



# Moving Algorithm

Immersive Technologien und  
reflexive Räume für  
be-greifbare Interaktion

Anja Zeising



## **Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften  
vorgelegt im Fachbereich 3 (Mathematik und Informatik) der Universität Bremen  
von Anja Zeising am 30. September 2011

## **Gutachter**

Prof. Dr. Heidi Schelhowe  
Universität Bremen  
dimeb – Digitale Medien in der Bildung

Prof. Dr. Frieder Nake  
Universität Bremen und Hochschule für Künste Bremen  
compArt – kompetenzzentrum (frühe) digitale kunst



*Für Patrick und Kilian*



# Anerkennen

## Danksagung

Die Bestimmungen einer Promotion sehen vor, dass deren süße Früchte nur einer Person zuteil werden. Viele liebe Menschen verbleiben im undankbaren Hintergrund und haben doch Anteil an dieser Dissertation. Für sie sind diese Seiten, ein ganz kleines Früchtchen.

Mein Ehemann und mein Kind, Patrick und Kilian, haben es geschafft, mir Raum für die Promotion und ein Familienleben zu geben. Kilian hat sich in beeindruckender Weise auf unseren Alltag eingelassen und unsere begrenzte gemeinsame Zeit zum Malen, Lesen und Spielen ausgekostet. Mein Mann teilte meine Hoch- und Tiefpunkte, stand mir unermüdlich mit persönlichen und fachlichen Ratschlägen zur Seite. Patrick organisierte den Familienalltag um die Promotion, so dass ich ihr ein Höchstmaß an Zeit widmen konnte. Das war meistens nicht leicht, vielen Dank! Auch meiner restlichen Familie und meinen Freunden gilt besonderer Dank, jeder hat mich auf seine Weise unterstützt und so großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.

Prof. Dr. Heidi Schelhowe und die Arbeitsgruppe *dimeb – Digitale Medien in der Bildung* sorgten für ein fantastisches Arbeitsumfeld. Heidi hat als meine Doktormutter jede Phase der Promotion begleitet und ein hervorragendes Gespür für meine jeweilige Situation gehabt, mich bei allen Schritten unterstützt. Ich schätze die offene Atmosphäre in der Arbeitsgruppe, in der ich viel lernen durfte. Vielen Dank also an Heidi und alle Kollegen, insbesondere Iris Bockermann, Corinne Büching, Eva Katterfeldt, Michael Lund, Christoph Trappe und Wahju Agung Widjajanto. Mit Iris hatte ich eine Mitstreiterin im selben Promotionsstadium, der regelmäßige Austausch war anregend und hat mir viel Kraft gegeben. Corinne hat mich durch ihren soziologischen Hintergrund bei der Methodenwahl und dem Vorgehen für die Auswertung unterstützt. Eva schaffte durch ihre selbstlose Arbeitsbereitschaft zeitliche Freiräume für mich. Von Michaels Fachwissen und Kreativität profitierte u. a. das Szenario dieser Arbeit. In der Bürogemeinschaft mit Christoph und Wahju konnte ich über viele spannende Themen diskutieren.

Die Klaus-Tschira-Stiftung hat meine Promotion durch ein Stipendium im Rahmen des Graduiertenkollegs *Advances in Digital Media* finanziert und sie dadurch erst ermöglicht. Mein

Dank gilt dem Sprecher Prof. Dr. Rainer Malaka und allen Mitwirkenden des Graduiertenkollegs. Das Kolleg hat mit Kolloquien, Fortbildungsmaßnahmen, fachlichen Exkursen und der Förderung von Konferenzreisen zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen.

Ich danke Prof. Dr. Heidi Schelhowe und Prof. Dr. Frieder Nake für ihre inspirierenden wie kritischen Anmerkungen, die meinen Lernprozess und schließlich meine Arbeit mitgestaltet haben. Frieder hat mich einst per E-mail auf die freie Promotionsstelle bei dimeb hingewiesen und so den Anstoß für diese Arbeit gegeben – Dankeschön. Dem Prüfungsausschuss gilt mein Dank für den aufgebrauchten Zeitaufwand, den die kritische Auseinandersetzung und Bewertung meiner Arbeit fordert.

Vielen Dank an Manfred Mohr für die freundliche Zustimmung, seine Bilder in meiner Dissertation drucken zu dürfen. Das Bild P-707/F (siehe Abbildung 2.5(b), S.17) findet sich in editierter Form im Hintergrund des Titelblatts dieser Arbeit wieder.

Meine Promotionsgruppe bot mir große Unterstützung in der Formulierung und Bewältigung einzelner Etappenziele. Mit ihnen – zuletzt Heike Diaspero-Schmitz, Tanja Döring, Roland Schröder-Kroll und Christoph Trappe – durfte ich viele fachliche und private Aspekte meines Promotionsvorhabens diskutieren. Ich wünsche meinen Mitstreitern viel Erfolg für ihre Vorhaben.

Den Absolventen Alexander Emming, Thorsten Freese, Nassrin Hajinejad, Mark Luft und Christian Zabel danke ich für ihre Beiträge zur Entwicklung der Softwarekomponenten des technischen Systems *Der Schwarm* im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten. Ich habe viel während der Betreuung der Arbeiten gelernt, und die Absolventen hoffentlich auch.

An der Organisation, Durchführung und Auswertung der Workshops waren viele Menschen beteiligt, denen ich ebenfalls meinen Dank aussprechen möchte. Er gilt allen Teilnehmern, die sich in den vergangenen drei Jahren mit dem technischen System *Der Schwarm* auseinandergesetzt haben. Weiterhin sind alle Kollegen, externen Helfer und studentischen Hilfskräfte angesprochen. Nur mit ihrer Hilfe konnten die Workshops realisiert werden. Andreas Wiegand danke ich für die anregende Zusammenarbeit, Workshops und Ausstellungen haben von seiner pragmatischen Art und seinem Ideenreichtum profitiert.

Daniel Gehrke, Nassrin Hajinejad, Ivette Nuckel, Benjamin Schröder, Christoph Trappe und Julian Wiersbitzki haben mich tatkräftig bei der Eliminierung von eingeschlichenen Flüchtigkeitsfehlern unterstützt.

Bremen, September 2011

Anja Zeising



# Einordnen

## Kurzfassung

Sinnliche Erfahrung und Interaktion, gekoppelt mit abstrakten Prinzipien der Informatik, können bei Kindern die Neugier auf technische Prozesse wecken, so die These dieser Arbeit. Es werden Hinweise gegeben, wie technische Systeme im Anwendungsbereich der Medienbildung für Kinder gestaltet und entwickelt werden können, um eigenmotivierte Lernprozesse zu fördern. Mit *Moving Algorithm* wird eine Richtlinie zur Gestaltung und Entwicklung derartiger technischer Systeme zur Verfügung gestellt und damit ein Beitrag im Gebiet Interaktionsdesign für Kinder geleistet. Entsprechende Kriterien werden vorgestellt und in der Beispielapplikation *Der Schwarm* implementiert, die eine sinnliche Auseinandersetzung mit algorithmischen Prozessen ermöglicht. Auf mehreren Ebenen werden Zugänge geschaffen, so dass unterschiedliche Sinne und kognitive Fähigkeiten angesprochen werden. Ein Konzept zur Organisation und Auswertung von Workshops wird erstellt, Daten für die Evaluation nach Methoden der empirischen Sozialforschung erhoben und ausgewertet.

## Abstract

Sensual experience and interaction, combined with abstract concepts from informatics, arouse children's curiosity about technical processes. That is the assumption of this dissertation. The concept *Moving Algorithm* aims to provide guidelines on how technical systems in the field of media education for children can be designed and developed to encourage independent learning. Criteria are given for such digital products. This PhD project contributes to the field of interaction design and children. *Moving Algorithm* is implemented within the application of *Der Schwarm*, which allows the examination of algorithmic processes through sensual experience and interaction. Exploration is provided on several levels, as multiple senses as well as cognitive abilities are addressed. A concept allows the organisation of workshops particularly for evaluation purposes. Workshops employing methods from empirical social research have been held and evaluated.



# Überblicken

## Inhalt

|   |            |
|---|------------|
| <b>Anerkennen</b>   | <b>iii</b> |
| Danksagung  |            |
| <b>Einordnen</b>  | <b>v</b>   |
| Kurzfassung   |            |
| <b>1 Einstimmen</b>   | <b>1</b>   |
| Einleitung  |            |
| <b>2 Begegnen</b>   | <b>7</b>   |
| Informatik und Kunst  |            |
| 2.1 Grundgedanken früher digitaler Kunst . . . . .          | 8          |
| 2.2 Algorithmische Bilder . . . . .                         | 10         |
| 2.3 Programmierter Zufall als Gestaltungselement . . . . .  | 18         |
| 2.4 Ausprägungen zeitgenössischer digitaler Kunst . . . . . | 19         |
| 2.5 Zusammenfassung . . . . .                               | 23         |
| <b>3 Gestalten</b>  | <b>27</b>  |
| Be-greifbare Interaktion und Kinder                         |            |
| 3.1 Lernprozesse und Medienbildung . . . . .                | 28         |
| 3.1.1 Konstruktivismus . . . . .                            | 29         |
| 3.1.2 Tanz der Perspektiven . . . . .                       | 31         |
| 3.1.3 Playful Learning . . . . .                            | 32         |
| 3.1.4 Motivationsfaktoren beim Lernen . . . . .             | 33         |
| 3.1.5 Ästhetisch-informatische Medienbildung . . . . .      | 35         |
| 3.2 Be-greifbare Interaktion . . . . .                      | 35         |
| 3.2.1 Embodied Interaction . . . . .                        | 36         |
| 3.2.2 Tangible Interaction . . . . .                        | 37         |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3      | Experience Design  | 39         |
| 3.3.1    | Interaction Design und Kinder                                | 45         |
| 3.3.2    | Reflexive Design   | 49         |
| 3.4      | Zusammenfassung  | 50         |
| <b>4</b> | <b>Experimentieren</b>                                       | <b>53</b>  |
|          | Konzeption be-greifbarer Systeme                             |            |
| 4.1      | Folgerungen aus dem Forschungsstand                          | 54         |
| 4.2      | Moving Algorithm   | 56         |
| 4.3      | Von der Idee zum Produkt – Entwurf einer Beispielapplikation | 60         |
| 4.3.1    | Festlegen eines Leitthemas: Schwärme                         | 60         |
| 4.3.2    | Gestaltung kognitiver und ästhetischer Zugangsebenen         | 64         |
| 4.3.3    | Gestaltung des Entwicklungsprozesses                         | 66         |
| 4.4      | Zusammenfassung  | 67         |
| <b>5</b> | <b>Implementieren</b>  | <b>69</b>  |
|          | Das technische System <i>Der Schwarm</i>                     |            |
| 5.1      | Grundstruktur des Systems                                    | 70         |
| 5.2      | Technischer Aufbau   | 71         |
| 5.3      | Architektur der Software                                     | 73         |
| 5.3.1    | Struktur der Software  | 74         |
| 5.3.2    | Vorgehen im Entwicklungsprozess                              | 77         |
| 5.3.3    | Programmiersprache und -umgebung                             | 79         |
| 5.4      | Algorithmische Schwärme                                      | 82         |
| 5.4.1    | Simulation von Schwarmverhalten                              | 82         |
| 5.4.2    | Algorithmik des Schwarms                                     | 88         |
| 5.5      | Be-greifbare Interaktion mit Algorithmen                     | 91         |
| 5.5.1    | Das Portal <i>Der Schwarm</i>                                | 92         |
| 5.5.2    | Benutzungsoberfläche <i>Boids Regeln</i>                     | 100        |
| 5.5.3    | Auditives Display <i>Swarming Sounds</i>                     | 105        |
| 5.5.4    | Bewegungsmustererkennung <i>Merk:Mal</i>                     | 111        |
| 5.5.5    | Schnittstelle zur Wii-Remote                                 | 123        |
| 5.6      | Zusammenfassung  | 125        |
| <b>6</b> | <b>Erfassen</b>  | <b>127</b> |
|          | Evaluation und Ergebnisse                                    |            |
| 6.1      | Fragestellung  | 128        |
| 6.2      | Methoden zur Datenerhebung und -analyse                      | 129        |
| 6.2.1    | Datenerhebung  | 130        |
| 6.2.2    | Datenanalyse mit der objektiven Hermeneutik                  | 132        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3      | Untersuchungsraum Workshop . . . . .                                    | 137        |
| 6.3.1    | Pilot-Workshopreihe . . . . .   | 137        |
| 6.3.2    | Workshopkonzept . . . . .   | 140        |
| 6.4      | Konstruktion der Untersuchungsumgebung . . . . .                        | 143        |
| 6.4.1    | Umsetzung des Workshopskonzepts . . . . .                               | 143        |
| 6.4.2    | Empirisches Vorgehen bei der Datenerhebung . . . . .                    | 145        |
| 6.4.3    | Empirisches Vorgehen bei der Datenanalyse . . . . .                     | 147        |
| 6.5      | Ergebnisse . . . . .  | 147        |
| 6.5.1    | Erkennen immersiver Handlungen . . . . .                                | 149        |
| 6.5.2    | Indikatoren reflexiver Denkprozesse . . . . .                           | 152        |
| 6.5.3    | Wechselspiel immersiv-reflexiver Auseinandersetzung . . . . .           | 156        |
| 6.5.4    | Weitere Ergebnisse . . . . .  | 159        |
| 6.6      | Vergleichstudie von Wii-Remote und Maus . . . . .                       | 164        |
| 6.6.1    | Untersuchungsraum Workshop . . . . .                                    | 165        |
| 6.6.2    | Workshopablauf und Datenerhebung . . . . .                              | 165        |
| 6.6.3    | Ergebnisse . . . . .  | 166        |
| 6.7      | Zusammenfassung . . . . .   | 167        |
| <b>7</b> | <b>Reflektieren</b>   | <b>169</b> |
|          | Fazit   |            |
| 7.1      | Rückblick . . . . .   | 170        |
| 7.2      | Methodendiskussion . . . . .  | 173        |
| 7.3      | Ergebnisse und Schlussfolgerungen . . . . .                             | 174        |
| 7.3.1    | Folgerungen zu <i>Moving Algorithm</i> und <i>Der Schwarm</i> . . . . . | 174        |
| 7.3.2    | Hinweise für be-greifbare Systeme in der Medienbildung . . . . .        | 176        |
| 7.4      | Offene Fragen und Anknüpfungspunkte . . . . .                           | 177        |
| 7.4.1    | Zum Entwicklungsprozess be-greifbarer Systeme . . . . .                 | 178        |
| 7.4.2    | Einbeziehung von Konstruktionstätigkeiten . . . . .                     | 178        |
| 7.4.3    | Alternative Lernziele zu Medienbildung . . . . .                        | 179        |
| 7.4.4    | Der Körper als Medium . . . . .   | 180        |
| 7.4.5    | Algorithmische Schwärmereien . . . . .                                  | 180        |
|          | <b>Illustrieren</b>   | <b>185</b> |
|          | Abbildungen   |            |
|          | <b>Systematisieren</b>  | <b>187</b> |
|          | Tabellen  |            |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Nachlesen</b>   | <b>189</b> |
| Literatur  |            |
| <br>   |            |
| <b>Ergänzen</b>  | <b>211</b> |
| Anhang   |            |
| A  Datenerhebung . . . . .   | 211        |
| A.1  Interview-Leitfäden . . . . .                                     | 211        |
| A.2  Glossar der Transkription . . . . .                               | 213        |
| A.3  Fragebögen zur Vergleichsstudie mit Wii-Remote und Maus . . . . . | 213        |
| B  Datenmaterial aus der Erhebung . . . . .                            | 217        |
| B.1 <i>Boids Regeln</i> Workshop . . . . .                             | 217        |
| B.2 <i>Swarming Sounds</i> Workshop . . . . .                          | 233        |
| C  Das technische System <i>Der Schwarm</i> . . . . .                  | 244        |
| C.1  Funktionsübersicht . . . . .                                      | 244        |
| C.2  Code-Richtlinien . . . . .  | 249        |
| C.3  Material zur Tanzperformance mit <i>Der Schwarm</i> . . . . .     | 252        |

The graphic consists of a large, stylized number '1'. The left vertical stroke is a solid olive green, while the top horizontal bar and the right vertical stroke are a light grey. The number is positioned to the left of the main title.

# Einstimmen

## Einleitung

Jedes Kapitel dieser Dissertation<sup>1</sup> hat zwei Überschriften. Die erste Überschrift markiert eine Tätigkeit, die sich primär auf ein diese Arbeit begleitendes Szenario bezieht. Ferner bieten sich Anknüpfungspunkte zum jeweiligen Inhalt des Kapitels. Die zweite Überschrift bezieht sich direkt auf den Inhalt des Kapitels, das seinerseits die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema im Sinne einer Dissertation beinhaltet.

Das Szenario<sup>2</sup> dieser Arbeit bietet einen konkreten Zugang zum Thema und lädt dazu ein, Einblicke in die Praxis und das Anwendungsfeld zu bekommen. Mit dem Szenario beabsichtige ich dem wissenschaftlichen Diskurs dieser Arbeit konkrete Bezugspunkte zu geben. Das Szenario beschreibt einen Workshop mit Kindern und dem technischen System *Der Schwarm*<sup>3</sup>, wie ich in den vergangenen drei Jahren zahlreiche organisiert und durchgeführt habe. Meine Erfahrungen aus den Workshops sind in das Szenario eingeflossen. Es soll ein Eindruck von der Atmosphäre in einem Workshop und den Inhalten geschaffen werden, mit denen sich die Kinder beschäftigen.

Zu Beginn jedes Kapitels dieser Arbeit wird das Szenario fortgeführt, so dass wir den Verlauf des gesamten Workshops kennen, wenn sie ausgelesen ist. Einerseits wird daran der Ablauf eines Workshops deutlich. Andererseits findet sich in jedem Teil des Szenarios ein inhaltlicher Schwerpunkt wieder, der Kinder in dieser Phase des Workshops meiner Erfahrung nach besonders interessiert. Dieser wird in den Handlungen der Kinder deutlich, welche wiederum in den ersten Überschriften der Kapitel dieser Arbeit abgebildet sind.

---

<sup>1</sup>Der Untertitel dieser Arbeit ist an Abbott (2007) angelehnt. Der inhaltliche Bezug wird im Verlauf dieser Arbeit deutlich gemacht und in Kapitel 3.3.2 auf die entsprechende Aussage von Abbott eingegangen.

<sup>2</sup>Die Namen und Altersangaben im Szenario sind erdacht, Ähnlichkeiten zu Personen unbeabsichtigt.

<sup>3</sup>Die Verwendung des Begriffs *Der Schwarm* bezeichnet das technische System namens *Der Schwarm*, das in diesem Vorhaben als Beispielapplikation fungiert. Ist die Sprache von einem Schwarm, meint dies die Gesamtheit von zahlreichen natürlichen oder algorithmischen Individuen, die sich in ihrem Agieren aneinander orientieren, also einen Schwarm im herkömmlichen Sinne.

Der erste Teil des Szenarios stellt Teilnehmer<sup>4</sup> und Umgebung des Workshops vor und gibt Gelegenheit, sich auf diese Arbeit einzustimmen.

*Am Donnerstagnachmittag ist im Zentrum für Interaktion mit digitalen Medien (ZIM) an der Universität die Installation Der Schwarm aufgebaut. Auf die Fläche von etwa fünf mal fünf Metern werden sich ständig bewegende Lichtpunkte auf den Fußboden projiziert.*

*Kurze Zeit später stehen 12 Schüler unruhig um die Fläche. Einer der Schüler versucht mit den Händen einen Lichtpunkt einzufangen. Als dieser entwischt, dreht das Kind sich lachend um. Die 12 Schüler sind: Moritz (9 Jahre), Franziska (9), Batuhan (10), Ingo (9), Galina (9), Johanna (11), Amelie (10), Yannick (9), Klara (9), Mendi (10), Matthias (10) und Lena (11).*

*Wenig später sitzt die Gruppe im Stuhlkreis und erzählt, was sie erwartet. „Frau Noll [ihre Lehrerin] hat uns erzählt, dass wir heute Den Schwarm kennenlernen“, sagt Matthias. „Der soll was mit Vogel- und Fischeschwärmen zu tun haben“, sagt Yannick. Amelie und Mendi halten Block und Schreibzeug hoch. „Wir sollen heute hier wie richtige Wissenschaftler Der Schwarm untersuchen. Nächste Woche sollen wir dann in der Klasse darüber berichten, was wir rausbekommen haben“. „Und ich möchte in einem Theaterstück nachspielen, was es hier zu sehen gibt“, fügt Galina hinzu.*

*Die Biologielehrerin Frau Noll hat ein Experiment vor. Ihre Schüler sollen in zwei Wochen in Kleingruppen jeweils den anderen berichten, was sie über Der Schwarm herausgefunden haben. Eigentlich soll es für die Kinder darum gehen, ein Verständnis für das Schwarmverhalten und auch für Technologie zu erlangen. Aber diesmal sollen nicht nur Bücher und das Internet als Wissensquelle genutzt werden. Die Schüler sollen selber durch eigene Beobachtung und Aktiv-Werden lernen. Mit Block und Schreibzeug sollen die Gruppen ihre Beobachtungen zu und mit Der Schwarm aufschreiben oder malen, sie können sie auch nachspielen.*

Die Teilnehmer des im Szenario beschriebenen Workshops haben unterschiedliche Interessen und sollen dementsprechend zum Lernen motiviert werden. In diesem Vorhaben sollen dahingehend Zugänge für Kinder zu technologischen Prozessen geschaffen werden. Der Besitz oder die Benutzung von technischen Geräten wie Handys, Spielkonsolen oder klassischen Computern ist bei Kindern und Jugendlichen in den letzten Jahren quasi selbstverständlich geworden. Gleichermaßen verbreitet ist die Präsenz und Kommunikation in und über Web 2.0-Anwendungen wie sozialen Netzwerken oder Online-Video-Communities.

Hieraus ergibt sich für die Medienbildung und die Informatik die Herausforderung, bei jungen Menschen ein Bewusstsein für die Nutzung Digitaler Medien sowie für eine kritische

---

<sup>4</sup>Zur Gewährleistung der Lesbarkeit des Texts wird in diesem Vorhaben auf eine Unterscheidung von männlicher und weiblicher Form verzichtet. Es wird die männliche Form zur Benennung von Personen bzw. -gruppen benutzt, womit die weibliche Form ebenfalls angesprochen ist. Die weibliche Form wird verwendet wenn keine männlichen Personen (mit-)angesprochen werden und/oder die Unterscheidung der Geschlechter explizit gemacht werden soll.



