Erfahrungen mit der Schwarm-Installation sowie weiterer Vorarbeiten (vgl. Zeising 2011) wird im Folgenden ein Referenzsystem des Designs für Reflexive Erfahrung aus fünf sich überlagernden Dimensionen vorgeschlagen:

1. Räume der Interaktion mit Objekten

Interaktive Bildungsmedien sollten ein experimentelles Handeln mit den Objekten ermöglichen, die zum Gegenstand des Lernens werden. Sie sind so zu gestalten, dass sie an das Vorwissen und die Erfahrungen der Lernenden anknüpfen und situiertes implizites Wissen ausnützen. Sie sollten einen Möglichkeitsraum für ein entwicklungsgerechtes Repertoire von konkreten Handlungen aufspannen.

2. Repräsentation der Räume

Unterschiedliche Repräsentationen des digitalen und physikalischen Raums evozieren jeweils spezifische Verhaltensweisen von Lernenden. Ein Design, das auf einer ‚Wahrnehmungsaffordanz‘ (Norman 1993) beruht, evoziert Handlungsoptionen aus der Wechselwirkung zwischen Eigenschaften der Objekte und Fähigkeiten des Lernenden und berücksichtigt die Art und Weise von entwicklungsgerechtem Verstehen für die Implementation der Relation zwischen digitalen und physikalischen Aspekten. Dies bedeutet, dass das Digitale Medium sowohl sensorischen als auch kognitiven Angebotscharakter haben sollte.

3. Bedeutung von Modellen

Ein Kernkonzept für die Gestaltung von interaktiven Bildungsmedien ist die Forderung, dass sie Modelle durchschaubar machen sollen. Die Modelle sollen sichtbar, einsichtig und begreifbar werden. Ein besonders hoher Anspruch wird verwirklicht, wenn der Übergang zu unterschiedlichen Repräsentationen des gleichen Modells möglich wird. Hier stehen die Überlegungen erst am Anfang. Auf jeden Fall ist zu bedenken, ab welchem Entwicklungsstand Lernenden von ihrem kognitiven Verständnis her der Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationen eines Modells überhaupt erst möglich ist.

4. Dynamik des Simulationsprozesses

Mit digitalen interaktiven Medien stehen technische Medien zur Verfügung, die ein programmiertes zeitliches Verhalten eines Systems implementieren. Wenn sie dieses Verhalten jedoch nur in einer vorher festgelegten Weise ermöglichen, werden sie höchstens zu einem Trainingsinstrument für ein spezifisches Verhalten (wie etwa ein Flugsimulator), führen aber nicht zu einem tieferen Verständnis. Digitale Bildungsmedien müssen in ihrem zeitlichen Verhalten also Unterbrechungen erlauben, die von einem experimentellen zu einem reflektierenden Modus übersetzen können. Diese zyklischen Prozesse von Aktion und Reflexion fungieren als Bindeglied zwischen Erfahrung und Bedeutungskonstruktion.

5. Räume der sozialen Interaktion

Interaktive Digitale Bildungsmedien sind so zu gestalten, dass sie nicht nur einen aktiven und reflektierenden Umgang mit dem Lerngegenstand erlauben, sondern dass sie auch die soziale Interaktion der Lernenden untereinander fördern, sowohl im konkreten physikalischen Raum, in dem eine Lerngruppe interagiert, als auch im virtuellen Raum, z. B. in Online-Portalen und Foren, in dem sich die Lernenden potenziell austauschen können.

6. **Ausblick**

Wir haben im vorliegenden Artikel begriffliche und theoretische Grundlagen für eine bildende Auseinandersetzung mit Digitalen Medien unter dem Anspruch des Verstehens von – im Medium implementierten – programmierbaren Modellen entfaltet. Dabei spielt die Gestaltung eines Interaktionsraumes, in dem sinnliche Erfahrungen als Ausgangspunkt für Reflexion evoziert werden, eine zentrale Rolle. Erste Erfahrungen zeigen, dass dadurch die Re- und Dekonstruktion von regelbasierten Systemen angeregt werden kann. Von weiterführendem Interesse ist nun die Frage, welche Art von mentalen Modellen von den Lernenden entwickelt werden und wie sich diese Modelle auf verschiedenen Ebenen – beispielsweise vom biologischen Modell des Schwarms oder vom Bewegungsmodell im Sport bis zum formalisierten programmierbaren Modell – artikulieren. Damit ist auch das Ziel verbunden, das Digitale Medium in unterschiedlichen Unterrichtsfächern mit fachspezifischen Modellen zum Lerngegenstand zu machen.