Auseinandersetzung mit deren Inhalten zu schaffen. Die Expertenkommission des BMBF fordert in ihrem Bericht „Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur“, dass Medienbildung in der heutigen, von Digitalen Medien geprägten Gesellschaft als Teil der Allgemeinbildung werden sollte. Die Kommission schreibt: „Medienbildung umfasst Medien als Gegenstand des Lernens und das in hohem Maße selbstgesteuerte und selbstverantwortete Lernen *mit* Medien, das im Lebensverlauf zunehmende Bedeutung gewinnt und eingeübt sein will“ (Schelhowe et al. 2009, S.4), und macht hiermit die weitreichende Bedeutung von Medienbildung deutlich. Die Informatik kann die technischen Grundlagen dafür schaffen, die Möglichkeiten von Medienbildung zu erweitern. Es bedarf eines Verständnisses und Gestaltungsrichtlinien dafür, wie technische Systeme im Bildungskontext für Kinder entworfen werden können, damit sie gemäß der o. g. Begriffserläuterung eine kritische Auseinandersetzung mit und durch Digitale Medien fördert. Die Informatik kann dies gewährleisten, indem sie Konzepte und digitale Produkte entwickelt, die Kindern eine umfassende Perspektive auf Digitale Medien ermöglichen und eine kritische Auseinandersetzung fördern. Diese Arbeit soll hierzu beitragen und wirft dahingehend folgende Fragen auf:

1. Welche Modelle und Konzepte kann die Informatik bereitstellen, um einen neuartigen Beitrag zur Vermittlung von Medienkompetenz in pädagogischen Kontexten zu leisten?
2. Wie müssen technische Systeme gestaltet sein, um die Medienkompetenz von Kindern im Alter von 8-12 Jahren zu fördern und welche Kriterien können hierfür festgelegt werden?

Die Fragen zielen auf ein Verständnis dafür ab, wie Kinder im Alter von 8-12 Jahren dazu befähigt werden können, sich mit einem technischen System abstrakte technologische Prinzipien anzueignen. Die Herausforderung liegt in der Erstellung von Anforderungen bzw. Kriterien für derartige technische Systeme, wodurch einen verallgemeinerbarer Beitrag zur Entwicklung von Applikationen im Kontext der Medienbildung geleistet wird. Auf Basis dieser Kriterien wird exemplarisch ein System entworfen und entwickelt, anhand dessen die Eignung der aufgestellten Kriterien untersucht werden kann.

Das Vorgehen zur Bearbeitung der Fragestellungen leite ich mit Nake et al. (2006) ein, nach denen die Gewährleistung des Mediums im Nutzungsprozess die eigentlich anzustrebende Leistung ist. Durch konkrete Interaktion können abstrakte Konzepte der Technologie erfahrbar gemacht werden. Dieser Ansatz wird in diesem Vorhaben aufgegriffen, so dass Möglichkeiten gefunden werden, wie Kinder durch konkrete Interaktion mit Digitalen Medien deren abstrakte Konzepte erforschen können.

Hierzu werden in Kapitel 2 Begegnungen von **Informatik und Kunst** betrachtet. Snow hat Mitte der 1950er Jahre mit einer Rede eine Debatte der *zwei Kulturen* angestoßen. Er bemängelt fehlende gegenseitige Toleranz und Akzeptanz zwischen Geistes- und Naturwissen-

schaften, eine Verbindung könne Quelle neuer Ideen und gewinnbringend für Geistes- und Naturwissenschaften sein (Snow 1998). Dieses Phänomen, so Klütsch, hat auch heute noch Relevanz: „Wechselseitig ist die Verständigung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften, zwischen Ingenieuren und Künstlern schwierig“ (Klütsch 2007, S. 33). Eine Möglichkeit der Verständigung kann die Computerkunst sein, eine These, die beispielsweise Franke (1985) vertritt und die in diesem Vorhaben wieder aufgegriffen wird. Die digitale Kunst, auch Computerkunst genannt, hat ihre Anfänge in den 1960er Jahren. Es wird dargelegt, welche Impulse die digitale Kunst für dieses Vorhaben bereithalten kann. Wir wollen sie dahingehend untersuchen, was wir aus den ersten Versuchen einer solchen Begegnung für dieses Vorhaben lernen können. Dafür schauen wir auch auf aktuelle Bewegungen und Projekte.

Mit diesen Eindrücken widmen wir uns in Kapitel 3, **be-greifbare Interaktion und Kinder**, der Gestaltung digitaler Produkte in Lernkontexten. Digitale Produkte müssen den Bedürfnissen der Zielgruppe und dem Nutzungskontext entsprechend gestaltet werden. Eine Betrachtung von Lernprozessen – vor allem bei Kindern – gibt erste Aufschlüsse darüber, welche Anforderungen an die Gestaltung und Entwicklung derartiger Produkte gestellt werden müssen. Es werden Konzepte der Mensch-Computer-Interaktion dargelegt, die sich dazu eignen, diese Lernprozesse von Kindern zu fördern. Schließlich werden Methoden vorgestellt, mit denen der Entwicklungsprozess von Produkten mit derartigen Interaktionsmöglichkeiten gestaltet werden kann.

*Moving Algorithm* stellt einen Ansatz zur Gestaltung technischer Systeme im Bildungskontext für Kinder dar und soll hierzu einen Beitrag leisten. Es wird in Kapitel 4, **Konzeption be-greifbarer Systeme**, beschrieben und greift den in den vorherigen Kapiteln dargestellten Forschungsstand in neuartiger Form auf. *Moving Algorithm* liefert ein Verständnis dafür, wie technische Systeme Kinder in ihren Lernprozessen unterstützen und wie sie gestaltet werden können. Anhand von Kriterien können technische Systeme für Kinder zur Auseinandersetzung mit Digitalen Medien auf unkomplizierte Weise gestaltet werden. Exemplarisch wird ein technisches System auf der Basis von *Moving Algorithm* entworfen.

Die Implementierung der Beispielapplikation<sup>5</sup> namens *Der Schwarm* wird in Kapitel 5, **das technische System Der Schwarm**, beschrieben. Die Kriterien aus *Moving Algorithm* sind in dem technischen System umgesetzt. Das technische System *Der Schwarm* ist in diesem Vorhaben vor allem um die Komponenten *Boids Regeln*, *Swarming Sounds*, und *Merk:Mal* erweitert worden. Das Interface *Boids Regeln* ist eine Oberfläche zum Erforschen des Schwarmalgorithmus, *Swarming Sounds* eine Klanguausgabe, die Parameter der Schwarmsimulation auf Klangparameter abbildet und *Merk:Mal* eine Bewegungsmustererkennung, mit der Prinzipien maschinellen Lernens erforscht werden können.

---

<sup>5</sup>Das Wort Beispielapplikation verweist auf ein in diesem Vorhaben exemplarisch entwickeltes technisches System. Die Begrifflichkeit ist der üblichen Verwendung, wie sie beispielsweise in einschlägigen Fachzeitschriften der Informationstechnologie vorkommt, entlehnt.

Inwiefern die Prinzipien Digitaler Medien nach diesem Ansatz von Kindern mit *Der Schwarm* eigenmotiviert erforscht werden, wird in Kapitel 6, **Evaluation und Ergebnisse**, vorgestellt. Die Auswertung erfordert eine Überprüfung der Komponenten von *Der Schwarm* hinsichtlich ihrer Funktionalität innerhalb von *Moving Algorithm* und damit der Validität des Konzepts selbst. Anhand qualitativer Methoden aus der empirischen Sozialforschung wird die Perspektive der Kinder im Umgang mit der Beispielapplikation offengelegt und ausgewertet. Der Untersuchungsraum ist ein Workshopszenario, für dessen Ablauf und inhaltliche Struktur ein Konzept erstellt wird. Zur Überprüfung der Eignung des Workshopkonzepts und der Einstellungen des technischen Systems dient eine Pilot-Workshopreihe. Nach Auswertung der Ergebnisse und letzten Anpassungen wird für jede zu testende Softwarekomponente ein Workshop durchgeführt, in dem die Daten zur Beantwortung der Fragestellungen erhoben werden. Die Ergebnisse der Auswertung werden ausführlich beschrieben. Neben solchen Resultaten, die die zentralen Fragestellungen betreffen, gibt es weitere, die ebenfalls in diesem Kapitel geschildert werden.

In Kapitel 7, im **Fazit**, folgt eine Diskussion der Ergebnisse bezüglich der Beispielapplikation *Der Schwarm* und *Moving Algorithm*. Es werden Hinweise gegeben, wie technische Systeme Kinder in ihren Lernprozessen unterstützen können, wie sie gestaltet und entwickelt werden können. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf die eingehenden Fragestellungen betrachtet und allgemeine Schlussfolgerungen gezogen. Ebenso ist eine kritische Betrachtung der angewendeten Methoden enthalten und es sind Anknüpfungspunkte für weitere Forschung gegeben.



# 2 Begegnen

## Informatik und Kunst

*Die Gruppe steht um das Projektionsfeld der Installation Der Schwarm. Batuhan ist als erster auf die Fläche gesprungen. Sofort umkreisen ihn die Lichtpunkte. Vorsichtig setzt er den rechten Fuß in Richtung der hinteren Ecke des Projektionsfeldes. Die Lichtpunkte folgen. Batuhan wartet, um dann übers Feld zur hinteren Ecke zu rennen und dort zu verharren. Die Lichtpunkte huschen auseinander und verteilen sich über die Fläche, um sich dann langsam um ihn herum zu sammeln und ihn erneut zu umkreisen.*

*„Die leben ja“, sagt Matthias. „Ja, wie Fliegen, wenn Du die vertreibst, kommen die auch wieder und umkreisen Dich“, fügt Johanna hinzu. Amelie stellt sich in die Fläche und wartet bis die Lichtpunkte sie umkreisen. Dann springt sie vor, um einen Lichtpunkt mit dem Fuß zu treffen. Er entwischt und die Lichtpunkte schwirren auseinander. „Guck mal, die bewegen sich jetzt viel schneller und ich glaube die sind sauer!“, ruft Franziska. „Renn denen hinterher und vertreib die“, fügt Yannick hinzu.*

*Er springt auf und als Amelie die Fläche verlassen hat, rennt er auf die Fläche und versucht die Lichtpunkte zu jagen. Moritz und Batuhan springen ins Feld und laufen auf Yannick zu. Die Lichtpunkte verschwinden. Batuhan schaut um sich und entdeckt, dass sich die Lichtpunkte an den Feldrändern verstecken. Er verlässt das Feld, um zu sehen, ob die Lichtpunkte dann wieder zurückkommen. Er wartet. Moritz und Yannick warten in der Mitte. Langsam kommen die Lichtpunkte wieder näher. „Die schwimmen wie Fische um euch rum!“, ruft Amelie.*

*„Los, wir spielen kriegen“, sagt Moritz zu Yannick. Moritz versucht mit der Hand einen Lichtpunkt zu berühren, der entwischt ihm aber. „Yannick, bleib stehen, sonst erschreckst Du die“. „Lass mich mal einen fangen, ich bin schneller“, antwortet Yannick. Aber auch ihm entweichen die Lichtpunkte. Franziska, Johanna und Amelie wollen auch was ausprobieren. Sie halten sich an den Händen und laufen mit einer Schrittfolge auf das Feld. Die Lichtpunkte bewegen sich zum gegenüberliegenden Rand, aber es kommen immer wieder einzelne auf die Mädchen zu. „Hm, tanzen die?“, fragt Batuhan. „Die wollen uns was zeigen“, antwortet Johanna.*

Die Teilnehmer des Workshops in unserem Szenario nehmen erstmals Kontakt mit dem technischen System *Der Schwarm* auf. Sie sind vorsichtig bei dieser ersten Begegnung, fassen langsam Vertrauen und wagen sich immer ein wenig weiter vor. Zunächst sind die Bewegungen des Akteurs willkürlich, aber eine Verbindung zwischen ihnen und der Reaktion des Schwarms wird gesehen. Die erste Scheu verfliegt langsam und der Schwarm muss erforscht werden. Die Kinder tauchen während der Interaktion in die Situation ein und möchten mehr über die Lichtpunkte erfahren. Der Schwarm ist für die Kinder ein konkreter Zugang zu den Algorithmen, die dem technischen System zugrunde liegen. Die Algorithmen werden durch schwärmende Lichtpunkte sinnlich erfahrbar, sichtbar gemacht. In den Werken der digitalen Kunst – einer Begegnung von Informatik und Kunst, die wir in diesem Kapitel betrachten wollen – finden wir die Sichtbarmachung algorithmischer Prozesse wieder. Wir werfen einen Blick auf die Anfänge der digitalen Kunst Ende der 1950er und lernen die doppelte Existenz digitaler Bilder kennen. Das algorithmische Bild soll uns zeigen, wie Informatik und Kunst gekoppelt werden können. Wir wollen eine Vorstellung davon entwickeln, wie die doppelte Existenz uns bei unserem Vorhaben nutzen kann und wie durch digitale Kunst Zugangsebenen zu technologischen Prozessen geschaffen werden können. Andere, teilweise jüngere Begegnungen von Informatik und Kunst, wie in den performativen Künsten, geben uns Einblick in die Bandbreite der Anwendungen.

## 2.1 Grundgedanken früher digitaler Kunst

Die Begegnungen von Informatik und Kunst, wie sie beispielsweise in Video- und Netzkunst zu sehen sind, sind keine Erscheinung des 21. Jahrhunderts. Bereits mit der apparativen Kunst, z. B. der Fotografie, sind die Grundsteine für eine Kunstrichtung gelegt, die sich der Technik als bildschaffendes Werkzeug bedient. Die Bezeichnung *apparative Kunst* hat Franke geprägt, der Apparaturen zur Herstellung von Kunstwerken genutzt bzw. erschaffen hat (Franke und Jäger 1973). Die apparative Kunst kann als Vorläufer der digitalen Kunst betrachtet werden. Etwas später in den 1960ern hat sich die Kunstrichtung Copy Art entwickelt, die Fotokopierer als produzierenden Apparat nutzt (Shanken 2009; Urbons 1991). Ein Projekt, das sowohl der apparativen als auch der digitalen Kunstrichtungen zugeordnet werden kann, wenn auch erst 1973 entstanden, ist das Projekt Aaron von Harold Cohen. Zunächst als Programm konzipiert und später als fahrender Roboter, malt Aaron eigenständig Bilder. Cohen hat Aaron über einen Zeitraum von über 30 Jahren weiterentwickelt (Cohen 1995; McCorduck 1991).

Eine frühe Liaison der Informatik und Kunst bildet also die digitale Kunst, die auch vielfach Computerkunst oder Computergrafik genannt wird. In Deutschland, Großbritannien, den USA und Osteuropa sind unabhängig voneinander in den frühen 1960ern erste Experimente mit dem Computer als Werkzeug zur Generierung von ästhetischen Objekten gemacht

worden. Franke (1985) hat sich nebst anderen mit dem Apparat Computer als Kunstmaschine beschäftigt. Mason (2008) stellt in ihrem Buch „A computer in the Art Room“ die britische Geschichte der digitalen Kunst umfassend dar, in der die kinetische Kunst eine feste Größe ist (siehe auch Brown et al. 2009). Neben der kinetischen Kunst haben Experimente mit Bewegung und Licht die Kunst in den 1960ern und 70ern geprägt (Shanken 2009).

„Using electronic media in innovative ways that invoke the luminous, kinetic and temporal dimensions of art, artists explore the potential of these qualities to expand aesthetic experience and to enhance human perception.“

(Shanken 2009, S. 22)

Diese Feststellung von Shanken kann auch für andere Kunstrichtungen dieser Zeit gelten, in denen Technologien verwendet werden. Zeitlich parallel sind beispielsweise erste Filmprojekte entstanden, in denen Computer eingesetzt werden, John Whitney und Charles Csuri sind zwei Pioniere. Mit der Gründung der Organisation Experiments in Art and Technology (E.A.T.) 1966 sollten Künstler, Wissenschaftler und Techniker einen Raum zur Kollaboration finden. E.A.T. war die erste Organisation ihrer Art, an deren Gründung Techniker Billy Klüver maßgeblich beteiligt war und die mit Künstlern wie Andy Warhol und Robert Rauschenberg zusammenarbeitete (vgl. Paul 2008, S. 16).

Einen besonderen Stellenwert in der deutschen digitalen Kunst hat die Stuttgarter Schule, eine Gruppe von jungen Wissenschaftlern um Max Bense, die abstrakt und konkret, gedanklich und produzierend mit dem Computer experimentieren. Die Pioniere der digitalen Kunst sind keine ausgebildeten Künstler, sondern vornehmlich Mathematiker, Philosophen und Naturwissenschaftler. Das Selbstverständnis der Pioniere entspricht nicht unbedingt dem der Künstler, teilweise distanzieren sie sich von dieser Bezeichnung. Die Akzeptanz dieser Experimente als Kunst in der (kunstinteressierten) Öffentlichkeit ist anfänglich kritisch betrachtet worden (Piehler 2002). Neben Piehler formuliert Shanken diese Auffassung und erweitert sie:

„[...] artists utilizing electronic tools to produce form by duplication, or by using algorithmic and other generative approaches, have challenged conventional notions of originality, creativity and art itself.“

(Shanken 2009, S. 23)

Nach Bense vermag die digitale Kunst die Brücke zwischen den zwei Kulturen (siehe Kapitel 1), den Geistes- und Naturwissenschaften, zu schlagen. Die Geschichte der frühen digitalen Kunst wird ausgehend von der *Zwei-Kulturen*-Debatte umfassend von Klütsch (2007) beschrieben. Dazu ist er in den Diskurs mit einigen Pionieren der digitalen Kunst (Klütsch sagt Computergrafik bzw. Computerkunst) gegangen, darunter Nake, Noll und Manfred Mohr.

Bense hat die weltweit erste Ausstellung mit digitaler Kunst 1965 eröffnet und eine dazugehörige Veröffentlichung mit dem Artikel „Projekte generativer Ästhetik“ (Bense 1965b)

herausgegeben, der als Manifest der generativen Ästhetik gilt (Nierhoff-Wielk et al. 2007). Die Ausstellung zeigt Bilder von Georg Nees, der Ende der 1969 die erste Dissertation im Bereich der algorithmischen Kunst einreicht (Nees 2006). Im selben Jahr stellen auch Noll und Nake erstmals ihre Werke aus, wir werden einige in Kapitel 2.2 sehen.

Eine parallele und thematisch verwandte, wenn auch rein theoretische Entwicklung der digitalen Kunst ist die *Informationsästhetik* nach Bense und Moles. Die Beschreibung und das Erreichen einer objektiven, *exakten Ästhetik* mit Mitteln der Mathematik bzw. Naturwissenschaften ist ein Ziel der Informationsästhetik. Besonderen Einfluss auf die Informationsästhetik hatten nach Klütsch (2007, S. 50): „(1) G. D. Birkhoffs mathematische Ästhetik (2) C. Shannons Informationstheorie, (3) N. Chomskys Syntaxtheorie, (4) D. E. Berlynes experimentelle Ästhetik und (5) W. Fucks Stilanalysen“. Es gibt unterschiedliche Auffassungen zur Verschränkung der Informationsästhetik und der digitalen Kunst, wie Piehler (2002) feststellt, und Bedarf an einer theoretischen Aufarbeitung. Auf die Informationsästhetik wird hier deshalb nicht weiter eingegangen, es sei jedoch auf einschlägige Literatur verwiesen (Birkhoff 1933; Shannon 1948; Chomsky 1972; Berlyne 1974; Fucks 1952; Bense 1965a; Moles 1966; Nake 1974; Nees 2006). Wir konzentrieren uns auf die digitale Kunst, die Piehler Computerkunst und „künstlerische Ausdrucksform der generativen Informationsästhetik“ nennt (Piehler 2002, S. 189).

Der Begriff *generative Ästhetik* ist aus der Bewegung der Informationsästhetik an der Stuttgarter Schule von Bense hervorgegangen. Darin wird versucht, Bilder mit dem Computer durch Algorithmen berechnen zu lassen, die ein Höchstmaß an berechenbarer Ästhetik vorweisen. Anfang der 1960er werden die Bilder vornehmlich von einem Plotter nach den Vorgaben des Algorithmus ausgegeben. Eine ausführliche Aufarbeitung der generativen Ästhetik, deren theoretische Wurzeln – vor allem in der Semiotik –, bis zu einem Diskurs des Raumbegriffs im Bildungskontext, hat Grabowski (2006) erarbeitet; auf sie sei hier verwiesen.

Die algorithmische Kunst hegt im Unterschied zu ihrem Untergebiet, der generativen Ästhetik, keinen Anspruch an eine objektive Ästhetik des Produkts. Beidem gemein ist der Herstellungsprozess, dessen Kern der Algorithmus ist. Die schöpferische Arbeit des Künstlers manifestiert sich im Algorithmus, der ausführende Computer ist ein Werkzeug und das ausgebende Gerät macht den Algorithmus sichtbar.

## 2.2 Algorithmische Bilder

Das von einem bildgebenden Algorithmus generierte Bild ist als algorithmisches Bild zu verstehen. Der Algorithmus ist vom Künstler entwickelt und berechnet das Bild, das am Monitor, Plotter o.Ä. sichtbar gemacht wird. Beyls et al. machen die Unterscheidung in einem Positionspapier deutlich:



„[...] when it comes to *algorithmic art* we should not confuse the procedure by which the artist creates algorithms with the procedures by which the algorithms execute the work. This may be the most important distinction we need to bear in mind in our discussion of art and algorithm. Musical compositions and architectural plans are algorithms for executing works of art. Those who create these algorithms are artists.“  
(Beyls et al. 1995)

Moles sieht einen Wandel der Arbeit des Künstlers, „Der Künstler ist nun nicht mehr der *Schöpfer* von Werken, sondern der *Ideenschöpfer* für Werke, z. B. ein 'Programm'.“ (Moles 1967, S. 20) Er schreibt weiter, dass die Arbeit des Künstlers der des Wissenschaftlers ähnlicher wird. Sie drückt sich in dem Ziel aus, die Natur logisch zu betrachten und sie kontrollieren zu wollen (vgl. Moles 1967, S. 20).