Literatur

- Ackermann, Edith (1996): Perspective-Taking and Object Construction: Two Keys to Learning. In: Kafai/Resnick (Hrsg.): 25-35
- Ackermann, Edith (1999): Sich einrichten in Fantasieräumen. Untersuchungen zum Gebrauch von Symbolen. In: Renk (Hrsg.): 79-98
- Ackermann, Edith (2001): Piaget's Constructivism, Papert's Constructionism: What's the Difference? In: Constructivism: Uses and perspectives in education 31 (2), 85-94
- Aßmann, Sandra/Brüggen, Nils/Dander, Valentin/Gapski, Harald/Sieben, Gerda/Tillmann, Angela/Zorn, Isabel (2016): Digitale Datenerhebung und -verwertung als Herausforderung für Medienbildung und Gesellschaft. Ein medienpädagogisches Diskussionspapier zu Big Data und Data Analytics. In: Brüggemann et al. (Hrsg.): 131-142
- Bolter, J. David/Gromala, Diane (2003): Windows and mirrors. Interaction design, digital art, and the myth of transparency. Cambridge, Mass: MIT Press
- Borgenheimer, Bernd (2014): Lernen mit Simulationen. Eine Untersuchung zur Steigerung der Lerneffektivität beim Lernen mit Simulationen durch den Einsatz von Lernstrategien. Hamburg: Kovač
- Brüggemann, Marion/Knaus, Thomas/Meister, Dorothee M. (Hrsg.) (2016): Kommunikationskulturen in digitalen Welten. Konzepte und Strategien der Medienpädagogik und Medienbildung. München: kopaed
- Denning, Peter J./Metcalfe, Robert M. (Hrsg.) (1997): Beyond calculation. The next fifty years of computing. New York, NY: Copernicus
- Dewey, John (1933): How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process. Boston: D.C. Heath
- Döring, Jörg/Thielmann, Tristan (2009): Spatial Turn. Das Raumparadigma in den Kultur- und Sozialwissenschaften. Bielefeld: transcript
- Dourish, Paul (2001): Where the action is. The foundations of embodied interaction. Cambridge, Mass: MIT Press
- Engemann, Christoph/Sprenger, Florian (Hrsg.) (2015): Internet der Dinge. Über smarte Objekte, intelligente Umgebungen und die technische Durchdringung der Welt. Bielefeld: transcript
- Fishwick, Paul A. (1995): Simulation model design and execution. Building digital worlds. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- GI [Gesellschaft für Informatik] (2016): Dagstuhl-Erklärung: Bildung in der digital vernetzten Welt. Online verfügbar unter: <https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/Themen/dagstuhl-erklaerung-bildung-in-der-digitalen-welt-2016.pdf> (zuletzt aufgerufen am 30.10.2016)
- Grafe, Silke (2008): Förderung von Problemlösefähigkeit beim Lernen mit Computersimulationen. Grundlagen und schulische Anwendungen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Gutiérrez, Mario A./Thalmann, Daniel/Vexo, Frédéric (2008): Stepping into Virtual Reality. London: Springer-Verlag London Limited
- Halbach, Wulf R. (1994): Interfaces. Medien- und kommunikationstheoretische Elemente einer Interface-Theorie. München: Fink
- Hartson, H. Rex/Hix, Deborah (Hrsg.) (1988): Advances in human-computer interaction. Norwood, NJ: Ablex Publ. Corp
- Hepp, Andreas (2014): Medialisierung / Medialisierung. In: Schröter (Hrsg.): 190-196
- Herzig, Bardo (2012): Medienbildung. Grundlagen und Anwendungen. München: kopaed
- Herzig, Bardo (2016): Medienbildung und Informatische Bildung – Interdisziplinäre Spurensuche. In: MedienPädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 25, 53-73
- Kaerlein, Timo (2015): Die Welt als Interface. Über gestenbasierte Interaktionen mit vernetzten Objekten. In: Engemann/Sprenger (Hrsg.): 137-159
- Kafai, Yasmin B./Resnick, Mitchel (Hrsg.) (1996): Constructionism in practice. Designing, thinking, and learning in a digital world. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc

- Kastens, Uwe/Kleine Büning, Hans (2014): Modellierung. Grundlagen und formale Methoden. München: Hanser
- Leutner, Detlev (2001): Programmierter und computerunterstützter Unterricht. In: Rost (Hrsg.): 555-561
- Mandl, Heinz/Friedrich, Helmut Felix (Hrsg.) (2006): Handbuch Lernstrategien. Göttingen: Hogrefe
- Manovich, Lev (2013): Software takes command. Extending the language of new media. New York, NY: Bloomsbury
- Maslow, Abraham H. (1981): Motivation und Persönlichkeit. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt
- Meyer-Drawe, Käte (2008): Diskurse des Lernens. München: Fink
- Milgram, Paul/Takemura, Haruo/Utsumi, Akira/Kishino, Fumio (1995): Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 282-292
- Müller, Jürgen (2015): Digitalisierung. Die Grundlage der digitalen Gesellschaft. In: LOG IN 35 (180), 67-76
- Nadin, Mihai (1988): Interface Design and Evaluation – Semiotic Implications. In: Hartson/Hix (Hrsg.): 45-100
- Nake, Frieder (Hrsg.) (1993): Die erträgliche Leichtigkeit der Zeichen. Ästhetik, Semiotik, Informatik. Baden-Baden: Agis-Verlag
- Nielsen, Jakob (1994): Usability engineering. Amsterdam u. a.: Morgan Kaufman Publishers
- Norman, Donald A. (1993): Things that make us smart. Defending human attributes in the age of the machine. Reading, Mass.: Perseus Books
- Norman, Donald A. (2013): The design of everyday things. New York, NY: Basic Books
- Renk, Herta-Elisabeth (Hrsg.) (1999): Lernen und Leben aus der Welt im Kopf. Konstruktivismus in der Schule. Neuwied: Luchterhand
- Reynolds, Craig W. (1987) Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. In: Computer Graphics (SIGGRAPH '87 Conference Proceedings) 21 (4): 25-34
- Robben, Bernard (2006): Der Computer als Medium. Eine transdisziplinäre Theorie. Bielefeld: transcript Verlag
- Robben, Bernard (2014): Der Raum der be-greifbaren Interaktion. In: Robben/Schelhowe (Hrsg.): 367-387
- Robben, Bernard/Schelhowe, Heidi (Hrsg.) (2014): Be-greifbare Interaktionen. Bielefeld: transcript
- Rogers, Russel R. (2001): Reflection in Higher Education: A Concept Analysis. In: Innovative Higher Education 26 (1), 37-57
- Rosenthal, Sara Brin/Twomey, Colin R./Hartnett, Andrew T./Wu, Hai Shan/Couzin, Iain D. (2015): Revealing the hidden networks of interaction in mobile animal groups allows prediction of complex behavioral contagion. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 112 (15), 4690-4695. DOI: 10.1073/pnas.1420068112
- Rost, Detlef H. (Hrsg.) (2001): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz PVU
- Schelhowe, Heidi (2006): Medienpädagogik und Informatik: Zur Notwendigkeit einer Neubestimmung der Rolle digitaler Medien in Bildungsprozessen. In: Medienpädagogik. Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 12, 1-21
- Schelhowe, Heidi (2007): Technologie, Imagination und Lernen. Grundlagen für Bildungsprozesse mit digitalen Medien. Münster: Waxmann
- Schelhowe, Heidi (2011): Interaktionsdesign. Wie werden Digitale Medien zu Bildungsmedien? In: Zeitschrift für Pädagogik 57 (3), 350-362
- Schröter, Jens (Hrsg.) (2014): Handbuch Medienwissenschaft. Stuttgart/Weimar: Verlag J.B. Metzler
- Schubert, Sigrid/Schwill, Andreas (2011): Didaktik der Informatik. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Steinmaurer, Thomas (2016): Permanent vernetzt. Zur Theorie und Geschichte der Mediatisierung. Wiesbaden: Springer VS

- Szczerbicka, Helena/Uthmann, Thomas (Hrsg.) (2000): Modellierung, Simulation und Künstliche Intelligenz. Statusband. Ghent: Society for Computer Simulation International
- Szczerbicka, Helena/Uthmann, Thomas (2000): Wechselwirkung zwischen Künstlicher Intelligenz und Simulation. In: Szczerbicka/Uthmann (Hrsg.): 1-14
- Tulodziecki, Gerhard/Herzig, Bardo/Blömeke, Sigrid (2017): Gestaltung von Unterricht. Eine Einführung in die Didaktik. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt
- Tulodziecki, Gerhard/Herzig, Bardo/Grafe, Silke (2010): Medienbildung in Schule und Unterricht. Grundlagen und Beispiele. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- van den Boomen, Marianne (2014): Transcoding the Digital. How Metaphers Matter in New Media.. Amsterdam: Institute of Network Culture
- Winograd, Terry (1996): Bringing design to software. New York, NY/Reading, Mass.: ACM Press; Addison-Wesley
- Winograd, Terry (1997): The Design of interaction. In: Denning/Metcalf (Hrsg.): 149-161
- Wirth, Joachim/Leutner, Detlev (2006): Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In: Mandl/Friedrich (Hrsg.): 172-184
- Zeising, Anja (2011): Moving algorithm. Immersive Technologien und reflexive Räume für begehbare Interaktion. Bremen: Universität Bremen: Informatik/Mathematik