Seit den 1990er Jahren bezeichnet sich eine Gruppe von Künstlern, die Werke anhand eigener Algorithmen erstellen, als *Algorists* (Verostko o.J.). Die Gruppe besteht vornehmlich aus den bereits genannten Pionieren. Bezugnehmend auf die mit der Computernutzung verbundenen Änderungen des Herstellungsprozesses spricht Klütsch von einer Entkoppelung von Schöpfung und Ausführung eines Bilds durch den Algorithmus, die erstmals in der frühen digitalen Kunst aufkommt:

„In der Computerkunst ergibt sich zum ersten Mal folgende Trennung: Der Künstler bestimmt die Funktion, d. h. schreibt einen Algorithmus, der Computer führt aus, ordnet, selektiert und bringt etwas nach Regeln hervor. Diese sind zwar genau angebbbar, aber ihr Prozess ist nicht vorherzusehen. Die Ausführung erfolgt völlig unabhängig vom Künstler. Der Prozess ist geteilt bzw. entkoppelt. Die entkoppelten Prozesse haben ihre Eigenständigkeit, sind jedoch durch einen Regelkreislauf verbunden.“  
(Klütsch 2007, S. 181)

Diese Trennung, die wieder durch einen zirkulären Prozess des Betrachtens des Bilds, Ändern und wiederholtes Starten des Algorithmus aufgebrochen wird, öffnet mehrere Betrachtungsebenen. Die Auseinandersetzung wird einerseits mit dem Herstellungsprozess möglich, der kognitiv zugänglich und dessen Resultat der Algorithmus ist. Andererseits kann das Ergebnis, ein Bild, für den Betrachter sinnlich-ästhetisch zugänglich sein. Diese Feststellung ist in unserem Vorhaben von zentraler Bedeutung. Eine Kombination aus kognitiven und ästhetischen Zugangsebenen kann ein komplexes Lernen über und durch Digitale Medien fördern. Algorithmische Bilder lassen eine kognitiv-ästhetische Betrachtung zu, über den Algorithmus und das Bild.

Die Resultate einiger Algorithmen schauen wir uns nun an. Sie sollen einen Eindruck der frühen digitalen Kunst vermitteln, ohne dass wir jedes Bild analysieren, was wir den Erschaffern selbst bzw. Kunsthistorikern überlassen. Hier kann nur ein ganz kleiner Ausschnitt ausgewählter Algorists gezeigt werden und wir konzentrieren uns auf Frieder Nake, Georg Nees, A. Michael Noll und Manfred Mohr. Sie haben die frühe digitale Kunst mit anderen wie Herbert W. Franke, Kurd Alsleben, Vera Molnar und Paul Brown geprägt (Herzogenrath

und Nierhoff-Wielk 2007). Wir wollen für unser Vorhaben im Hinterkopf behalten, dass ein Algorithmus diese Bilder berechnet hat. Bilder 2.1(a)-(c) zeigen die Resultate einiger Algorithmen von Nees, die in den 1960er Jahren entstanden sind.

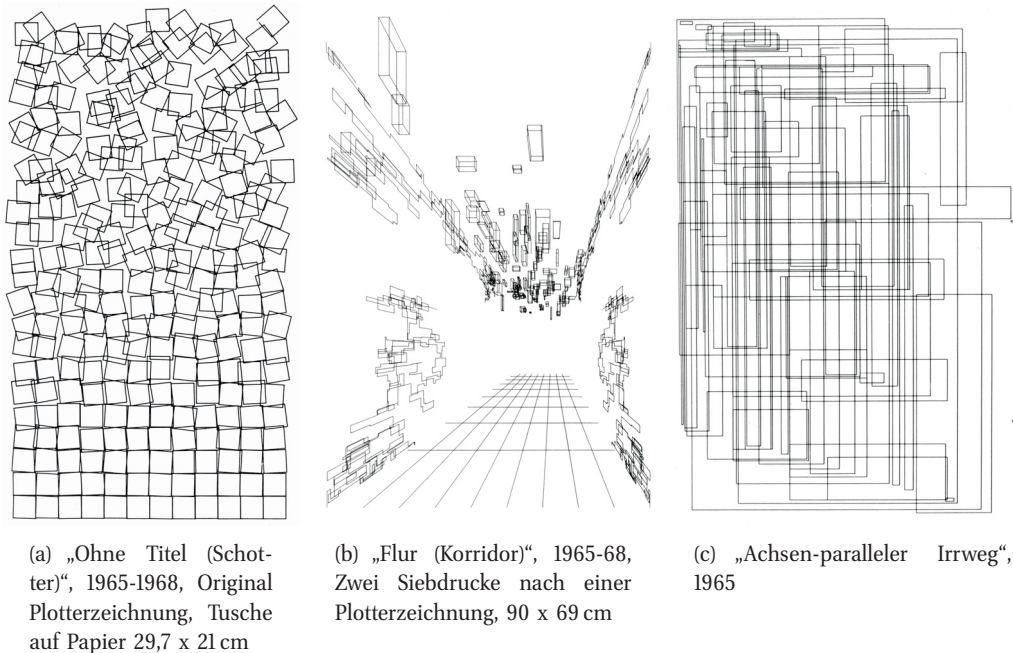


Abbildung 2.1: Algorithmische Bilder von Georg Nees, aus v. l.: Guminski (2002, S. 103), Nake und Arbeitsgruppe compArt (o.J., Abb. (b)-(c))

Wie auch Klütsch (2007) ihn mit Referenz auf Nees (1969, S. 241) abgedruckt hat, wollen wir den Algorithmus zu Bild 2.1(a) zeigen, er ist in Algorithmus 2.1 zu finden. Der Algorithmus berechnet die Quadrate und deren Verschiebungen. Zur Darstellung des Bilds hat Nees eine weitere Prozedur SERIE(QUER,HOCH,XMAL,YMAL,FIGUR) verwendet, die er auch bei zahlreichen anderen Werken benutzt hat (vgl. Nees 1969, S. 185-189). Der Algorithmus zeigt das Resultat des eigentlichen Herstellungsprozesses des Bilds vor seiner Berechnung. Das Bild scheint mehrere Formen zu haben: die Zeilen von abstrakten Anweisungen im Algorithmus und das konkrete Bild an der Wand mit seinen schwarzen Linien.

Nach der Sichtung des Algorithmus lässt ein weiterer Blick auf das Bild eine andere, erweiterte Betrachtungsweise zu. Das Wissen um den Algorithmus ermöglicht dies eventuell auch dann, wenn der nicht nachvollzogen wurde, weshalb auf eine genauere Beschreibung des Algorithmus an dieser Stelle verzichtet wird. Nake und Grabowski (2005) sprechen von einer doppelten Existenz digitaler Bilder, genauer „algorithmischer Zeichen“, argumentieren aus der Semiotik. Das visuell wahrnehmbare Bild wird danach auf einem Ausgabegerät, heutzutage einem Monitor, sichtbar. Bei einem Monitor ist es mosaikartig aus vielen gleichförmigen Pixeln zusammengesetzt und ergibt in der Gesamtbetrachtung ein Bild. Die zweite Existenz schuldet das digitale Bild seiner Entstehung im binären System des Computers. Jegliche digitale Daten bedürfen einer maschinennahen Repräsentation, um sie universell

---

**Algorithmus 2.1** Schotter (Nees 1969, S. 241)
 

---

```

1: 'BEGIN' 'COMMENT' SCHOTTER.,
2: 'REAL' R, PIHALB, PI4T.,
3: 'INTEGER' I.,
4: 'PROCEDURE' QUAD.,
5: 'BEGIN'
6: 'REAL' P1, Q1, PSI., 'INTEGER' S.,
7: JEL.=5*I/264., JA1.= -JEL.,
8: JE2.=PI4T*(1+I/264),,
  JA2.=PI4T*(1-I/264),,
9: P1.=P+5+J1., Q1.=Q+5+J1.,
  PSI.=J2.,
10: LEER(P1+R*COS(PSI),
  Q1+R*SIN(PSI)),
11: 'FOR' S.=1 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
12: 'BEGIN' PSI.=PSI+PIHALB.,
13: LINE(P1+R*COS(PSI), Q1+R*SIN(PSI)
14: 'END', I.=I+1
15: 'END' QUAD.,
16: R.=5*1.4142.,
17: PIHALB.=3.14159*.5., PI4T.=PIHALB*.5.,
18: I.=0.,
19: SERIE(10.0,10.0,22,12,QUAD)
20: 'END' SCHOTTER.,

```

---

nutzbar zu machen. Das Bild wird einerseits speicherbar, editierbar und andererseits auch sichtbar. Die Sichtbarmachung des Bilds ist durch dessen digitale Existenz jedoch nicht auf einen Monitor begrenzt, sondern auch mit einem Drucker, Projektor oder anderen bildgebenden Geräten möglich. Algorithmische Bilder, eine besondere Form digitaler Bilder, haben ebenfalls diese zweifache Repräsentation. Ihre Sichtbarmachung wird, u. a. durch den Stand der technischen Entwicklung in den 1960ern, vor allem durch Plotter ermöglicht.

Nach Manovich (2001) zeichnet die maschinennahe Repräsentation von Objekten, wie digitalen Bildern, „New Media“ (in dieser Arbeit Digitale Medien genannt) im Unterschied zu anderen Medien erst aus. Diese Repräsentation erlaubt die vielfältige Nutzung digitaler Daten, wie die Ausgabe auf unterschiedlichen Geräten. Dazu konstatiert Manovich: „the most fundamental quality of new media that has no historical precedent [is] programmability“ (Manovich 2001, S. 47). Digitale Medien erlauben, als eine Folge ihrer zweifachen Existenz, Veränderung ihrer selbst durch den Benutzer. Von Bedeutung für mein Vorhaben ist, dass Designer und Entwickler digitale Produkte daraufhin gestalten können, dem Benutzer bestimmte Freiräume in der Veränderung zu lassen.

Die zweifache Existenz digitaler Daten erlaubt auch deren Betrachtung auf zweierlei Arten. Einmal sinnlich über die sichtbare Repräsentation am Ausgabegerät und kognitiv über den

Code, der letztlich auf Algorithmen aufbaut. Der Betrachter hat mehrere Möglichkeiten, sich mit einem digitalen Bild auseinanderzusetzen. Für unser Vorhaben im Bildungskontext ziehen wir den Umkehrschluss: Um ein digitales Bild vollständig zu verstehen, müssen beide Betrachtungsweisen eingenommen werden. Eine sinnlich-ästhetische und eine kognitive Zugangsebene sind nötig, um sich digitale Produkte, wie ein digitales Bild, zu erschließen. Bei der Entwicklung digitaler Produkte müssen die zwei Betrachtungsmöglichkeiten berücksichtigt werden, ein Produkt muss beide Zugangsebenen zur Verfügung stellen.

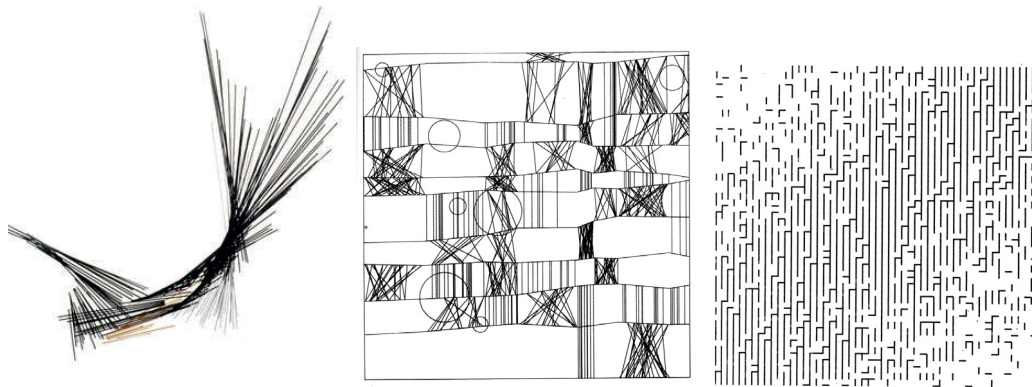
Insbesondere das algorithmische Bild lädt zu der dualen Betrachtungsweise ein, da ein vom Künstler ausgedachter und programmierter Algorithmus das Bild berechnet. Die Ansicht des resultierenden Bilds kann wie die Ansicht eines Gemäldes als ästhetisch empfunden werden. Anders kann der zugrunde liegende Algorithmus für den technikaffinen Betrachter ebenfalls befriedigend sein. Eine umfassende Betrachtung des Bilds bedarf jedoch gemäß seiner zweifachen Existenz einer doppelten Sichtweise. Nur durch die Betrachtung des resultierenden Bilds *und* durch die Kenntnisnahme oder gar Auseinandersetzung mit dem zugrunde liegenden Algorithmus kann ein umfassendes Verständnis vom algorithmischen Bild zustande kommen, so eine These dieses Vorhabens. Mohr äußert sich im Interview mit Nierhoff zu diesem Thema, wobei er von einem Prozess des Verstehens spricht:

„Meines Erachtens gibt es eben zwei, sich nicht ausschließende Arten des Verstehens: ein analytisches und ein ästhetisches.“

*(Mohr in Nierhoff 2007, S. 38)*

Dieser Wechsel der Perspektiven mit dem Ziel, zu einem zweifachen Verstehen von Digitalen Medien zu kommen, wird uns in dieser Arbeit begleiten, wir betrachten ihn u. a. noch in Kapitel 3.1.2, wenn wir über Lernansätze sprechen. Ein algorithmisch erzeugtes Bild wollen wir uns als Beispiel merken, es bietet gemäß seiner mehrschichtigen Erscheinungsform mehrere Ebenen der Auseinandersetzung.

Die Stuttgarter Schule und Benses Vorstellungen haben das Denken und Wirken von Nake beeinflusst. Laut Nadin „untersucht [Frieder Nake] den Raum der möglichen Bilder [...] und führt weiterhin den Begriff der ästhetischen Räume ein“ (Nadin 2003, S.107f). Nake selbst schreibt: „Mit Computern Kunstgegenstände produzieren oder kritisieren zu wollen, kann deswegen kein Ziel an sich sein – nur ein Teilziel im Versuch, die technische Welt bewohnbar zu machen. Worum es dabei höchstens gehen kann, ist, die Hilfe der Maschine in Anspruch zu nehmen – also etwas mit Computern zu tun und nicht etwas von ihnen [...] tun zu lassen“ (Nake 1974, S. 5). Nake interessiert die mathematische Beschreibung künstlerischer Vorgänge gemäß der generativen Ästhetik und stützt sich auf die Semiotik. Die Bilder 2.2(a)-(c) gehören zu den von ihm am meisten referenzierten. Weitere Bilder der Serie „Walk through raster“ und eine ausführliche Beschreibung des Algorithmus sind in Nake (1974, S. 228-241) zu finden. Das Bild „Hommage à Paul Klee“, das das Gemälde „Hauptweg und Nebenwege“ von Klee aus dem Jahr 1929 aufgreift (Nierhoff-Wielk 2007, S. 37), hat er in den



(a) „Geradenscharen. Hommage à Hans Hartung“, 12/7/65 Nr. 2, 1965, Zweifarbig original Plotterzeichnung, Tusche auf Papier, 73 x 62 cm

(b) „Hommage à Paul Klee“, 13/9/65 Nr. 2, 1965, Siebdruck nach Plotterzeichnung, 50 x 50 cm

(c) „Walk through raster“, Serie 2.1-5, 1966, Original Plotterzeichnung, Tusche auf Papier 44 x 44 cm

Abbildung 2.2: Algorithmische Bilder von Frieder Nake, aus v.l.: Nake und Arbeitsgruppe compArt (o.J.), Nake (1967, S.28), Nake und Arbeitsgruppe compArt (o.J.)

2000er Jahren neu interpretiert (Nake et al. 2006). Mit der resultierenden interaktiven Installation „Spannung“ wird „versucht, möglichst viel von den impliziten Eigenschaften seines gespeicherten Modells an der Oberfläche explizit zu machen. Diese Eigenschaften können durch die Handlungen des Benutzers erfahrbar werden. Wir [Susanne Grabowski, Matthias Krauß und Frieder Nake] möchten damit die Vorstellung vom geometrischen Modell durch die handelnde Auseinandersetzung mit ihrer grafischen Darstellung in Bewegung bringen“ (Grabowski 2006, S.262). Die Arbeitsgruppe von Frieder Nake an der Universität Bremen hat mit „compArt daDA: the database Digital Art“<sup>1</sup> eine Datenbank zum Finden früher digitaler Kunst (ca. 1950-1979) im Internet verfügbar gemacht.

Weitere Entwicklungen in der digitalen Kunst in den 1960er Jahren haben vor allem in den USA und auch in England und Frankreich stattgefunden. Die ersten algorithmischen Bilder von Noll, der seinerzeit an den Bell Labs in Murray Hill, New Jersey gearbeitet hat, sind im Jahr 1965 ausgestellt worden. Anstatt nach Regeln objektiver Art für die Produktion und Bewertung ästhetischer Objekte zu suchen – wie es in der deutschen Bewegung eine Intention gewesen sein mag –, verwendet Noll den Computer explizit zum Zwecke des Experimentierens mit algorithmischer Bildgenerierung. Die Bilder 2.3(a)-(c) gehören zu seinen frühen Werken, Bild 2.3(c) ist aus einer Betrachtung des Werks „Komposition mit Linien“ von Piet Mondrian aus 1917 hervorgegangen.

Ein ausgebildeter Künstler, der seit dem Ende der 1960er Jahre und bis heute algorithmische Bilder erstellt, ist Mohr. Aus der Musik kommend, befasst er sich mit Strukturen und

<sup>1</sup>compArt daDA: the database Digital Art, <http://dada.compart-bremen.de/>

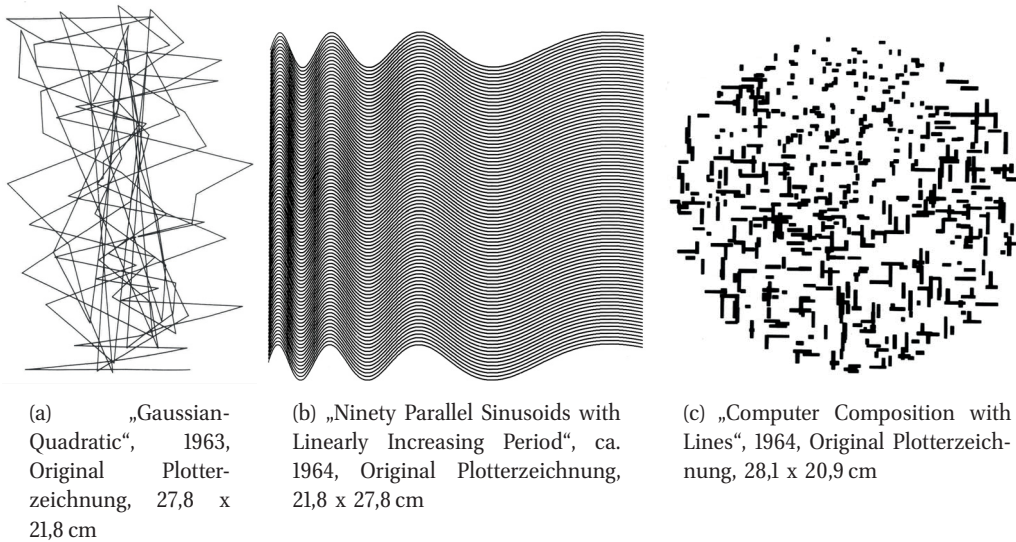


Abbildung 2.3: Algorithmische Bilder von A. Michael Noll, v. l.: Piehler (2002, Abb. 46), Steller (1992, S.116, 324)

Gesetzmäßigkeiten in einem kreativen Raum. Nach Aufenthalten in Spanien, Frankreich und Deutschland lebt und arbeitet er seit Anfang der 1980er Jahre in New York. Die Bilder 2.4(a) und (b) gehören zu seinen ersten algorithmischen Kunstwerken. Mohrs Herangehensweise unterscheidet sich von denen Nakes, Nees und Nolls durch die Sicht auf den Computer. Er sieht ihn als Mittel zum Zweck auf seiner Suche nach ästhetischen Bildern und geht, ähnlich wie Sol LeWitt, sehr strukturiert vor.

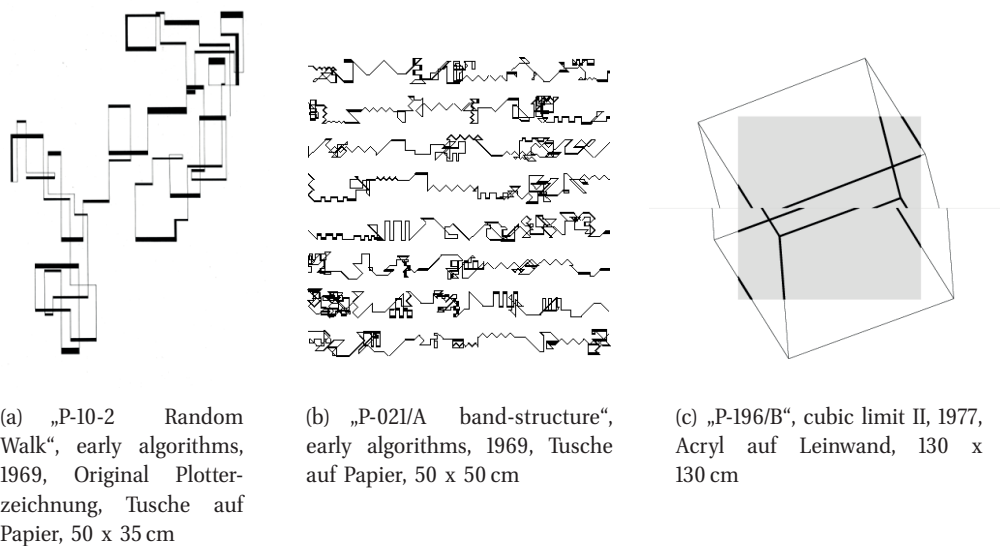


Abbildung 2.4: Algorithmische Bilder von Manfred Mohr I, aus v. l.: Guminski (2002, S.103), Mohr (o.J., Abb. (b)-(c))

In den frühen 1970ern hat er den Würfel als Gegenstand seiner Bilder entdeckt und bis heute beibehalten. Die Bilder 2.4(a)-(c) und 2.5(a)-(c) zeigen wenige Beispiele seiner Ergeb-

nisse. Mohr erforscht die Struktur des Würfels, anfangs des dreidimensionalen und dann des Hyperwürfels im vier-, fünf-, sechs- und schließlich elfdimensionalen Raum. An Mohrs Werken ist für uns interessant, dass in seinen Bildern beide Betrachtungsebenen zu erahnen sind. Die Bilder basieren auf einer Ordnung, einer Struktur, die im Bild sichtbar ist. Die Betrachtung des Bilds lädt zur Erforschung der Struktur ein, die nur über den Algorithmus möglich ist. Die algorithmischen Bilder Mohrs dienen hier als Beispiel für Produkte, die eine kognitive und eine sinnlich-ästhetische Betrachtungsweise zulassen. Beide Ebenen sind, nicht zuletzt durch die Verwendung des Würfels, transparent und nachvollziehbar.

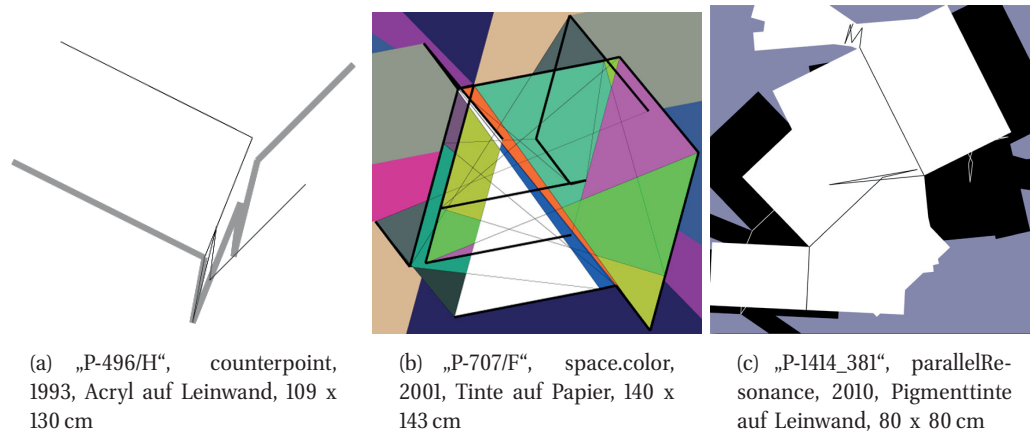


Abbildung 2.5: Algorithmische Bilder von Manfred Mohr II, aus v.l.: Mohr (o.J.), (Herzogenrath et al. 2007, S. 79), Mohr (o.J.)

Nach van Mengden zielt Mohrs Interesse auf „eine strukturelle Untersuchung des formal inhärenten ästhetischen Potenzials der zweidimensionalen Projektion des n-dimensionalen Kubus ab“ (van Mengden 2007, S. 33). Er selbst argumentiert ähnlich:

„What I am interested in are the two-dimensional signs, „etres graphiques“ resulting from the projection of the lines of a cube.“ (Mohr 2002, S. III)

Zunächst beschränkt er sich über Jahrzehnte auf Schwarz, Weiß und Grau, ab der Werkphase *space.color* verwendet er erstmals wieder Farbe (siehe Bild 2.5(b)). Diese Entscheidung ist dem mehrdimensionalen Raum und der wachsenden Komplexität der Würfelstruktur geschuldet, wie Mohr auf seiner Website<sup>2</sup> schreibt. Das Bild 2.5(b)<sup>3</sup> basiert auf dem sechsdimensionalen Würfel. Schließlich zeigt Mohr 2003 erstmals auch bewegte Bilder, sind die bis dahin gezeigten Bilder vor allem Momentaufnahmen einer Rotationsbewegung des Würfels. Aus seiner letzten Reihe *parallelResonance*, die im Frühjahr 2011 im [DAM] Digital Art Museum<sup>4</sup> in Köln und anschließend in Berlin ausgestellt ist, stammt das Bild 2.5(c).

<sup>2</sup>Manfred Mohr, <http://www.emohr.com/>

<sup>3</sup>Dieses Bild wird in dieser Arbeit in veränderter Form als Titelblatt verwendet, die Farbgebung der Kapitelnummern ist ebenso diesem Bild entlehnt.

<sup>4</sup>[DAM] Digital Art Museum, <http://dam.org/gate>

## 2.3 Programmierter Zufall als Gestaltungselement

Was in dem kleinen Exkurs zu den algorithmischen Bildern von Nake, Nees und Noll zu erahnen ist, macht Mohr deutlich. *Ein* Bild ist das Ergebnis *eines* Durchlaufs des Algorithmus. Ein Algorithmus kann eine Serie von ähnlich aussehenden Bildern produzieren, bei Mohr Momentaufnahmen des sich ständig in der Rotation bewegenden Würfels, und bei Nakes „Geradenscharen. Hommage à Hans Hartung“ (siehe Bild 2.2(a)) variieren u. a. Länge, Farbe, Winkel der Geraden. Das Mittel dafür ist programmierter Zufall. Ein Algorithmus kann zufällig Objekte auswählen, bei Mohrs Werken beispielsweise Würfelkanten, und deren Eigenschaften ändern, sie fett darstellen. Die Eigenschaften, und vor allem die diesen zugeordneten Werte, können seinerseits auch zufällig bestimmt werden. Bei dem o. g. Werk von Nake werden Werte, wie Länge und Farbe der Geraden zufällig bestimmt. Nake sagt über den programmierten Zufall:

„Und schließlich war ein letztes radikales, wenngleich nebensächlich erscheinendes Element eingeführt worden [...]: der Zufall! Der berechenbare Zufall, der Zufall also, der keiner ist und sich doch so verhält, als wäre er einer, der Zufall als (An-)Zeichen von Zufall wurde herbeizitiert. Nicht weniger als die lokalen Bildentscheidungen des Künstlers (großsprecherisch „Intuition“ genannt) wurde dem Zufall zugemutet. Ungeheuerlich!“ (Nake 1993, S. 53)

Nake macht mit seiner Äußerung die Anmaßung deutlich, künstlerische „Intuition“ sei durch programmierten Zufall zu ersetzen. Der angedeutete Konflikt interessiert hier nur am Rande, eine kritische Diskussion ist bei Steller (1992, S. 121-161) zu finden. Wollen wir doch den Zufall selbst als algorithmisches Mittel betonen, das Abwechslung und auch Überraschung in algorithmische Bilder bringen soll. Gerade das Freimachen von eigenen Entscheidungen, die geprägt von Herkunft, Kultur und Vorlieben des Künstlers sind, und der sich daraus ergebende erweiterte ästhetische Spielraum sind reizvoll für Mohr (Keiner et al. 1994).

In dem Buch „Generative Gestaltung“ wird der Zufall, neben Logik und Wiederholung, als ein elementarer Baustein für die Entwicklung generativer Bilder genannt (Bohnacker et al. 2009). Das Buch ist im Jahr 2009 erschienen und beschreibt in Theorie und vor allem Praxis die Grundlagen generativer Gestaltung am Beispiel der Programmiersprache Processing<sup>5</sup>. Die generative Gestaltung wird heute auch zur Prozessoptimierung eingesetzt. Der radikale Zeitsprung macht die nachhaltige Wirkung und Bedeutung der algorithmischen Kunst und des dort verwendeten programmierten Zufalls, mit dessen Betrachtung wir nun schließen, deutlich. Zufall schafft eine Abwechslung und überraschende Momente bei der Programmierung, Generierung und Betrachtung algorithmischer Bilder, die auch in bewegten Bildern gelten kann.

<sup>5</sup>Processing, <http://www.processing.org/>



## 2.4 Ausprägungen zeitgenössischer digitaler Kunst

Abseits der algorithmischen Kunst in ihrer Blütezeit, den 1960/70er Jahren, ist die digitale Kunst nicht klar zu fassen und zu beschreiben. Durch die fortschreitende technologische Entwicklung und ein größer werdendes Interesse von Künstlern an deren Verwendung sind diverse Strömungen entstanden, wie Paul konstatiert: „the art itself has multiple manifestations and is extremely hybrid“ (Paul 2008, S. 67). Die Motivation von Künstlern zur Auseinandersetzung mit Technologie soll hier nicht weiter thematisiert werden. Es ist keine Randerscheinung, dass Künstler Erfindungen, Moden und sozio-kulturelle Merkmale ihrer Zeit aufgreifen und sich kritisch mit ihnen auseinandersetzen. Im Folgenden werden einige relevante Kunstrichtungen genannt, um ein Gespür für die Vielfalt digitaler Kunst zu entwickeln. Paul (2008) unternimmt, mit dem Wissen um die Problematik, den Versuch einer Kategorisierung und benennt sechs Felder der Verbindung von Technologie und Kunst. Die Felder „Installation“, „Film, video and animation“, „Internet art and nomadic networks“, „Software art“, „Virtual reality and augmented reality“ sowie „Sound and music“ (Paul 2008, S. 70-138) dienen uns zu einer ersten Orientierung.

Eine Plattform zum Austausch von Künstlern und Wissenschaftlern, die sich an der Schnittmenge von Technologie, Kunst und Gesellschaft positionieren, ist Ars Electronica<sup>6</sup>. Die Organisation Ars Electronica unterhält Zeitschriften, vergibt den Kunstpreis Prix Ars Electronica, betreibt das Museum Ars Electronica Center, das Forschungs-/Kreativzentrum Ars Electronica Futurelab und veranstaltet seit 1979 jährlich das Ars Electronica Festival. Die Tagung, das Ars Electronica Festival, dient dem Austausch von Fachleuten. Ars Electronica hat einen Wendepunkt der Technologie- und Kunstgeschichte Ende 1979 aufgegriffen. Leonardo<sup>7</sup> agiert – u. a. durch das Leonardo Journal – seit 1968 mit dem Ziel, die Kooperation von Kunst, Wissenschaft und Technologie zu fördern. Die Veröffentlichungen der Organisation markieren die Geschichte und zeigen die Vielfalt digitaler Kunst, beispielsweise hat Malina (1989) die digitale Kunst im Leonardo Journal untersucht. Eine umfassende Sammlung von Informationen und Projekten zu digitaler Kunst stellt seit 2001 die mit Preisen ausgezeichnete Internet-Plattform netzspannung.org<sup>8</sup> zur Verfügung (siehe auch Fleischmann und Reinhard 2004; Frieling und Daniels 2004).

Die Vielfalt digitaler Kunst (siehe auch Grau 2007; Popper 2007; ZKM – Zentrum für Kunst und Medientechnologie Karlsruhe und Klotz 1996) macht sich auch in der Bezeichnung bemerkbar. Der Begriff der Medienkunst ist entstanden, dem sämtliche Arbeiten zugeordnet werden können, die Medien – vor allem Digitale Medien – thematisieren, nutzen oder zum

<sup>6</sup>Ars Electronica, [www.aec.at/](http://www.aec.at/)

<sup>7</sup>Leonardo/ISAST, <http://www.leonardo.info/>

<sup>8</sup>netzspannung.org – E-Teaching-Plattform und Online Archiv für Medienkunst vom MARS – Exploratory Media Lab des Fraunhofer-IAIS unter Leitung von Monika Fleischmann und Wolfgang Strauss, <http://netzspannung.org/>

Gegenstand machen. Unser Augenmerk liegt auf der Verwendung von Technologie im Herstellungsprozess oder als Bestandteil des Werks. Kunstwerke, die Technologie thematisieren, sich kritisch mit ihr auseinandersetzen, werden nicht betrachtet, was keine Bewertung, sondern vielmehr eine thematische Einschränkung darstellt. Die eingeschränkte Bezeichnung der digitalen Kunst in diesem Vorhaben ist daher bewusst gewählt und wird auch in diesem Kapitel beibehalten.

Einen vergleichbaren Entstehungsprozess wie die algorithmische Kunst – deshalb findet die Erscheinung hier Erwähnung – haben Bilder, in denen Approximationen fraktaler Objekte dargestellt sind. Algorithmen berechnen Fraktale auf mathematischer Grundlage der Mandelbrot-Menge. Mandelbrot (1977) sieht sein Vorbild in der Natur, beispielsweise Bäumen und Eiskristallen. Das Resultat sind bewegte oder unbewegte Bilder, die aus Objekten bestehen, die wiederum aus selbstähnlichen Objekten zusammengesetzt sind. Fraktale können mit rekursiven Algorithmen berechnet werden, deren Schöpfer sich neben Malern von Fraktalen als Künstler der Fraktalkunst (Fractal Art) begreifen. Die Richtung ist nach Veröffentlichung von Mandelbrots Arbeit aufgekommen und hat ihren Höhepunkt in den 1980-90ern gehabt (siehe auch Pickover 1995; Mandelbrot 1989; Gray 1991; Conde 2001; Steller 1992). Die Fraktalkunst hat mit der frühen algorithmischen Kunst die zentrale Bedeutung des Algorithmus für den Herstellungsprozess gemein. Die Bilder beinhalten die im vorherigen Kapitel diskutierte Mehrschichtigkeit und können aus unterschiedlichen Perspektiven, einer sinnlich-ästhetischen und einer geistig-kognitiven, betrachtet werden.

Einen neu zu erschließenden Raum für die digitale Kunst haben auch die ersten handelsüblichen Computer in den 1980ern und das seit den 1990ern öffentlich zugängliche World Wide Web des Internets geöffnet. Die künstlerische Nutzung und Interpretation des Internets wird unter dem Sammelbegriff Netzkunst (auch Internet Art) gefasst und beinhaltet sehr unterschiedliche Richtungen, wie beispielsweise die Mail Art, in der der Versand von virtuellen Nachrichten als Medium verwendet wird. In weiteren Richtungen entwickeln und nutzen Künstler Websites oder Computerspiele (Greene 2004). Eine breitere Bezeichnung als Netzkunst ist Network Art (Corby 2006; Brown 1997), die auch analoge Medien einschließt. Auf eine detaillierte Betrachtung der Netzkunst wird hier verzichtet, vielmehr werden exemplarisch einige Bewegungen und Plattformen vorgestellt, um einen ersten Eindruck zu vermitteln und Hinweise für eine weitere Betrachtung zu geben.

Auer et al. (o.J.) sind Herausgeber von [netzliteratur.net](http://www.netzliteratur.net/)<sup>9</sup>, einer Plattform im Internet, die Publikationen und Projekte über Geschichte, Theorie und Praxis von Netzkunst zur Verfügung stellt und eine gute Quelle für eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Thema darstellt. Eine Bewegung der Netzkunst, soviel sei hier erwähnt, ist [net.art](http://www.net-art.org)<sup>10</sup>, die sich für die Etablierung der Kunstrichtung einsetzt und auf ihrer Website eine Vielzahl an Netzkunst-

<sup>9</sup>[netzliteratur.net\\_Netzliteratur//Internetliteratur//Netzkunst](http://www.netzliteratur.net/Netzliteratur//Internetliteratur//Netzkunst), <http://www.netzliteratur.net/>

<sup>10</sup>[net.art](http://www.net-art.org), <http://www.net-art.org>

Projekten und Künstlern vorstellt. Eine weitere Plattform zur Vernetzung und Vorstellung von Netzkünstlern ist Rhizome<sup>11</sup>. Seit 1991 hat sich das von Wolfgang Staehle gegründete Projekt The THING<sup>12</sup> von einem Informationssystem zur einer Vernetzungsplattform von Netzkünstlern entwickelt. Exemplarisch für entsprechende Künstlergruppen soll abschließend 0100101110101101.ORG<sup>13</sup> genannt werden, die seit den 1990er Jahren eine Vielzahl an Projekten kreiert hat (siehe auch Greene 2004; Paul 2008; Weibel und Druckrey 2001; Baumgärtel 1999).

Eine Erscheinung, die mit Web 2.0 eine Plattform zur Verbreitung gefunden hat, ist die von den Vertretern so genannte ASCII Art. Greene (2004) ordnet diese Erscheinung der Internet Art zu, ohne dabei den Begriff ASCII Art zu verwenden. In der Kunstgeschichte ist die Verwendung von kleinsten Elementen, aus denen sich ein großes Gesamtbild zusammensetzt, in verschiedenen Kunstrichtungen wiederzufinden. Die bildnerische Kunst und auch die Architektur können Beispiele von Werken aus Mosaiken geben, beispielsweise die mosaikartigen Bilder von Kenneth Knowlton, der in den 1960er Jahren zeitweilig mit Michael Noll an den Bell Labs zusammen arbeitete (Knowlton 2004, o.J.). ASCII Art Bilder werden aus den Zeichen des ASCII Zeichensatzes zusammengesetzt, zumeist wird ein Texteditor, manchmal eine generierende Software zur Erstellung verwendet. Einfachste Beispiele für ASCII Art sind Emoticons, Bilder können jedoch aus vielen Zeilen und Spalten bestehen, sind teilweise animiert (Greene 2004; Xu et al. 2010). Eine ASCII Art Künstlergruppe ist das ASCII Art Ensemble<sup>14</sup>, bestehend aus Walter van der Crujisen, Luka Frelih und Vuk Cosic. Mit der Konstruktion von Bildern durch ASCII Zeichen werden Zeichen in einen anderen Zusammenhang, nicht gemäß ihrem ursprünglichen Zweck, gebracht. Die Bilder tragen eine digitale Signatur, gleichgültig was der Gegenstand ist. Die zweite Ebene, bestehend aus der technischen Repräsentation digitaler Bilder, ist mit den technischen Zeichen im Bild zu sehen und wird auf die sinnlich erfahrbare Ebene gebracht.

Kurz sei noch der Einsatz von Digitalen Medien in der Schmuck- und Modebranche erwähnt. Mit Digital Jewelry hat sich für Designer, Techniker und Künstler ein Forschungs- und Wirkungsfeld entwickelt, in dem kleinste Technologiebausteine in Schmuck eingebaut werden, um dort ihre Funktion zu erfüllen. Sensorik und Aktuatorik wie LEDs und leitfähige Materialien werden in der Smart Fashion (auch Smart Textiles) eingesetzt, wodurch Kleidungsstücken zusätzliche Funktionalität oder besonderes Aussehen verliehen wird (siehe auch Olivier und Wallace 2009; Wallace und Dearden 2011; Seymour 2008; Berzowska 2005; Black und Baker 2005).

Eine Hommage an die Zeichnungen von Kindern, die in unserem Vorhaben die Zielgruppe sind, ist das Projekt Rose (Representation Of Spatical Experience) von Burton (1995, 1997).

<sup>11</sup>Rhizome, <http://rhizome.org>

<sup>12</sup>The THING, Website New York, <http://www.thing.net/>

<sup>13</sup>0100101110101101.ORG, Eva und Franco Mattes, <http://0100101110101101.org>

<sup>14</sup>ASCII Art Ensemble, <http://www.ljudmila.org/~vuk/ascii/aae.html>

Eine Maschine erkennt die Struktur dreidimensionaler Objekte und zeichnet diese ab, wobei die Strichführung denen von Kindern ähnelt. Einen Apparat, der Kunst macht, haben wir bereits mit Cohens Aaron (siehe Kapitel 2.1) kennengelernt.

Ein weiteres Einsatzgebiet von Digitalen Medien in den Künsten sind die Performance Studies, die innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte vermehrt mit Technologie auf der Bühne experimentieren. Evert (2003) untersucht dieses Feld in ihrem Buch „DanceLab – Zeitgenössischer Tanz und Neue Technologien“. In Aufführungen werden Projektionen von Filmen und unbewegten Bildern sowie Monitoranzeigen im Bühnenbild verarbeitet. Der Einsatz von Sensorik und damit wirklicher Interaktivität zwischen Tänzer und Bühne bzw. Bühnenbild wird ausprobiert. Licht- und Klangeffekte werden durch die Bewegungen von Tänzern geschaltet, Bewegungssensoren an der Kleidung des Tänzers oder Schalter und Lichtschranken auf der Bühne installiert. Software ermöglicht einerseits Tanznotation, anhand derer beispielsweise Choreografien und Trainingspläne ausgearbeitet werden können, und andererseits die Simulation der Notationen anhand von Strichmodellen. Weitere Programme, z. B. Life Forms, ermöglichen die grafische Animation von Modellen zur Erstellung von Choreografien (Evert 2003). Aus dem Bereich des Motion Capturing gibt es Ansätze zur Optimierung des Trainings von Tänzern, bei denen Sensoren am Tänzer befestigt werden und die Bewegungen in eine 3D-Simulationsumgebung am Computer übertragen werden. Die Nutzung interaktiver Technologien auf der Bühne über die Bedienung der Bühnentechnik hinaus befindet sich jedoch noch im Experimentierstadium.

Die Verschränkungen von performativen Künsten, Digitalen Medien und Installationskunst beschreibt Dixon (2007) umfassend in „Digital Performance“. Er schildert einen großen Fundus an Projekten in diesem Bereich. In dem Projekt „The Girlfriend Experience“<sup>15</sup> von Butler (2008) wird, entgegen unserer thematischen Ausrichtung, Technologie zwar verwendet; jedoch sind Hardware und Software nicht die Gegenstände des Projekts, auf die hier hingewiesen werden soll. Dessen Relevanz für unser Vorhaben liegt im performativen Charakter und seiner Interaktivität, also der Einbeziehung von Zuschauern. Das Projekt steht hier exemplarisch für eine Klasse solcher Installationen. In einem komplett einsehbaren Raum halten sich mehrere einheitlich gekleidete Personen, sogenannte Avatare, auf. Über eine Sprechverbindung kann der Besucher für einen bestimmten Zeitraum mit einem Avatar im Raum kommunizieren, ihm Handlungsanweisungen geben. Die Installation lud nach ihrer ersten Ausstellung bei Mediamatic 2007 zwischenzeitlich über das Internet zur aktiven Beteiligung ein, respektive tut dies im Rahmen weiterer Ausstellungen. Für Butler thematisiert „The Girlfriend Experience“ soziales Handeln im virtuellen Raum, das durch die Verbindung des Gegensatzes von Anonymität und Intimität entsteht (vgl. Butler 2008, S. 224).

---

<sup>15</sup>Martin Butler, The Girlfriend Experience, <http://www.mediamatic.net/page/34356>

An der Schnittstelle von Kunst und Informatik lässt sich auch Aesthetic Computing verorten, auf das hier kurz hingewiesen sei. Es beschäftigt sich mit dem Einfluss der Kunst auf die Informatik. Nach Gelernter gibt es eine sogenannte *Machine Beauty*, deren Anerkennung von großer Bedeutung für die Entwicklung guter und erfolgreicher Technologie ist (Gelernter 1998a,b). Gute digitale Produkte besitzen, auch in der Programmierung, ästhetische Aspekte. Ein Grund ist nach Gelernter die große Komplexität digitaler Produkte. Eine Sammlung von lesenswerten Artikeln zu Aesthetic Computing aus Perspektive der Kunst und Informatik hat Fishwick (2007) herausgebracht und Aesthetic Computing im Vorwort als „the application of the theory and practice of art to the field of computing“ (Fishwick 2007, S. 6) definiert.

Die vorgestellten Bewegungen und Beispiele aus der zeitgenössischen digitalen Kunst lassen sich durch ihre großen Unterschiede kaum einheitlich betrachten. Sie haben die Nutzung von Digitalen Medien gemein, durch deren inhärente Eigenschaften sich nach Paul eine andere Form der künstlerischen Auseinandersetzung bietet:

„The digital medium’s distinguishing features certainly constitute a distinct form of aesthetics: it is interactive, participatory, dynamic, and customizable, to name just a few of its key characteristics.“  
(Paul 2008, S. 67)

Der Benutzer kann aktiv eingebunden werden, wodurch die Betrachtung einer Beteiligung weicht. Das Projekt wird erst durch die Intervention des Benutzers komplett bzw. kommt gar erst in diesem Zuge zustande. Die Kunstperzeption wird zu einer Erfahrung im Sinne Deweys. Die Begegnung des Benutzers mit dem Kunstwerk bekommt insbesondere im Hinblick auf Deweys „Art as Experience“ eine umfassendere Bedeutung (Dewey 1949a). Auf die Begrifflichkeit von Experience und das Fachgebiet des (User) Experience Design kommen wir im folgenden Kapitel 3 zu sprechen. Deweys Vorstellung einer Erfahrung dient bei Wright et al. (2008) als Grundlage für ein Framework zur Erzeugung von *Aesthetic Experiences*, in dem Designrichtlinien bei der Gestaltung unterstützen sollen. Als praktisches Beispiel verwenden Wright et al. eine Entwicklung aus der Digital Jewelry. Einen weiteren für uns relevanten Wirkungskreis hat Dewey in der Bildung. Für unser Vorhaben sei festgehalten, dass digitale Technologie zwei Betrachtungsweisen zulässt. Digitale Produkte können in ihrer abstrakten Struktur – zum Beispiel ihren Algorithmen – kognitiv und in ihrer konkreten Manifestation sinnlich ästhetisch erschlossen werden. Die digitale und insbesondere die algorithmische Kunst haben wir als Beispiel herangezogen.

## 2.5 Zusammenfassung

Die digitale Kunst zeichnet sich durch die Kombination von Informatik und Kunst, von abstrakten Strukturen und konkreter Erfahrung aus. Dadurch enthalten die Werke algorithmischer Kunst eine Mehrschichtigkeit, die für unser Vorhaben interessant ist. Sie ermöglicht

es, ein Bild aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten. Erst durch das Einnehmen unterschiedlicher Blickwinkel kann ein umfassendes Verständnis von Digitalen Medien erlangt werden. Ein algorithmisches Bild muss – wie auch Digitale Medien – kognitive und sinnlich-ästhetische Zugangsebenen bieten, damit sie verstanden werden können. Die Gestaltung Digitaler Medien muss mehrere Betrachtungsweisen öffnen und fördern, damit sie erschlossen werden können.

Ein algorithmisches Bild, so haben wir gelernt, ist ein von einem Algorithmus berechnetes Bild. Der Algorithmus wiederum wird von einer Person, vielleicht einem Künstler, erdacht. In der frühen digitalen Kunst der 1960er Jahre wird der Computer, der noch im unpraktisch raumfüllenden Format und mit unhandlicher Lochkartenbedienung daherkommt, erstmals zur Berechnung von Bildern eingesetzt. Einige Pioniere dieser erst später als solcher anerkannten Kunstrichtung sind Nake, Noll und Nees. Wir haben Bilder von ihnen und Mohr betrachtet und festgestellt, dass sie eine mehrschichtige Auseinandersetzung zulassen. Das Bild existiert konkret als beispielsweise geplottetes Ergebnis der Berechnung mit Farbstriichen, -klecksen und -flächen, zur Befestigung an einer Wand, zum Betrachten und Erfreuen. Aber auch in seiner abstrakt-technischen Repräsentation im Computer ist es als maschinenlesbarer Code vorhanden. Dies hat es mit allen digitalen Bildern gemein.

Algorithmische Bilder bieten im Unterschied zu anderen digitalen Bildern durch den erdachten Algorithmus als Bildgenerierungsinstrument eine Ebene, die für mein Vorhaben von besonderem Interesse ist. Algorithmen sind ein Zugang, sich die technische Existenz des Bilds zu erschließen. Sie können dazu eingesetzt werden, forschendes Lernen über und durch Digitale Medien zu unterstützen. In Algorithmen manifestiert sich die Regelmäßigkeit Digitaler Medien. Und durch Algorithmen können Digitale Medien kognitiv begreifbar werden. Dazu müssen Algorithmen Gegenstand der Auseinandersetzung werden und in den Gestaltungsprozess digitaler Produkte eingebunden werden.

Programmierter Zufall ist ein Element der algorithmischen Kunst, mit dem überraschende Resultate erzeugt werden. In meinem Vorhaben ist der Zufall von Bedeutung, um Abweichung vom Determinismus und somit Abwechslungsreichtum zu erreichen. Ein Algorithmus kann eine Vielzahl unterschiedlicher Ergebnisse berechnen. Im Gestaltungsprozess Digitaler Medien kann der Zufall zu diesem Zweck als Gestaltungselement eingesetzt werden.

Nach der ersten Ars Electronica 1979 wird die digitale Kunst diverser und lässt nicht mehr klar zu beschreiben. Mit der Verbreitung des Internets bietet sich eine weitere Plattform für künstlerische Produkte. Die Weiterentwicklung der Technologie und deren Verfügbarkeit ermöglichen die Gestaltung von Projekten mit performativem, interaktivem Charakter. Auch die zeitgenössische digitale Kunst lässt in ihrer Gesamtheit, so halten wir fest, durch die Verwendung und/oder Thematisierung Digitaler Medien eine sinnlich-ästhetische und eine kognitive Betrachtungsweise zu. Für mein Vorhaben ist die Einbeziehung des Betrachters als

Akteur interessant, die in der zeitgenössischen digitalen Kunst zu finden ist. Der Akteur ist in meinem Vorhaben der Lernende und muss sich Digitale Medien in einem aktiven Prozess erschließen. Ein digitales Produkt muss diesen Prozess unterstützen. Ein Mittel dafür ist die Einbindung performativer Elemente.





# 38 Gestalten

Be-greifbare Interaktion und Kinder

*Klara, Mendi, Amelie und Johanna stehen am Rand um die Schwarmfläche. Mendi sagt: „Lasst uns abwechselnd nacheinander hineingehen und hinausgehen. Mal sehen, ob wir es hinkriegen, dass es so aussehen wird, als ob die Lichtpunkte auf einer Welle schwimmen, die sie rein- und raustreiben lässt?“ Johanna geht als erste vorsichtig drei Schritte hinein, um dann etwas schneller hinaus zu gehen. Kaum bewegt sie sich hinaus, schnellen die Lichtpunkte zum gegenüberliegenden Rand, um dann wieder zurück zu „schwimmen“ und sich vibrierend über die Fläche zu verteilen. Nacheinander folgen Klara, Amelie und Mendi. Irgendwie braucht der Schwarm einen Moment dafür, die Besucher zu registrieren und auf sie zu reagieren. Je schneller sie sich hinaus bewegen, desto schneller kehren die Lichtpunkte zurück, wird die Schrittfolge zu schnell, reagiert der Schwarm nicht oder wird an alle Ränder verscheucht.*

*Ingo und Matthias haben eine Idee: Von den gegenüberliegenden Rändern rennen sie zum Zentrum des Schwarms, um dort einen Handstand zu machen und dann wieder hinaus zu rennen. „Die Lichtpunkte springen einfach zum Rand“, sagt Batuhan und Galina ergänzt: „Das finden die auch nicht besser als das Reinlaufen“. Matthias probiert, auf dem Boden hineinzurollen, und richtet sich in der Mitte auf. Beim Reinrollen tanzen die Lichtpunkte auf seinem hellen T-Shirt, so wie es sonst auf den Boden zu sehen ist. Beim Aufrichten umtanzen sie ihn. „Versuch Dich ganz langsam aufzurichten, das sieht dann toll aus“, ruft Lena.*

*Lena möchte das gleich selber mit Johanna ausprobieren. Von gegenüberliegenden Ecken rollen sie schnell aufeinander zu, stoppen in der Mitte, verharren einen Moment und richten sich dann wie in Zeitlupe auf. Beim Rollen tanzen die Lichtpunkte auf ihnen und beim Aufrichten gibt es einen Punkt, an dem die Lichtpunkte sie bemerken und anfangen, um sie herumzutanzten. „Hey, das sieht aus, als taucht ihr unter den Lichtpunkten, und wenn ihr auftaucht, fließen die an euch runter“, sagt Amelie.*

*Yannick versucht sich als Krebs, Johanna, Klara, Ingo und Yannick probieren nacheinander verschiedene Bewegungen aus. Dabei bekommen sie heraus, wann der Schwarm reagiert und zu welchen Mustern und Bewegungen sie den Schwarm bringen können. Es entwickelt sich ein Wechselspiel zwischen dem jeweiligen Akteur und dem Schwarm. Die Gruppe ist konzentriert bei der Sache, aber es wird auch viel gelacht und die schönsten Ergebnisse der „Schwarmtänze“ kommentiert.*

Die Kinder entwickeln nun erste Thesen, wie der Schwarm auf ihre Bewegungen reagiert. Sie überlegen sich Strategien, nach denen sie ihre Vermutungen überprüfen können. In diesem Kapitel wollen wir einige Konzepte und Herangehensweisen kennenlernen, die derartige gestalterischen Prozesse von Erwachsenen und Kindern zu fassen und zu nutzen versuchen. Im Hinterkopf behalten wir die Eindrücke aus Kapitel 2, es gibt zwei Ebenen der Auseinandersetzung: sinnliche Erfahrung und kognitives Verständnis. Für uns gilt es, beides zu verbinden. Dazu werden wir zunächst einen Blick auf Lernen und Pädagogik über und durch Digitale Medien werfen. Die Grundlagen zu Lernprozessen und Medienbildung tragen dazu bei, ein Verständnis für die Anforderungen der Gestaltung und Entwicklung von digitalen Produkten in der Medienbildung darzulegen. Anschließend werden Ansätze der Mensch-Computer-Interaktion dargestellt, die sinnliche und kognitive Aspekte haben. Auf den Entwicklungsprozess für derartige Produkte wird im Anschluss eingegangen. Nach einem kurzen historischen Exkurs wird das Gebiet *Experience Design* beschrieben und die besonderen Anforderungen der Entwicklung digitaler Produkte für Kinder diskutiert. Diese Darstellung soll uns helfen zu verstehen, wie der Entwicklungsprozess von digitalen Produkten in der Medienbildung für Kinder zu gestalten ist.

### 3.1 Lernprozesse und Medienbildung

Die Gestaltung und Entwicklung digitaler Produkte bedarf der Betrachtung des Anwendungsgebiets. In diesem Kapitel entwickeln wir zunächst ein Verständnis von Lernprozessen. Anschließend diskutiere ich Strategien zur Förderung eines selbstgesteuerten Lernens.

Bei der Definition des Begriffs Medienbildung stütze ich mich auf die Beschreibung der BMBF-Expertenkommission zur Medienkompetenz (Schelhowe et al. 2009), die auch in der Einleitung erwähnt ist (siehe Kapitel 1). Danach sollen junge Menschen Digitale Medien einerseits benutzen und beurteilen können. Andererseits fordert die Kommission, Medien zum Gegenstand der Auseinandersetzung zu machen und ein selbstgesteuertes Lernen zu ermöglichen.

Die pädagogischen Überlegungen dieses Ansatzes zur Vermittlung von Medienbildung nach Schelhowe et al. sind an die Grundlagen der Reformpädagogik angelehnt. Danach wird die gesteuerte Einbeziehung unterschiedlicher Sinne der Lernenden als förderlich betrachtet. Der ganze Körper soll in den Lernprozess einbezogen werden, so dass Lerninhalte ganzheitlich erfahren und verstanden werden können (Zacharias 1994). Multisensuelle Wahrnehmung für das Lernen hat eine lange Geschichte, ist in der Pädagogik beispielsweise nach Montessori verankert (Polk Lillard 1988).

Kraus (2008) diskutiert mit anderen Autoren die Potentiale von Körperlichkeit für die Anwendung in der Schulbildung mit dem Fokus auf der „anthropologisch-phänomenologischen

Theoriebildung“. Dabei zieht Layer in dem Beitrag „Freie Improvisation: eine Schule der Interaktion und der Bewegung“ die Improvisation aus der Musik als Mittel heran. Sie konstatiert: „[...] Bewegung findet nicht nur an einem *Ort* und in einem vorgegebenen Raum statt, sie bildet auch selbst einen spezifischen Raum.“ (Layer 2008, S.17) Und wenig später heißt es weiter:

„Mit der Freien Improvisation bewegen wir uns in einem *ästhetischen* Kontext. Die Freie Improvisation hat es sich zur Aufgabe gemacht, bewusst habituelle Verhaltensweisen aufzubrechen, ohne dabei neue Dogmen zu entfalten. Für den frei Improvisierenden bedeutet dies ein stetes *Suchen*, ein Suchen nach einem eigenen situationsbedingten *Rhythmus*“. (Layer 2008, S.19)

In der Medienbildung können Digitale Medien selbst als Raum erlebt werden, in dem Kompetenzen erworben werden. Der Lernende soll dabei unterstützt werden, einen eigenen Lernrhythmus zu finden und Digitale Medien unmittelbar zu erfahren. Es bleibt zu untersuchen, welche Vorstellungen von Lernprozessen und pädagogischen Ansätzen zur Medienbildung herangezogen werden können.

### 3.1.1 Konstruktionismus

Eine Vorstellung dazu, wie Kompetenzen erworben, also wie gelernt wird, stellt der *Konstruktionismus* dar. Seymour Papert, der Begründer des Konstruktionismus, ist Mathematiker und gründete am MIT gemeinsam mit Minsky das Artificial Intelligence Laboratory. Durch seine Arbeit mit Piaget begann er, sich mit Kindern und Computern in der Bildung zu beschäftigen. Er gründete die Epistemology and Learning Research Group und erfand Ende der 1960er die Programmiersprache LOGO. Auf dem *Konstruktivismus* beruhend hat Papert den Konstruktionismus entwickelt, der von der konstruktivistischen Vorstellung ausgeht, Wissen werde vom Lernenden konstruiert.

Der Konstruktivismus geht auf den Entwicklungspsychologen Jean Piaget zurück, der Lernen und Erleben des Menschen als Konstruktionsprozess versteht. Jeder Mensch hat ein Modell der Welt, in das er neue Erfahrungen einordnet und es somit lebenslang verändert und erweitert. „The world is thus assembled in the learner’s head; in a sense, we could say that it is (re)-constructed“, fasst Speck-Hamdan (2005, S.5) zusammen. Die Konstruktion von Wissen ist für Konstruktivisten ein individueller Prozess und kann nicht verallgemeinert werden (Vollmers 1997). Piaget (1969) hat außerdem ein vierstufiges Modell der menschlichen kognitiven Entwicklung entwickelt, das vom konkreten Erleben zum abstrakten Denken als höchster Stufe führt, auf das hier nicht eingegangen wird. Papert fasst seine Vorstellung von Konstruktionismus mit einem Satz zusammen:

„The simplest definition of constructionism evokes the idea of learning-by-making“. (Papert und Harel 1991, S. 4)

Zur thematischen Nähe und Abgrenzung seines Konstruktivismus und Piagets Konstruktivismus äußert sich Papert wie folgt:

„Constructionism - the N word as opposed to the V word - shares constructivism's view of learning as „building knowledge structures“ through progressive internalization of actions... It then adds the idea that this happens especially felicitously in a context where the learner is consciously engaged in constructing a public entity, whether it's a sand castle on the beach or a theory of the universe.“  
(Harel und Papert 1991, S.1)

Der konkrete Umgang mit Objekten schafft nach Papert einen Kontext, in dem der Lernende gestalterisch tätig wird und dadurch ein Interesse am Thema entwickelt. Ackermann fasst einen Hauptunterschied zwischen Paperts Konstruktivismus zu Piagets Konstruktivismus zusammen und betont Paperts Einschätzung zur Bedeutung von Kontext fürs Lernen:

„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. *Becoming one with the phenomenon under study* is, in his view, a key to learning.“  
(Ackermann 2001, S. 92)

Papert sieht das aktive Handeln des Lernenden, genauer das Konstruieren von Objekten, als effiziente Lernmethode. Ein Objekt kann materiell oder immateriell sein, wie beispielsweise ein Computerprogramm, wohingegen für Dewey (1949b) Erfahrung immer einen materiellen Charakter hat, der mit der Beziehung zum Körper zu tun hat. Diese manifestiert sich im Handeln: „Wenn Menschen etwas über Dinge feststellen wollen, müssen sie etwas tun.“  
Dewey (1949b, S. 359)

Durch Tätigkeit und Erschaffung eines Objekts, eines *object-to-think-with* im Sinne von Paperts Konstruktivismus, wird die Konstruktion von Wissen am besten unterstützt. Die Eigenschaft des Computers, das Konkrete und das Abstrakte zu verbinden, ist für pädagogische Kontexte von Papert und seiner Gruppe als Potential beschrieben worden. Im Konstruktivismus beschreiben sie die Möglichkeit, dass Kinder mit konkreten Materialien etwas herstellen, das sie über deren Programmierung zu einem zunehmenden Verständnis abstrakter Konzepte (im Sinne Piagets) führt. Ein Objekt kann ausgetauscht, gezeigt und diskutiert werden, es ist be-greifbar (Kafai und Resnick 1996; Harel und Papert 1991).

Voraussetzung zum Lernen ist für Papert die Nähe zum Lerngegenstand, nicht die Distanz. Erst wenn das *object-to-think-with* eine persönliche Bedeutung für den Lernenden hat, kann er sich mit ihm auseinandersetzen und lernen. Durch das selbstgesteuerte Erschaffen des Objekts im Rahmen eines vom Lernenden selbst definierten Vorhabens bekommt es Bedeutung. Resnick und Ocko (1991) bezeichnen diesen Aspekt als Kern von Paperts Konstruktivismus für das Lernen.

Ein klassisches Beispiel für die Umsetzung des Konstruktivismus unter Verwendung von Technologie sind Construction Kits. Die mit technischen Kleinteilen bestückten Baukästen schaffen eine konstruktivistische Lernumgebung. Einen konkreten Ansatz hat das Projekt EduWear<sup>1</sup> mit einem Smart Textiles Construction Kit, der visuellen Programmierumgebung Amici sowie einem Workshopkonzept geliefert (Katterfeldt et al. 2009; Dittert et al. 2008). Buechley (2006) hat ein Kit mit ähnlicher thematischer Ausrichtung entwickelt, nennt die Materialien *e-textiles*. Die atomaren Elemente der von Kindern entwickelten Produkte sind beispielsweise Sensoren, Aktuatoren, Controller, Kabel, leitfähiger Stoff und Faden. Sie sind im Einzelnen mit mehreren Sinnen zu erforschen und können zu von Kindern erdachten und entwickelten – also für sie bedeutungstragenden – Produkten zusammengesetzt werden. Die Produkte werden durch eine von Kindern programmierte Software gesteuert. Hier findet sich die in Kapitel 2.4 erwähnte Smart Fashion wieder und wird im Bildungskontext eingesetzt.

### 3.1.2 Tanz der Perspektiven

Eine den Konstruktivismus erweiternde Vorstellung von Lernprozessen, die ich *Tanz der Perspektiven* nenne, hat Edith Ackermann. Sie ist Psychologin und hat vor ihrer Lehr- und Forschungstätigkeit am MIT und der Universität von Aix-Marseille mit Piaget und Papert an der Universität in Genf gearbeitet. Sie konstatiert:

„People cannot learn from their experience 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, S. 28)

Innerhalb des Lernprozesses muss es Gelegenheit zur distanzierten, erkenntnisbildenden Reflexion geben, die wieder von immersivem Erleben abgelöst wird, so dass ein fortlaufendes Kontinuum entsteht. Ackermann beschreibt diesen Kreislauf als Grundlage für komplexes Lernen und nennt beide Phasen *Diving-in* und *Stepping-out*; während *Stepping-out* der Dekontextualisierung und Verarbeitung der Eindrücke, der Wissenskonstruktion dient, kennzeichnet *Diving-in* das Eintauchen, die Immersion. Die Herausforderung besteht darin, eine Umgebung zu schaffen, die einen fließenden Übergang zwischen beiden Phasen ermöglicht.

Das Projekt RoBalett vom MIT Media Lab in Zusammenarbeit mit dem National Dance Institute (Cavallo et al. 2004) schafft eine solche Lernumgebung, in der Kinder ihre eigene Tanzaufführung gestalten. Sie choreographieren ein Stück und statten sich und die Bühne mit Sensorik aus. Sie bauen Roboter, komponieren Musik und organisieren die Lichttechnik. Das Zusammenspiel aller technologischen Elemente wird von ihnen programmiert. Das

<sup>1</sup>dimeb, Eduwear, <http://dimeb.informatik.uni-bremen.de/eduwear/>

Projekt ermöglicht den Kindern einerseits, in die Situation einzutauchen, und andererseits, mit Abstand neue Erkenntnisse zu gewinnen.

### 3.1.3 Playful Learning

Auf pädagogischer Ebene anzusiedeln ist *Playful Learning*, ein Ansatz zur Förderung selbstgesteuerten forschenden Lernens, der vornehmlich für die Zielgruppe „Kinder“ entwickelt wurde. Mitchel Resnick, der Begründer des Playful Learning, leitet am MIT Media Lab die Forschungsgruppe Lifelong Kindergarten. Auf Grundlage der Programmable Bricks von Resnick hat die Firma LEGO® die Mindstorms Robotics Kits mit eigener Programmierumgebung herausgebracht. Mit seiner Forschungsgruppe hat Resnick das Programm Scratch<sup>2</sup> entwickelt, das Kindern das Gestalten, Programmieren, Veröffentlichen und Diskutieren von digitalen Produkten wie Computerspielen, Simulationen und interaktiven Tutorials ermöglicht (Resnick et al. 2009).

Resnick distanziert sich von dem Begriff Edutainment und schlägt stattdessen Playful Learning vor. Edutainment suggeriert nach Resnick (2004) die Passivität des Lernenden als Rezipient einer Dienstleistung. Zudem möchte er Lernen nicht als nötiges Übel verstanden wissen, das als Spiel verpackt werden muss, um es zu vermarkten. Lernen sollte nach Resnick die eigentliche Beschäftigung sein, die Spaß machen kann, wie auch Spielen Spaß machen kann.

Resnick sieht den Spieltrieb und die natürliche Neugier von Kindern als Potential und die daraus resultierende Motivation als Voraussetzung zum Experimentieren und spielerischen Lernen. Das Ziel ist die Generierung von Bedeutung in das Geschehen aus Sicht des Lernenden. Ein wichtiger Baustein ist die aktive Einbindung der Lernenden in den Gestaltungsprozess der Lernumgebung und -inhalte. Er betont die Bedeutung der Ausgestaltung von Lehrinhalten nicht für, sondern durch den Lernenden, anhand eigener Tätigkeiten. Die Erfahrung durch Versuch und Misserfolg in einer Lernumgebung, gekoppelt mit Engagement und dem Willen zu einem erfolgreichen Projektabschluss, sind Faktoren für ein selbstbestimmtes Lernen, das keiner extrinsischen Motivation bedarf.

Charsky hat wie Resnick eine kritische Einstellung zu Edutainment-Produkten und Serious Games und stellt eine Liste mit Charakteristika solcher Produkte auf: „Competition and Goals“, „Rules“, „Choice“, „Challenges“, „Fantasy“ (Charsky 2010, S. 181-193). Er argumentiert, dass Serious Games und Edutainment Software keine herkömmlichen Computerspiele sein sollen, die um Lehrinhalte erweitert worden sind. Seine Charakteristika sollen Designer und Entwickler dazu aufrufen, eigene Herangehensweisen zu entwickeln, mit der Herausforderung „[in] keeping the fun and the learning in perfect balance“ (Charsky 2010, S. 194).

<sup>2</sup>Lifelong Kindergarten group, Scratch, <http://scratch.mit.edu/>

Neben dem Spaß, der gemeinhin als wichtiger Faktor in der Kindesentwicklung genannt wird (Clements 2005), schlagen Price et al. fünf Aktivitäten für ein erfolgreiches Playful Learning vor.

1. Exploration through interaction
2. Engagement
3. Reflection
4. Imagination, creativity and thinking at different levels of abstraction
5. Collaboration *(Price et al. 2003, S. 170)*

Price et al. beziehen ihre Aussage auf die Verwendung von Tangible User Interfaces (siehe Kapitel 3.2.2), wobei die Aktivitäten auch für den Umgang mit anderen Technologien greifen können. Die Aktivitäten werden auch von anderen Wissenschaftlern als grundlegende Faktoren für einen Lernprozess angesehen, so betont Resnick (2004) die Wichtigkeit der eigenen Aktion (Punkt 1), Ackermann (1996) Reflexion und Immersion (Punkt 2,3 und 4) und Vygotsky (1978) die lernförderliche Wirkung von Gruppenprozessen (Punkt 5). Insgesamt stellt Vygotsky mit einer sozialkonstruktivistischen Vorstellung zum Lernen den sozialen Aspekt des Lernens im Gegensatz zum klassischen Konstruktivismus, der das Augenmerk auf kognitive Leistungen legt, in den Vordergrund. Der Austausch mit anderen Personen ist in der Vorstellung von unterschiedlichen Lernformen verankert (siehe auch Kapitel 3.1.4).

### 3.1.4 Motivationsfaktoren beim Lernen

Nach der Betrachtung von Lernprozessen und didaktischen Ansätzen, die auf dem Gedanken eines selbstgesteuerten Lernens aufbauen, stellt sich die Frage, welche Faktoren die Lernenden motivieren und wie diese zum Lernen angeregt werden können. Im Playful Learning und in Ackermanns Verständnis vom Lernen ist die Motivation der Lernenden Voraussetzung für das Erzielen von Lernerfolgen. Den betrachteten pädagogischen Ansätzen ist die Koppelung von Spielen und Lernen inhärent. Letztendlich liegt der Hintergrund von Serious Gaming, Game-based Learning und Edutainment ebenfalls darin, die Motivation der Nutzer durch Spielen zu erlangen und aufrecht zu erhalten. Game-Based Learning und Edutainment fokussieren nach Hannafin und Peck (1988) die Aufbereitung von Lerninhalten durch Methoden aus der Spiele-Entwicklung. Ziel ist die Steigerung der Lernmotivation zur eigenständigen Aneignung einer Thematik, bei Edutainment insbesondere von Kindern.

Said stellt fünf Faktoren für den Umgang mit Multimedia-Produkten am Beispiel von Computerspielen auf, welche die Aufmerksamkeit von Kindern halten und sie zur Auseinandersetzung motivieren. Der Lernende wird dabei aktiv in den Lernprozess eingebunden.

Obwohl diese Faktoren auf Software und die klassische Workstation (Computer, Bildschirm, Maus, Tastatur bzw. Laptop) ausgerichtet sind, sieht Said Konstruktionstätigkeiten sowie die Transparenz der Aktivitäten und Ziele als wichtige Bestandteile.

**Simulation interaction** which allows the child to act on behalf of others i.e. to role-play

**Construct interaction** which allows them to build and create

**Immediacy** which refers to seeing every movement made when interacting with the system

**Feedback** which is best if immediate rather than delayed

**Goals** that are clear and are either set for them or set by them when no external motivation is present *(Said 2004, S. 169)*

Die Rollenveränderung des Lernenden vom Rezipienten zum Kontrollierenden der Situation halten auch Druin und Inkpen für einen wichtigen Motivationsfaktor und sehen Technologie als ein Mittel dafür:

„Children spend a great deal of their time being dependent on their parents, teachers, social workers, doctors, and others. Personal technologies can provide children with something typically off-limits: control of their world. Technology can help those without a voice to be heard, and those without sight to see the world in a new way.“ *(Druin und Inkpen 2001, S. 192)*

Auch Chiasson und Gutwin (2005) betrachten das Gefühl, die Kontrolle über eine Software zu haben, als wichtiges Element für die Lernmotivation von Kindern. Darüberhinausgehend konstatieren Druin et al. (1998), dass eine Auswahl an Entscheidungsmöglichkeiten wichtig für die Motivation der Kinder und die Vermeidung von Langeweile und schwindendem Interesse ist.

Bruckman et al. schildern eine Beobachtung des Bedürfnisses nach Austausch von Kindern, was ein weiterer Baustein zum spielerischen Lernen ist – wie auch Price et al. „Collaboration“ für Playful Learning vorschlagen (siehe Kapitel 3.1.3).

„[...] if there are five computers in a room with five children, within a few minutes, half of the children will be gathered around each other's computers [...] Children can find it fun to play with others and often more engaging when they get to share experiences with friends and family.“ *(Bruckman et al. 2001, S. 6)*

Auch Embodied Interaction, das per se keine pädagogischen Ziele verfolgt, betont neben „Creation“ und „Manipulation“ das „Sharing“ von Bedeutung (siehe Kapitel 3.2.1). Malone und Lepper (1987) gehen ebenfalls darauf ein und weisen auf die motivierende Wirkung



von Anerkennung in einer Gruppe durch das Vorzeigen und Teilen von Erlebnissen hin und bestätigen Druin und Inkpen.

### 3.1.5 Ästhetisch-informatische Medienbildung

Im Hinblick auf unser Vorhaben lohnt sich ein kurzer Exkurs in die ästhetisch-informatische Medienbildung. Sie versucht Medienkompetenz mit ästhetischen Inhalten, Kunst mit Informatik zu verbinden (Reimann 2006). Dabei orientiert sie sich an zugrundeliegenden Rahmenbedingungen in Bildungseinrichtungen und schafft Modelle zur Integration ihrer Methoden in die jeweilige Struktur.

Guminski sieht Potential im Einsatz von Computern in der Kunstpädagogik und entwickelt zwei Ansätze für die Hochschulbildung:

„Die Kunstpädagogik kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, Kindern und Jugendlichen zu helfen, sich mit visuellen Produkten des Computerzeitalters unter ästhetischen Gesichtspunkten kritisch auseinander zu setzen. Sie kann zum bewussten reflektierten Umgang mit dem Medium erziehen, helfen, eigene Vorstellungen von unserem ästhetischen Umfeld zu entwickeln, und Wege aufzuzeigen, wie eigene Ideen realisiert werden können.“ (Guminski 2002, S. 339)

Guminski greift zwei von uns bereits diskutierte Aspekte in ihrer Vorstellung von Kunstpädagogik auf. Zunächst spricht sie von Ästhetik, aber auch von einem kritischen Umgang mit Medien, welcher der Reflexion bedarf. Für uns ist die Mehrschichtigkeit ihrer Schilderung interessant (siehe auch Kapitel 2.2), die wieder zwei Betrachtungsweisen auf Digitale Medien einfordert: die sinnlich-ästhetische Ebene und die kognitive, geistig zu erschließende Ebene.

Reimann (2006) sieht hier Bedarf an einem Umdenken. Ästhetische Bildung soll nicht ausschließlich zur Vermittlung anderer Inhalte – wie Digitaler Medien – verwendet werden. Vielmehr müsse sie auch zum Gegenstand werden, der anhand Digitaler Medien zugänglich ist. Sie spricht sich für eine Gleichwertigkeit aus. Auch in der in diesem Vorhaben einleitend erwähnten *Zwei-Kulturen*-Auffassung werden die Herausforderungen einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Künstlern und Ingenieuren geschildert. Digitale Medien, insbesondere die digitale Kunst (siehe Kapitel 2), können hier eine Brücke schlagen, wobei ein gleichwertiges Verständnis beider Disziplinen Grundvoraussetzung sein muss.

## 3.2 Be-greifbare Interaktion

Auf den Überlegungen zu Lernprozessen und Medienbildung in Kapitel 3.1 aufbauend, wird im Folgenden eine Perspektive erarbeitet, wie die Interaktion von Akteur und digitalem Produkt in der Medienbildung gestaltet werden kann.

Die Mensch-Computer-Interaktion (HCI) hat mit der multimodalen Interaktion Schnittstellen zur Nutzung mehrerer Sinnesorgane entwickelt, wie sie in der Pädagogik vorgeschlagen werden (siehe Kapitel 3.1), und solche als Methode zur intuitiven Interaktion von Mensch und Computer untersucht (Jaimés und Sebe 2007). Bei der zunehmenden Qualität und Verfügbarkeit von multisensuellen Hard- und Softwaretechnologien und interdisziplinären Arbeitstechniken gibt es diverse Ansätze zur Konzeption und Realisierung von Lernumgebungen zur Vermittlung von Medienkompetenz. Die Interaktion soll die zwei Phasen Immersion und Reflexion (siehe Kapitel 3.1.2) unterstützen, wodurch ein selbstgesteuertes, forschendes Lernen ermöglicht wird.

Wir entwickeln ein Verständnis von Be-greifbarkeit und be-greifbarer Interaktion, das multimodale Erfahrung im Lernprozess fördern soll. Als Grundlage ziehen wir die Vorstellung von Dourish zu *Embodied Interaction* heran und führen anschließend in das Gebiet *Tangible Interaction* ein.

### 3.2.1 Embodied Interaction

Dourish konzentriert sich mit seinem Verständnis einer Embodied Interaction auf die Anschauung, den Designprozess und die Bewertung von digitalen Produkten. Er verbindet in seinem Verständnis einer Embodied Interaction zwei Strömungen der HCI, Tangible Computing und Social Computing. Tangible Computing, auch Tangible Interaction genannt, wird in Kapitel 3.2.2 betrachtet. *Social Computing* meint die Integration von Prinzipien der Soziologie in den Design-, Entwicklungs- und Auswertungsprozess von interaktiven Systemen. Er konstatiert:

„Embodied Interaction is interaction with computer systems that occupy our world, a world of physical and social reality, and that exploit this fact in how they interact with us.“  
(Dourish 2001, S. 3)

Nach Dourish bauen Social- und Tangible Computing auf derselben Grundlage auf, beide beschäftigen sich mit den Erfahrungen unserer Lebenswelt, mit sozialer Interaktion oder (physischen) Tangible User Interfaces (TUI). Einen anderen, theoretisch geprägten und aus der Semiotik motivierten Zugang zur Embodied Interaction wählt O’Neill (2010), der im Buch „Interactive Media: The Semiotics Embodied Interaction“ dargelegt wird.

Dourish argumentiert, von Husserls Phänomenologie und von Heidegger ausgehend, für die Notwendigkeit der Gewährwerdung der Gleichwertigkeit von Körper und Geist gemäß des Embodiment. Nach Merleau-Ponty (1966) sind Körper und Geist eng miteinander verwoben, der Körper mehr als ein dem Geist vorangestelltes Instrument zur Wahrnehmung von Reizen. Dourish macht auf die Bedeutung dieses Verständnisses, ohne sich explizit auf

Merleau-Ponty zu beziehen, im Bereich der technischen Produktentwicklung aufmerksam und schlägt den Begriff Embodied Interaction mit folgender Definition vor:

„Embodied Interaction is the creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artifacts.“ *(Dourish 2001, S.126)*

Ausgehend von der Herleitung seines Verständnisses von Embodied Interaction schlägt Dourish sechs Prinzipien für den Designprozess vor, die im Folgenden direkt übernommen werden. Er möchte die Prinzipien als sich inhaltlich überlappende Variablen einer Embodied Interaction in unterschiedlichen Anwendungsgebieten verstanden wissen. Sie stellen keine verbindliche Liste von zu erfüllenden Kriterien dar.

- Computation is a medium
- Meaning arises on multiple levels
- Users, not designers, create and communicate meaning
- Users, not designers, manage coupling
- Embodied technologies participate in the world they represent
- Embodied interaction turns action into meaning *(Dourish 2001, S.162-187)*

Wie auch bei der theoretischen Herleitung betont Dourish die Wichtigkeit der bedeutungstragenden Ebene der Interaktion. Hier liegt eine Analogie zu den Prinzipien des Konstruktivismus, Ackermanns Vorstellung und dem Playful Learning vor, auf das in Kapitel 3.1.3 eingegangen wurde. Der persönliche Bezug des Benutzers zur Interaktion ist bei Dourish und den Vorstellungen zu Lernprozessen zentral. Dahingehend ist Embodied Interaction interessant für die Gestaltung von Lernumgebungen.

Dahingehend interpretieren wir den Begriff Embodied Interaction in meinem Vorhaben wörtlich und geben dem Körper eine Hauptrolle. Die Untrennbarkeit von Körper und Geist, als Gegensatz zum *Descartes'schen Dualismus* (Specht 1966), wird thematisiert. In Anlehnung an Dourishs Embodied Interaction untersucht Jacucci (2004) die Rolle des Körpers im Spiegel der Performance Studies. In der Interaktion zwischen Benutzer und digitalem Produkt sehen wir den ganzen Körper als Kommunikationsmedium, die Rolle des Körpers als Ganzes soll gestärkt werden.

### 3.2.2 Tangible Interaction

Der Rolle des Körpers wird auch in der Tangible Interaction eine hohe Bedeutung zugeschrieben, wobei die Argumentation näher am Produkt erfolgt als bei der Embodied

Interaction. Tangible Interaction folgt dem Grundgedanken „[...] anfassbare, greifbare Gegenstände für die Interaktion mit digitalen Repräsentationen und Informationen zu verwenden“ (Hornecker 208, S. 80). Diese Artefakte sind erstmals von Ishii und Ullmer Tangible User Interfaces (TUI) genannt worden:

„To make computing truly ubiquitous and invisible, we seek to establish a new type of HCI that we call 'Tangible User Interfaces' (TUIs). TUIs will augment the real physical world by coupling digital information to everyday physical objects and environments.“  
*(Ishii und Ullmer 1997, S. 235)*

Ein inzwischen klassisches Beispiel für ein TUI ist Bishop's Marble Answering Machine (Crampton Smith 1995). Jeder Anruf auf dem Anrufbeantworter wird durch eine Murmel repräsentiert, die der Benutzer auf einer landschaftsähnlichen Oberfläche bewegen und so Nachrichten abhören, organisieren und den Anrufer zurückrufen kann. Physikalische Objekte werden als Medium zur Mensch-Computer-Interaktion genutzt und mit Blick auf die Tätigkeit, nicht auf die Hardware und Software, entwickelt. Bishop sieht zwei Aspekte als zentral bei der Entwicklung derartiger Artefakte - den räumlichen und gegenständlichen Bezug zur Tätigkeit. Im Vordergrund steht das Taktile, die Berührbarkeit des Interfaces.

Um das Design der Interaktion gegenüber der Gestaltung einer, womöglich von der Funktionalität getrennten, Benutzungsoberfläche in den Vordergrund zu stellen, schlagen Hornecker und Buur den Begriff Tangible Interaction vor und erweitern damit die Definition von TUIs:

„Tangible interaction, as we understand it, encompasses a broad range of systems and interfaces relying on embodied interaction, tangible manipulation and physical representation (of data), embeddedness in real space and digitally augmenting physical spaces.“  
*(Hornecker und Buur 2006, S. 437)*

Der Fokus soll nach Shaer und Hornecker (2010) statt beim technischen Artefakt bei der Interaktion selbst und den damit verbundenen Prozessen und Handlungen liegen.

Mit dieser Sichtweise schließt Hornecker *interaktive Räume* (der Begriff wird mit Referenz auf Bongers (2002) verwendet), beispielsweise Installationen, typischerweise unter „Einbeziehung des ganzen Körpers[,] sowie die Nutzung des eigenen Körpers als 'Eingabemedium““ (Hornecker 208, S. 87), als Tangible Interaction ein. In Kapitel 3.2.1 haben wir bereits die Potentiale der Einbeziehung von Körperlichkeit in die Mensch-Maschine-Interaktion diskutiert, die sich in der erweiterten Sicht auf Tangible Interaction wiederfinden. Djajadiningrat et al. (2007) sehen Bedarf am überlegten Einsatz von Körperbewegung, so dass den Bewegungen während der Benutzung des Produkts eine Bedeutung zugeteilt wird. Zudem fordern sie die Berücksichtigung ästhetischer Aspekte im Design- und Entwicklungsprozess digitaler Produkte, was in meinem Ansatz aufgegriffen wird.

Für den Bildungskontext sehen wir Potential in Tangible Interaction durch die Be-greifbarkeit der Objekte. Abstrakte Konzepte können im Umgang mit dem Digitalen Medium (wie-

der) konkret erfahrbar werden. Murray betont die zwei Ebenen, die hier als Be-greifbarkeit bezeichnet werden:

„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.“  
*(Murray 2003, S. 11)*

Die Interaktion soll in meinem Vorhaben so gestaltet werden, dass sie die unmittelbare, sinnliche Erfahrung während der Phase der Immersion ermöglicht. Andererseits soll die Interaktion die kritische Betrachtung des digitalen Produkts und der Interaktion selbst in der Phase der Reflexion fördern. Digitale Produkte können, das haben wir in Kapitel 2 festgestellt, durch ihre doppelte Existenz sinnlich und kognitiv betrachtet werden. Be-greifbare Interaktion hebt beide Ebenen des digitalen Produkts hervor, die sinnliche Greifbarkeit und die kognitive Begreifbarkeit. Die materiellen und abstrakten Eigenschaften jedes digitalen Produkts werden betont, weshalb ich in diesem Vorhaben be-greifbare Interaktion implementiere. Mit dem Thema beschäftigt sich u. a. der Arbeitskreis „Be-greifbare Interaktion in gemischten Wirklichkeiten“ der Gesellschaft für Informatik<sup>3</sup> (GI).

Marshall (2007) hat sich in seiner Veröffentlichung „Do Tangible Interfaces Enhance Learning?“ auf konzeptueller Ebene mit der Anwendbarkeit von TUIs im Bildungskontext befasst und schlägt ein Framework vor, das empirisch ausgerichtet ist und sechs Perspektiven zur weiteren Forschung enthält: „Learning Domains, Learning Activity, Integration of Representations, Concreteness and sensor-directness, Effects of Physicality, Possible Learning Benefits“. Ein konkreter Ansatz sind Construction Kits (siehe Kapitel 3.1.1), Baukästen mit verschiedenen Bauteilen, anhand derer Lernende ihre selbst erdachten Objekte erschaffen können.

### 3.3 Experience Design

Zur Gestaltung eines digitalen Produkts, das be-greifbare Interaktion ermöglicht, bedarf es entsprechende Entwicklungsmethoden. Dazu betrachten wir nach einem kurzen Abriss der Geschichte der HCI das umfassende Experience Design, um einen Überblick zu generieren, und das Gebiet Interaction Design and Children, da es die Besonderheiten der Produktentwicklung für Kinder berücksichtigt. Das Reflexive Design ist für mein Vorhaben aufgrund der Ausrichtung auf die digitale Produktentwicklung im Bildungskontext von Bedeutung.

Die Vorstellung des Entstehungsprozesses von digitalen Produkten hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Während lange das Produkt im Vordergrund stand, wird in der HCI der Mensch als Benutzer wahrgenommen. Nach Hewett et al. (1992) ist HCI

---

<sup>3</sup><http://www.gi.de>

„[...] a discipline concerned with the design, evaluation, and implementation of interactive computing systems for human use and with the study of major phenomena surrounding them.“ HCI beschäftigt sich mit der Harmonisierung und Verbesserung der Interaktion zwischen Mensch und System, so dass die Arbeitsaufgaben von beiden (Mensch und System) gleichermaßen effizient durch- und ausgeführt werden können. Ihre Bestrebung ist die Entwicklung neuer Designmethoden, das Experimentieren mit neuartiger Hardware, das Prototyping neuer Softwaresysteme, das Erforschen neuer Interaktionsparadigmen und die Entwicklung neuer Konzepte und Vorgehensmodelle. Sie enthält psychologische als auch technologische Aspekte. In diesem Zusammenhang spielt u. a. die Kognitionsforschung eine entscheidende Rolle, da das Verständnis vom Menschen (als Benutzer) und den bei der Interaktion stattfindenden mentalen Prozessen maßgeblich die Interaktion prägt.

Die Qualitätsmerkmale zur Beurteilung von digitalen Produkten wurden durch das Usability Engineering festgelegt. Im Mittelpunkt steht die effiziente Benutzung des Produkts durch den Menschen. Die Methoden der Usability sind meistens quantifizierbar und orientieren sich an objektiven Werten, wie Zeiträumen zwischen zwei Arbeitsschritten. Im Standard 9241 ist Usability definiert als „The extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use“ (ISO 9241 1998). Die Sicherstellung einer hohen Usability wird durch die Anwendung von User-Centered Design (Human-Centered Design, UCD) gewährleistet. Mitte der 1980er hat sich die Vorstellung des User-Centered Design etabliert. Der Standard 13407 baut auf der Definition von Usability auf und gibt Richtlinien zu „human-centered design activities throughout the life cycle of computer-based interactive systems“ (ISO 13407 1999). Ins Zentrum wird der Benutzungskontext gestellt, genauer die funktionalen Anforderungen an das digitale Produkt, ausgehend von durch den Benutzer auszuführenden Aktivitäten. Der Standard 9241 ist inzwischen in ISO 9241 als Teil 2010 mit dem Titel „Human-centred design for interactive systems“ übernommen worden (ISO 9241 2010).

Die Kritik am Usability Engineering legt die Grenzen der Messbarkeit offen. Dieses Verständnis von der Gestaltung und Nutzung digitaler Produkte berücksichtigt subjektive Faktoren der Benutzung (zum Beispiel die Joy-of-Use), die noch vor einer hohen Usability ausschlaggebend für die regelmäßige Nutzung eines digitalen Produkts sind, in zu geringem Maße. Spolsky formuliert metaphorisch das, was über Usability hinaus erforderlich ist:

„Usability is not everything. If usability engineers designed a nightclub, it would be clean, quiet, brightly lit, with lots of places to sit down, plenty of bartenders, menus written in 18-point sans-serif, and easy-to-find bathrooms. But nobody would be there. They would all be down the street at Coyote Ugly pouring beer on each other.“  
*(Spolsky 2001, S. 130)*

Seit Anfang der 1980er Jahre haben sich zahlreiche Vorstellungen entwickelt, nach denen eine ganzheitliche Perspektive auf den Gestaltungs- und Entwicklungsprozess von Produkten

wichtig ist. Nicht die ausschließliche Beurteilung des Produkts *nach* dessen prototypischer Fertigstellung, sondern der Entwicklungsprozess *selbst* ist ein Merkmal der Qualität des Produkts.

Ein Beispiel ist das *Participatory Design*, das als Weiterführung des *User-Centered Design* verstanden werden kann, und in dem die Qualitätsicherung durch die Einbindung der späteren Benutzer in den Entwicklungsprozess stattfinden soll. Sanders (2002) sieht „a shift in attitude from designing **for** users to one of designing **with** users“ und bezeichnet diesen Wandel als *Postdesign*. Die Ursprünge des Participatory Design liegen bereits in den 1960ern und 1970ern in Skandinavien. In den 1980ern hat sich die Vorstellung, dass der Benutzer in den gesamten Entwicklungszyklus eines Produkts eingebunden werden soll, in den USA etabliert und wurde dann weiter exportiert (Ehn 1988; Schuler und Namioka 1993).

Weitere Beispiele sind das Interaction Design, das sich mit der Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Produkt beschäftigt und auf das noch in Kapitel 3.3.1 eingegangen wird, und die Propagierung einer Embodied Interaction, welche die Gestaltung persönlicher Bedeutung anhand der Interaktion mit Produkten in den Mittelpunkt stellt (siehe Kapitel 3.2.1).

Auch das (User) Experience Design, das seit Anfang der 1990er diskutiert wird, schließt die subjektiven Faktoren bei der Benutzung eines Produkts in den Designprozess ein. (User) Experience Designer stellen weder das digitale Produkt noch den Benutzer in das Zentrum, Zielsetzung ist vielmehr die Erzeugung einer Erfahrung während der Benutzung, wie Buxton konstatiert:

„[I]t is ultimately experiences, not things that we are designing. [...] physical objects are often the most tangible and visible outcomes of design, but their primary function is to engage us in an experience — an experience that is largely shaped by the affordances and character embedded in the product itself“  
(Buxton 2005, S. 47)

In diesem Vorhaben wird, statt der üblichen Übersetzung von Experience als Erlebnis, der Begriff Erfahrung verwendet. Mein Vorhaben ist im Bereich der Medienbildung angesiedelt, wodurch Erfahrung im Hinblick auf Deweys „Kunst als Erfahrung“ (Dewey 1949a) zu verstehen ist. Einen weiteren Begriff bevorzugen McCarthy et al. (2006): *Enchantment*. Sie spielen damit auf die unbewussten und subjektiven Faktoren an, die bei einem guten Design angesprochen werden müssen. Als Beispiel verwenden sie Digital Jewelry (siehe auch Kapitel 2.4).

Das User Experience Design sieht eine ganzheitliche Betrachtung des Kontexts *vor*, *während* und *nach* der Benutzung als essentiell an. Dieses Verständnis muss sich im Entwicklungsprozess digitaler Produkte widerspiegeln. Saffer (2009) argumentiert dahingehend, dass die isolierte Betrachtung einzelner Fachgebiete durch die thematische Überlappung nahezu un-

möglich ist. Für die Entwicklung von (digitalen) Produkten ist die Verschränkung mehrerer Bereiche nötig. Abbildung 3.1 zeigt eine Einordnung von *User Experience Design* von Saffer (2009) und soll hier als Orientierung dienen.

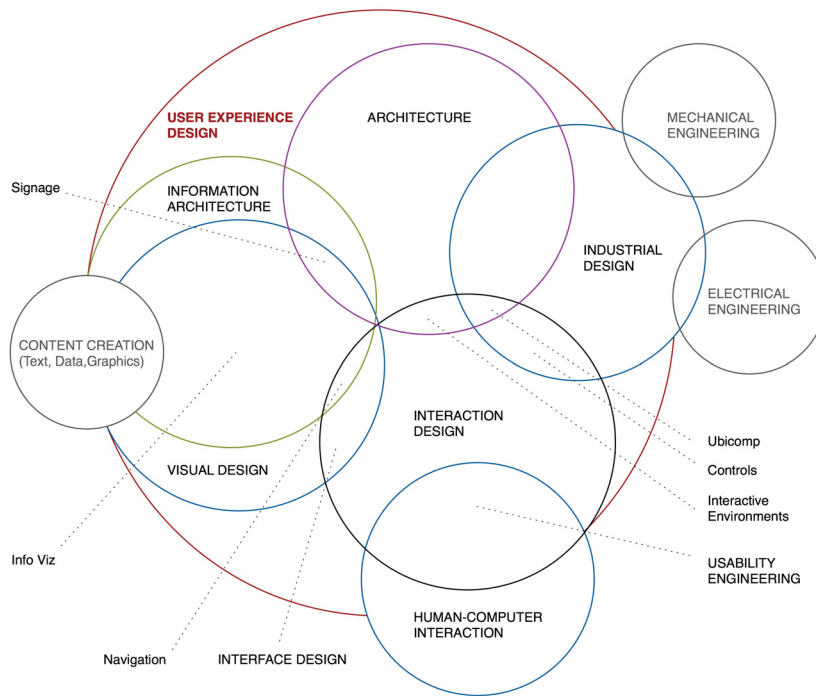


Abbildung 3.1: Einordnung von User Experience Design (Saffer 2009)

Experience Design reicht nach Forlizzi und Battarbee (2004) weit über die Usability hinaus und befasst sich mit den Erfahrungen der Nutzer mit Produkten, Dienstleistungen und der Marke an sich. Das User Experience Design (UxD) hat sich im Kontext der HCI etabliert (Arnowitz und Dykstra-Erickson 2007; Calvillo Gámez 2009) und kann als Teil des Experience Design verstanden werden. Roto (2007) schreibt „[UxD] involves a product/service (or a system in general), whereas experience does not require it. Watching a sunset is an experience, not user experience.“ UxD beschäftigt sich somit mit dem Charakter eines Produkts und wie es von Menschen in der realen Welt benutzt werden kann. Hassenzahl sagt „Experience becomes User Experience (UX) by focussing on a particular mediator of experience - namely interactive products - and the according emerging experiences“ (Hassenzahl 2010, S. 2). In dieser Betrachtung beschränken wir uns daher auf die Betrachtung von UxD.

Eine Benutzungserfahrung entsteht durch die Interaktion mit einem digitalen Produkt und wird durch das Medium selbst auf den Akteur übertragen. Dabei geht es Dix (2004) und Sharp et al. (2007) vor allem um die Beziehung zwischen Benutzer und der Anwendung; wie sich die Benutzer mit dem Produkt fühlen, deren Freude und Zufriedenheit bei der Benutzung, dessen Aussehen, wie es sich anfühlt oder wie es sich öffnen oder verschließen lässt. Es konzentriert sich auf emotionale Faktoren der Interaktion, wie zum Beispiel



Attraktivität, Wecken von Neugier und Bindung (Leung 2009). Es lässt sich feststellen, dass es neben UxD unterschiedliche Abwandlungen des Begriffs gibt, etwa *Mobile Experience*, *Digital Experience* oder *Web Experience*.

Es gibt noch keine allgemeine Definition von User Experience, sondern unterschiedliche Blickrichtungen und Interpretationen (Roto et al. 2011; Law et al. 2008, 2006; Buxton 2007). Eines haben alle Ansätze gemeinsam: Es kommt auf die Gesamtheit der Erfahrung an, wie Norman konstatiert:

„What’s important is the entire experience, from when I first hear about the product, to purchasing it, to opening the box, to getting it running, to getting service, to maintaining it, to upgrading it.“ (Anderson 2000, S. 44)

Hassenzahl stellt die Sichtweise noch ausführlicher dar und benennt Emotion als den Kern:

„[...] experience emerges from the intertwined works of perception, action, motivation, emotion, and cognition in dialogue with the world (place, time, people, and objects). It is crucial to view experience as the consequence of the interplay of many different systems. [...] While many processes together produce experience, emotion is at its heart and has a centuated position. One may go as far as saying that emotion is the very language of experience.“ (Hassenzahl 2010, S. 4)

Die Abgrenzung der Begriffe Emotion, Gefühl, Stimmung und Affekt lässt sich nur schwer formulieren (Arnold 1972; Averill und Nunley 1993; Scharfetter 2002). Auch Norman sieht Emotion als zentrales Element in der Benutzung von Produkten und hat die Vorstellung eines *Emotional Design* entwickelt (Norman 2004a,b).

Für mein Vorhaben sehe ich den persönlichen Bezug, also Emotionen zum digitalen Produkt, wie er im Experience Design verankert ist, als zentral an. Auch in den Ansätzen zu Lernprozessen und Bildung wird Motivation als wichtig für den Kompetenzerwerb betrachtet (siehe Kapitel 3.1). Nach Shedroff (2001) können durch gezieltes Erzeugen von Benutzungserfahrungen Informationen in persönliches Wissen transformiert werden. Der Benutzer assoziiert diese positive Erfahrung mit dem Produkt und kann das Wissen somit besser abrufen. Darüber hinaus lassen sich durch gezielte Beschränkungen, Ausschluss von Handlungsmöglichkeiten oder durch das Brechen gängiger Standards und Konventionen bestimmte Benutzungserfahrungen erzeugen.

Nach Jung (1995) gehört das Empfinden – neben dem Denken, Fühlen und der Intuition – zu einer der vier psychologischen Grundfunktionen. Eine Benutzungserfahrung muss sich über den gesamten Systementwicklungsprozess entfalten. Dabei geht es vornehmlich um die Synthese aus abstrakten Modellen und Methoden in Bezug auf Design, Entwicklung, Evaluation und Analyse digitaler Produkte (siehe auch Wright und McCarthy 2008).

Auch wenn die Vorstellung von User Experience im Bereich der HCI weit verbreitet und etabliert ist, existieren unterschiedliche Modelle zur Entwicklung und Bewertung digitaler Produkte. Für die am häufigsten referenzierten Modelle sei auf nachstehende Literatur verwiesen (Garrett 2002; Morville 2004; Revang 2007; Hassenzahl et al. 2003; McCarthy und Wright 2004; Kort et al. 2007). Eine sich von allen Modellen unterscheidende und für mein Vorhaben interessante Auffassung vertreten Gage et al., die argumentieren, dass kein Designer eine Erfahrung im Sinne eines Erlebnisses erzeugen könne:

„[...] we can never really design experience because experiencing is a constructive activity. That is, a user's experience (e.g., with communication) is constructed of two equal parts: what the communicator provides and what the receiver or user brings to the interaction. Where the two parts overlap is where the actual communication occurs. Knowing about users' experiences, then, becomes vital to the process of designing the communication. If we have access to both what is being communicated and what experiences are influencing the receipt of communication, then we can design for experiencing communication. In fact, if we can learn to access people's experiences – past, current, and potential – then we can make user experience the source of inspiration and ideation for design.“  
(Gage et al. 2008, S.288)

Sanders (2002) sieht einen Zugang zu beidem, dem Kommunikationsinhalt und den zu beeinflussenden Erfahrungen, auf drei Handlungsebenen der interagierenden Person: „say, do, make“. Die Abbildungen 3.2(a)-(b) verknüpfen, als Gesamtheit betrachtet, die Ebenen mit Handlungen und stellen sie den Ebenen des Sinngehalts gegenüber.

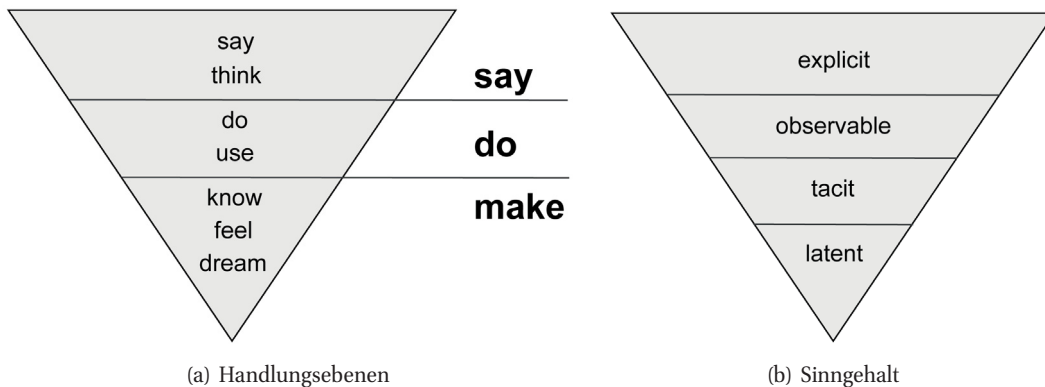


Abbildung 3.2: Handlungsebenen und Sinngehalt nach Sanders (2002, S. 3f)

Ein gutes Experience Design bedarf nach Sanders der Berücksichtigung aller drei Handlungsebenen: „say, do, make“. Informationen müssen, ausgehend vom expliziten Sinngehalt von Erfahrungen, der von Nutzern verbalisiert werden kann, bis zum latenten Sinngehalt, der dem Benutzer nicht bewusst ist, erfasst werden. Ich betrachte Sanders Verständnis von Experience Design, die Vorstellung der drei Handlungsebenen und Ebenen des Sinngehalts, als bereichernd für mein Vorhaben und orientiere mich daran. Sie lassen sich mit den pädagogischen Überlegungen kombinieren, die einen starken Tätigkeitsbezug des Lernenden

vorsehen. Eine Betrachtung des Interaction Design und der Zielgruppe „Kinder“ dient der Konkretisierung der Entwicklungsmethode in dieser Arbeit.

### 3.3.1 Interaction Design und Kinder

Gegenüber dem Experience Design konzentriert sich das *Interaction Design* (IXD) auf die Gestaltung der Interaktion, also der direkten Kommunikation zwischen Mensch und Produkt. Der Vorgang der Interaktion beschränkt sich auf den Vorgang der Benutzung des Produkts, während das Experience Design die Interaktion *vor*, *während* und *nach* der Benutzung betrachtet. Es gibt viele Definitionen zu Interaction Design, hier nenne ich einige häufig zitierte Definitionen, um einen Einblick in das Gebiet zu gewähren und Gemeinsamkeiten zu benennen. Anschließend wenden wir uns dem Fachgebiet des Interaction Design für Kinder zu.

„If I were to sum up interaction design in a sentence, I would say that it’s about shaping our everyday life through digital artifacts-for work, for play, and for entertainment.“  
(Crampton Smith in Moggridge 2007, S. xi)

Crampton Smith bezieht Interaction Design auf digitale Produkte und betont deren Einfluss auf unseren Alltag. Einen ähnlichen Ansatz haben Sharp et al., die die aus gutem Interaction Design resultierenden Produkte als Unterstützung im Alltag sehen. Explizit beschreiben sie die Kommunikation durch Produkte und heben die soziale Ebene hervor:

„Designing interactive products to support the way people communicate and interact in their everyday and working lives.“  
(Sharp et al. 2007, S. xvii)

Eine weitere Definition der Interaction Design Association betont die Bedeutungsebene für den Benutzer:

„Interaction Design (IXD) defines the structure and behavior of interactive systems. Interaction Designers strive to create meaningful relationships between people and the products and services that they use, from computers to mobile devices to appliances and beyond.“  
(Interaction Design Association o.J.)

Der persönliche Bezug zum digitalen Produkt wird in dieser Auffassung des Gebiets hervorgehoben, was ich als wichtiges Merkmal eines digitalen Produkts in der Medienbildung einstuft. Der persönliche Bezug fördert die Neugier an einer Thematik und Motivation zum Lernen (siehe Kapitel 3.1). Der Entwicklungsprozess eines digitalen Produkts muss dahingehend gestaltet werden, dass der Benutzer später Anknüpfungspunkte an das Produkt findet und einen Bezug herstellen kann. Nach Sharp et al. (2007) beinhaltet der Prozess des Interaction Design vier Aktivitäten:

1. Identifying needs and establishing requirements for the user experience.

2. Developing alternative designs that meet those requirements.
3. Building interactive versions of the designs so that they can be communicated and assessed.
4. Evaluating what is being built throughout the process and the user experience it offers. *(Sharp et al. 2007, S.17)*

Die von Sharp et al. vorgeschlagenen Aktivitäten schreiben ein iteratives Vorgehen in Produkt-Entwicklung und Auswertung vor. Der Benutzer soll in den gesamten Entwicklungsprozess eingebunden werden, wodurch ein Produkt entstehen soll, das seinen Bedürfnissen genügt. Für die Überprüfung des Ergebnisses schlägt Crampton Smith sechs sogenannte Qualitäten vor, die ein Interaction-Design-Produkt vorweisen sollte und dem jeweiligen Kontext angemessen sein müssen:

1. Clear mental model
2. Reassuring feedback
3. Navigability
4. Consistency
5. Intuitive interaction
6. Behavior and Quality *(Moggridge 2007, S. xv f)*

Im Interaction Design existieren zahlreiche Modelle und Frameworks zur Gestaltung des Entwicklungsprozesses, Beschreibung von Eigenschaften digitaler Produkte und Methoden zur Überprüfung der Qualität des Produkts. Die Modelle unterscheiden sich stark im Hinblick auf die Zielgruppe und die technischen Anforderungen an das Produkt. Meine Zielgruppe sind Kinder im Alter von 8-12 Jahren, die besondere Anforderungen an das digitale Produkt stellen. Für den Designprozess und die Auswertung digitaler Produkte mit dieser Zielgruppe hat sich innerhalb des Interaction Design ein eigenes Forschungsgebiet entwickelt: *Interaction Design and Children*. Die Entwicklung des Konzepts *Moving Algorithm* und der Beispielapplikation *Der Schwarm* verorten sich in diesem Gebiet. Im Folgenden werden das Forschungsfeld thematisch abgegrenzt und zentrale Grundgedanken herausgearbeitet.

Interaction Design and Children sucht wie das Interaction Design nach Methoden und Realisierungsansätzen zur Gestaltung, Entwicklung und Auswertung digitaler Produkte. Der Fokus liegt auf der Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Produkt. Das Forschungsgebiet Interaction Design and Children unterscheidet sich durch die Konzentration auf eine besondere Zielgruppe. Die grundlegenden Vorstellungen decken sich, der Benutzer wird in den Design- und Entwicklungsprozess durch ein iteratives Vorgehen einbezogen.

Eingehend sei erwähnt, dass wir von einer heterogenen Gruppe Kinder sprechen. Die in diesem Kapitel getroffenen Aussagen dienen dazu, ein Verständnis für die Anforderungen eines Interaction Design für Kinder zu entwickeln.

Druin und Hourcade (2005) betonen das Potential und den Einfluss Digitaler Medien für die Entwicklung von Kindern und motivieren das Forschungsfeld:

„Today’s technologies are shaping the way children live, learn, and play. Technologies can provide a wealth of meaningful new experiences and support children’s exploration of their neighborhoods, other cultures, and even the universe. Technologies are changing what it means for children to read a book, play a game, or listen to music. Innovative tools can also foster communication, collaboration, storytelling, and creativity among children.“

(Druin und Hourcade 2005, S. 32)

Die Motivation zur Nutzung von digitalen Produkten und die körperlichen sowie geistigen Fähigkeiten von Kindern unterscheiden sich von denen Erwachsener. Das Alter der Zielgruppe ist ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung digitaler Produkte, da sich die Fertigkeiten der Kinder im Umgang mit digitalen Produkten mit zunehmendem Alter erst entwickeln. Das Produkt und der Designprozess müssen daher auch an die Entwicklungsphase von Kindern angepasst werden.

Wir konzentrieren uns auf Kinder im Alter von 8-12 Jahren. Nach Piagets Stufenmodell befinden sich 7-11-jährige Kinder in der dritten von vier Stufen, der *Concrete Operational Stage* (Piaget und Inhelder 1973). Kinder können logische Operationen durchführen, etwa Relationen zwischen Sachverhalten herstellen und diese kategorisieren. Sie entwickeln logisches Denkvermögen und können operative Tätigkeiten durchführen. Kinder in diesem Alter sind in der Lage, mehrere Sichtweisen einer Situation zeitgleich einzunehmen und die Perspektive von anderen Personen zu sehen. Nach Schneider (1996) beginnen Kinder aus konkreten Erfahrungen abstrakte Modelle zu entwickeln, haben jedoch noch Schwierigkeiten mit der Formulierung ihrer Thesen.

Bruckman et al. (2007) haben, von Kindern in der *Concrete Operational Stage* ausgehend, Feststellungen über deren Nutzungsverhalten im Hinblick auf digitale Produkte getroffen. Kinder entwickeln, so Bruckman et al., auf dieser Stufe die Fertigkeit, Tastatur und Maus zu benutzen. Die kognitiven und motorischen Voraussetzungen zur Verwendung einfacher Funktionen sind vorhanden und werden mit zunehmendem Alter der Kinder dieser Stufe ausgeprägter. Kinder dieses Alters sind „[...] old enough to use relatively sophisticated software, but still young enough to appreciate a playful approach“ (Bruckman et al. 2007, S. 795). Der spielerische Ansatz wird von vielen Autoren betont, beispielsweise von Resnicks Playful Learning (siehe Kapitel 3.1.3). Kinder nutzen digitale Produkte meist zu Unterhaltungs- und Bildungszwecken, wie Chiasson und Gutwin (2005) schreiben. Ein wichtiger Motivationsfaktor für Kinder ist Spaß (Inkpen 1997).

Resnick und Silverman empfehlen bei der Gestaltung einer Lernumgebung für Kinder die Beschränkung auf wenige Funktionen:

„We have found that reducing the number of features often improves the user experience. What initially seems like a constraint or limitation can, in fact, foster new forms of creativity.“  
(Resnick und Silverman 2005, S. 119)

Die Aussage zur Erstellung von Construction Kits kann auch bei der Gestaltung technischer Systeme für Kinder greifen, wie Resnick und Silverman im selben Artikel vorschlagen: „While these principles apply especially to the development of construction kits, we believe that they could be useful for everyone who designs new technologies for kids“ (Resnick und Silverman 2005, S. 117).

Zur Einbeziehung der Kinder in den Design- und Entwicklungsprozess digitaler Produkte ist Druins Ansatz eines Participatory Design für Kinder zentral. Sie sieht Kinder während des Designprozesses in vier Rollen. Die Entscheidung, welche Rollen Kinder im Designprozess tatsächlich ausfüllen, ist in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen, der Zielsetzung, der Forschungsfrage und den zur Verfügung stehenden Ressourcen zu treffen. Druin beschreibt und diskutiert die vier Rollen ausführlich in Druin (2002, 1998). Hier ein kurzer Überblick:

**User** agieren mit einem fertigen Produkt als Endbenutzer. Die Auswertung der Benutzung durch die Kinder gibt Aufschluss über deren Nutzer- und auch Lernverhalten. Die Ergebnisse fließen in die Entwicklung zukünftiger Produkte ein.

**Tester** benutzen Prototypen. Die Entwicklung des Produkts ist nicht abgeschlossen, die Ergebnisse des Tests können aufgegriffen und berücksichtigt werden. Ein iteratives Vorgehen ist gegeben. Es obliegt den Designern und Entwicklern, Änderungen in das Produkt einfließen zu lassen.

**Informant** beeinflussen den Design- und Entwicklungsprozess zu mehreren Zeitpunkten. Nach Beurteilung der Rahmenbedingungen von Designer und Entwickler können Kinder vor, während und nach dem Prozess eingebunden werden. Nach Auswertung der Tests entscheiden die Designer und Entwickler über die Berücksichtigung der Ergebnisse bei der Entwicklung des Produkts.

**Design Partner** sind maßgeblich am Design- und Entwicklungsprozess beteiligt. Eine Gleichstellung von Kindern und Designern bzw. Entwicklern bestimmt den Prozess. Druin entwickelt ein Vorgehen für die Verwendung dieser Rolle, die *Cooperative Inquiry*, eine Kombination aus *Contextual Inquiry*, *Participatory Design* und *Technology Immersion* (Druin 1999).

Scaife et al. haben die Rolle *Informant* für die Produktentwicklung von Bildungstechnologien untersucht. Ihnen zufolge kann eine Gleichstellung von Kindern im Prozess als Design

Partner nicht problemlos funktionieren, da Kinder nicht die höheren Ziele der Bildungsabsicht überblicken. Eine letzte Entscheidungsgewalt über die Aufnahme von Anmerkungen der Kinder muss beim Designer und Entwickler verbleiben (Scaife und Rogers 1998). Die Entwicklung von digitalen Produkten in der Bildung bildet eine Spezialisierung im Feld Interaction Design und Kinder, das im Folgenden diskutiert wird.

### 3.3.2 Reflexive Design

Eine Methode zur Gestaltung des Entwicklungsprozesses von digitalen Produkten in der Medienbildung für Kinder stellt das Reflexive Design dar. Abbott sieht die Potentiale von Technologie für Bildungsanwendungen und gleichzeitig Bedarf an mehr Forschung in dem Bereich:

„What is currently under-researched, and little understood, is the potential for immersive technologies to be combined with reflective spaces and practices to offer new pedagogical models for these approaches to teaching and learning.“  
(Abbott 2007, S. 25)

Abbotts Feststellung macht die Bedeutung von Ackermanns Tanz der Perspektiven im Rahmen dieses Vorhabens deutlich. Das Verständnis eines Wechsels von Diving-in und Stepping-out wird im Reflexive Design (siehe Kapitel 3.3.2) aufgegriffen.

In dem Text „Digitale Medien für Bildung: Interaktionsdesign für reflexive Erfahrung“ entwickelt Schelhowe (2011)<sup>4</sup> die Vorstellung des Reflexive Design. Sie verwendet dabei den Begriff der Be-greifbarkeit von Digitalen Medien, die zwei Ebenen der Auseinandersetzung bieten, eine taktile und eine kognitive. Nach Schelhowe sollen Digitale Medien Bildungsgegenstand und nicht ausschließlich Medium zur Wissensvermittlung sein. Sie argumentiert: „Wer wesentliche Prozesse der Computerisierung versteht, begreift etwas über sich selbst, begreift sich im Verhältnis zur Berechenbarkeit des Mediums, in der eigenen Körperlichkeit, im Erfahren, Herstellen und Handeln“ (Schelhowe 2011).

Insbesondere Technologien wie *Tangible User Interfaces* bieten durch ihre Be-greifbarkeit Potential im Bildungskontext. TUIs können dahingehend eingesetzt werden, Prozesse der Datenverarbeitung be-greifbar zu machen (Schelhowe 2006). Schelhowe konstatiert hierzu:

„Mit den Tangibles existiert im gleichen Material der Digitalen Medien sowohl die Möglichkeit konkreten Handelns mit den Sinnen als auch das abstrakte Modell, das im Algorithmus steckt. [...] Digitale Medien können wir als Material sehen, das Anregungen gibt, wesentliche Konzepte der Gegenwart zu begreifen. Es sind grundlegende Ideen der Formalisierung, der Algorithmisierung, der Automatisierung und automatischen Prozessierbarkeit (Operabilität), die in

<sup>4</sup>Bei Redaktionsschluss dieser Arbeit ist die referenzierte Literatur noch nicht publiziert und befindet sich im Druck.

ihnen nicht nur abstrakt erkennbar, sondern konkret begreifbar und handelnd erfahrbar werden.“ *(Schelhowe 2011)*

Schelhowe schreibt weiter, die Gestaltung der TUIs sei entscheidend, da sie Be-greifbarkeit zwar innehaben, aber nicht per se transportieren und so für die Bildung geeignet seien. Sichtbarkeit der Hardware, so Schelhowe, ist daher Voraussetzung für den Einsatz im Bildungskontext. Eisenberg et al. (2006) argumentieren ähnlich, beschreiben das Ziel des Ubiquitous Computing, also die Unsichtbarkeit von Technologie, als kontraproduktiv im Bildungskontext. Nur durch die Sichtbarkeit von Technologie kann die doppelte Bedeutung der Be-Greifbarkeit nach Schelhowe zugänglich werden. Die Zugänglichkeit wird über Immersion und Reflexion erreicht, womit sie sich auf Ackermanns Verständnis des Lernens beruft, auf das in Kapitel 3.1.2 eingegangen wurde. Ihrer Ansicht nach bedarf es eines neuen Verständnisses für das Gestalten von be-greifbaren Digitalen Medien in der Bildung. Sie sagt: „Wir brauchen ein Interaction Design for Reflexive Experience, ein Interaction Design für reflexive Erfahrung und dessen theoretische Fundierung“ (Schelhowe 2011) und führt die Forderung anschließend aus:

„Dies müsste die Aufgabe für das Design von Software für die Bildung sein: Sie muss es den Lernenden erlauben, auf Abstraktes intuitiv und körperlich zuzugehen, die Konzepte auch mit dem Körper zu be-greifen. Eine solche Software muss aber auch fördern, dass die Lernenden nach dem Eintauchen wieder einen Schritt zurück treten und zum Nachdenken angeregt werden. Software für Bildung darf den Lernenden das Denken nicht abnehmen, sondern muss sie zum Denken animieren.“ *(Schelhowe 2011)*

Dem Konzept eines „Interaction Design for Reflexive Experience“ zur Gestaltung von Software können wir im Sinne von Schelhowe um Hardware erweitern. Es geht um die Gestaltung Digitaler Medien, beispielsweise TUIs (also gesamter Systeme aus Hard- und Software), die Be-Greifbarkeit ihrer selbst ermöglichen. Die Zugänglichkeit geschieht über Immersion und Reflexion, womit Schelhowe sich auf Ackermanns Verständnis des Lernens beruft (siehe Kapitel 3.1.2). Das Reflexive Design zielt auf die Entwicklung digitaler Produkte für Kinder in der Medienbildung und argumentiert für ein selbstbestimmtes, forschendes Lernen, wodurch es für mein Vorhaben interessant ist.

### 3.4 Zusammenfassung

Bei der eingängigen Betrachtung des Anwendungsgebiets Medienbildung haben wir Vorstellungen zu Lernprozessen und pädagogische Ansätze kennengelernt. Der Konstruktivismus nach Papert dient als Grundlage vieler medienpädagogischer Überlegungen. Dabei sind der persönliche Bezug zum Lerngegenstand, Kollaboration und der Schaffungsprozess des Benutzers, beispielsweise bei der Herstellung eines Produkts, zentrale Elemente. Der



eigentliche Vorgang des Lernens muss nach Ackermann zirkulär in immersiven und reflexiven Phasen, einem Tanz der Perspektiven, ablaufen. Lernen soll insbesondere für Kinder selbstbestimmt sein und Spaß machen, vom Lernenden selbst motiviert sein, argumentiert Resnick im Playful Learning.

Auf diesen Ansätzen aufbauend, haben wir uns die Frage gestellt, wie die Interaktion eines digitalen Produkts gestaltet werden muss, um die Phasen Immersion und Reflexion zu unterstützen und so ein selbstbestimmtes Lernen zu fördern. Einblicke in die be-greifbare Interaktion liefern Aufschlüsse, da sie zwei Ebenen Digitaler Medien in deren Be-Greifbarkeit sieht. Einerseits wird die sinnliche Ebene der Greifbarkeit, des Anfassbaren angesprochen, und andererseits die kognitive Ebene der Begreifbarkeit, des Verstehens. Im ersten Kapitel zur algorithmischen Kunst (siehe Kapitel 2.2) und dem Szenario zu Anfang dieses Kapitels können wir beides wiedererkennen. Die Embodied Interaction argumentiert aus der Phänomenologie heraus für die Wertschätzung der Körperlichkeit neben dem Geist in der technischen Produktentwicklung. Eine Implementierung finden wir in Tangible User Interfaces (TUIs), die u. a. durch multimodale Schnittstellen eine Tangible Interaction ermöglichen, die auf sinnliche Erfahrung abzielt.

Anschließend haben wir uns mit der Gestaltung von Entwicklungsprozessen be-greifbarer digitaler Produkte für die Medienbildung beschäftigt. Ein kurzer historischer Exkurs über die Anfänge der Mensch-Computer-Kommunikation hat von der Usability und dem User-Centered Design zum (User) Experience Design geführt. Dadurch konnten wir ein Verständnis vom Entwicklungsprozess digitaler Medien entwickeln. Das Verständnis eines Designs zur Generierung von Erfahrungen sieht die Betrachtung *vor*, *während* und *nach* der Interaktion zwischen Mensch und Produkt vor. Für uns relevante Fachgebiete, die unter dem (User) Experience Design einzuordnen sind, wie das Interaction Design and Children, wurden vorgestellt. Danach sollte der spätere Benutzer in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, um sicherzustellen, dass das Produkt seinen Bedürfnissen gerecht wird.

Das Reflexive Design propagiert den Tanz der Perspektiven in der Entwicklung digitaler Produkte für eine be-greifbare Interaktion im Bildungskontext. Für die Entwicklung unseres Prototypen ziehen wir den Gedanken des Reflexive Design heran und zielen auf die Gestaltung einer be-greifbaren Interaktion. Dabei behalten wir im Hinterkopf, dass wir Erfahrungen im Sinne eines User Experience Design für Kinder generieren wollen. Dazu ist, nach unserer These, ganzkörperliche Interaktion besonders geeignet.



# 4 Experimentieren

## Konzeption be-greifbarer Systeme

*Amelie fragt: „Wie kommt es, dass die uns manchmal sehen und dass die dann auch darauf reagieren?“. Matthias antwortet: „Wie die sich verhalten?“. „Ich stelle mir vor, ich wäre ein Lichtpunkt...“, fängt Yannick an. Mendi: „Also Du bist ein Lichtpunkt, was denkst Du, wenn ich Dein Feld betrete?“. „Bist Du dann sauer, dass ich in Deinem Feld bin?“, fragt sie weiter.*

*„Bathuan, was hattest Du gemacht, dass die Lichtpunkte viel schneller auf Dich zukamen als bei mir?“, möchte Moritz wissen. Johanna und Franziska möchten, dass sie einige Bewegungen nochmals machen und die Gruppe genau beobachtet, was wann passiert. Klara und Galina erinnern nicht mehr genau, was alles passiert ist, als Galina mit dem Schwarm spielte.*

*Galina wollte eine Katze sein, die Mäuse jagt. Als sie die Lichtpunkte jagte, merkte sie nicht, welche Bewegungen sie machte. Klara hatte sie aber beobachtet: „Du hast Deine Tatzen ausgestreckt. Sah so aus, als wolltest Du einen Lichtpunkt streicheln. Dann hast Du Deinen Arm eingezogen und bist losgerannt“. Mit dem Arm zeichnet sie nach, wie Galina gelaufen ist, wann sie sich gedreht und wann sie die Schwarmfläche verlassen hat. „Ah ja, ich weiß wieder. Die Lichtpunkte sahen so aus, als wenn die sauer würden“, ruft Galina.*

*Klara geht nun auf die Schwarmfläche. „Mal sehen, ob ich Galinas Bewegungen nachmachen kann“, sagt sie sich. Sie streckt ihren Arm vor, die Lichtpunkte verhalten sich aber anders, laufen viel langsamer weg. „Du bist ja keine Katze“, merkt Galina. „Nö, ich stelle mir nur Deine Bewegungen vor“, antwortet Klara. Später kann Klara alle Bewegungen wiederholen, „ich stelle mir die Bewegungen immer als Lichtbahn vor, der meine Arme und Füße folgen“.*

*„Aber was stellt sich der Schwarm vor, dass er bestimmte Bewegungen immer wieder macht?“, überlegt Yannick. Moritz ergänzt: „Der reagiert doch auf Dich“. Yannick: „Ja, aber doch nach einer Regel“. „Wenn ich die rauskriege, kann ich Dir immer vorher sagen, wie er auf Dich reagieren wird“, erklärt Yannick.*

Die Kinder in unserem Szenario haben nun begonnen, ihre Eindrücke genauer zu untersuchen. Die bisher gesammelten Impressionen werden gebündelt und in Thesen verdichtet, die kausalen Zusammenhänge des Systems bzw. der Kind-Schwarm-Interaktion werden zu begreifen versucht. Die Kinder experimentieren, indem sie Testszenarien zur Überprüfung ihrer Thesen entwickeln. Das Ergebnis gibt Raum für neue, weitergehende Thesen oder andere, besser auf die These zugeschnittene Szenarien. Unsere Eindrücke haben wir bisher gezielt aus verschiedenen Bereichen der Digitalen Medien (siehe Kapitel 3.2-3.3), der digitalen Kunst (siehe Kapitel 2) sowie zu Bildung und Lernen (siehe Kapitel 3.1) gesammelt. In diesem Kapitel gilt es nun, bisherige Eindrücke zusammenzuführen und einen eigenen Ansatz zu entwickeln. Wie die Kinder in obigem Szenario, experimentieren wir in diesem Kapitel, es werden Ideen und Thesen erarbeitet, die es später zu überprüfen gilt. In diesem Sinne wird nach einigen Vorüberlegungen ein Verständnis davon entwickelt, wie technische Systeme gestaltet werden müssen, damit Kinder zu einer immersiv-reflexiven Auseinandersetzung mit Digitalen Medien motiviert werden. Das Ergebnis heißt *Moving Algorithm* und gibt eine grundlegende Vorstellung von Richtlinien zur Gestaltung und Entwicklung solcher Systeme. Das Kapitel wird mit einigen Auslegungen der Richtlinien geschlossen, anhand derer eine erste Beispielapplikation entwickelt werden kann. Es zeigt die Vorüberlegungen der Umsetzung von *Moving Algorithm* in einem technischen System, erzeugt Praxisbezug und gibt einen Rahmen für die Entwicklung entsprechender Anwendungen.

## 4.1 Folgerungen aus dem Forschungsstand

Das in diesem Kapitel zu erarbeitende Konzept soll die Gestaltung technischer Systeme unterstützen, die Kindern das Begreifen von abstrakten Modellen Digitaler Medien durch konkrete Interaktion ermöglichen. Dieser Ansatz soll die Gestaltung von Umgebungen vereinfachen, die Lernende motiviert, selbstbestimmt abstrakte Modelle Digitaler Medien durch praktische Tätigkeiten zu erforschen. Dazu werden bewährte Ansätze aus den Kapiteln 2 und 3 herangezogen und in einer neuartigen Weise kombiniert. Im Folgenden werden die Folgerungen aus dem beschriebenen Forschungsstand gezogen.

Als theoretische Grundlage für den Kompetenzerwerb von Kindern wird Ackermanns Verständnis von Lernprozessen herangezogen (siehe Kapitel 3.1.2). Der zirkuläre Prozess in den Phasen Diving-in und Stepping-out wird in diesem Ansatz berücksichtigt. Technische Systeme können so gestaltet werden, dass sie diesen Tanz der Perspektiven fördern und Kindern in den Phasen Immersion und Reflexion unterschiedliche Betrachtungsweisen auf das System ermöglichen. Der Lernprozess in einer Umgebung, die einen Zyklus von Diving-in und Stepping-out unterstützt, wird für die teilnehmenden Kinder zu einer nachhaltigen Erfahrung, die in diesem Ansatz als (User) Experience (siehe Kapitel 3.3) verstanden wird. Die Beschäftigung mit einem technischen System soll für Kinder eine individuelle Bedeutung

haben – eine (User) Experience erzeugen –, so dass sie motiviert sind, grundlegende Prinzipien des Systems zu erforschen. Im Reflexive Design findet sich die Auffassung wieder, dass die Gestaltung von technischen Systemen in Bildungskontexten eine Gestaltung von persönlichen Erfahrungen ist (siehe Kapitel 3.3.2). Dabei muss ein technisches System eine immersive und reflexive Auseinandersetzung unterstützen. In meinem Vorhaben wird dieser Gedanke aufgegriffen.

Von unterschiedlichen Betrachtungsweisen haben wir auch im Zusammenhang mit digitalen, insbesondere algorithmischen Bildern gesprochen (siehe Kapitel 2.2). Dies ist der doppelten Existenz digitaler Bilder als maschinenlesbarer Code einerseits und dessen Sichtbarmachung im Bild andererseits geschuldet. Das digitale und in besonderer Weise das algorithmische Bild erlaubt die Einnahme zweier Perspektiven, einer sinnlich-ästhetischen und einer geistig-kognitiven. Dies übertragen wir auf die Gestaltung technischer Systeme fürs Lernen in den Phasen Immersion und Reflexion: Eine ästhetische Zugangsebene bedient die sinnliche Wahrnehmung, schafft verschiedene konkrete Zugangsmöglichkeiten zum System und soll zur Induktion von konkreter Erfahrung zum abstrakten Modell motivieren. Eine kognitive Ebene erfasst die Prozesse zur Verarbeitung des Wahrgenommenen und die Gewährleistung und Aneignung der abstrakten technologischen Prinzipien. Die für eine Abstraktion notwendige Dekontextualisierung soll durch eine angepasste Interaktions- und Oberflächengestaltung begünstigt werden.

Für eine Stärkung der Rolle des Körpers und der sinnlichen Wahrnehmung in der Mensch-Computer-Interaktion spricht sich u. a. Dourish aus. Nach seiner Vorstellung einer Embodied Interaction, die auf dem Konzept des Embodiment aufsetzt, muss sich das Verständnis von der Gestaltung digitaler Produkte ändern und neben dem Geist auch der Körper als gleichwertig berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.2.1). Wie auch schon Ackermanns Hinweise auf der Gleichwertigkeit beider Elemente beruhen, finden wir in der Embodied Interaction einen weiteren Anknüpfungspunkt, der in diesem Ansatz aufgegriffen wird.

Zur Vermittlung abstrakter Strukturen Digitaler Medien eignen sich, so eine naheliegende These dieses Vorhabens, besonders Algorithmen. Ein Algorithmus ist eine Vorgehensbeschreibung zur Lösung eines Problems. Diese wird erst durch die Programmierung und damit Festlegung auf eine Maschine und Sprache konkretisiert und zu einem Stück Software. In der algorithmischen Kunst werden Algorithmen entsprechend zur Berechnung eines Bilds verwendet. Erst durch die zwangsläufige Konkretisierung und Ausführung kann das Ergebnis selbst konkret erfasst werden. Ein Algorithmus wird in diesem Vorhaben als Beispiel für kognitive Verstehensprozesse angeführt und als Gegenstand der Auseinandersetzung für Kinder verwendet.

Eine Herausforderung liegt darin, die Aufmerksamkeit und Motivation der Kinder an der Auseinandersetzung mit Digitalen Medien zu wecken und zu erhalten. Das Gebiet Inter-

action Design und Kinder stellt dazu verschiedene Methoden und Techniken bereit (siehe Kapitel 3.3.1). Einige Motivationsfaktoren zum Lernen haben wir in Kapitel 3.1.4 betrachtet. Mit einem erneuten Blick auf die algorithmische Kunst finden wir eine Möglichkeit, wie überraschende, nicht wiederkehrende Ergebnisse in einem deterministischen System erzeugt werden können: den Zufall. Dieser kann zur Erzeugung von (User) Experiences eingesetzt werden, die die Kinder zum Lernen anregen können.

## 4.2 Moving Algorithm

Die Vorüberlegungen werden in diesem Kapitel zusammengeführt und zu einem Ansatz zur Gestaltung von be-greifbaren Systemen konkretisiert. Mit diesem Ansatz können technische Systeme gestaltet werden, die Kinder zum selbstständigen Lernen durch Digitale Medien motivieren. Nachdem der Name dieses Ansatzes – *Moving Algorithm* – eingeführt wurde, wird eine kurze Bemerkung zum Entstehungsprozess gemacht. Es folgt die Beschreibung der drei Säulen, auf die sich *Moving Algorithm* stützt. Zu jeder Säule werden anschließend Kriterien erarbeitet, die konkrete Ansatzpunkte bieten, um technische Systeme nach *Moving Algorithm* zu gestalten.

Der erarbeitete Ansatz trägt die Bezeichnung *Moving Algorithm*. Die Betonung liegt, wie auch die Kapitelüberschriften dieser Dissertation widerspiegeln, auf der eigenen Tätigkeit, dem Aktiv-Sein während des Lernprozesses. Die aktive Beteiligung des Einzelnen soll gefördert werden und wird als Ausgangspunkt für einen Kenntniserwerb gesehen. Das Wort *Algorithm* zielt auf die Hervorhebung des Gegenstands der Auseinandersetzung, der in der Regelmäßigkeit von technologischen Prozessen und deren direkter Abbildung in Algorithmen liegt. *Algorithm* in seiner singulären Form steht für die Gesamtheit aller Algorithmen, die wiederum abstrakte Prozesse Digitaler Medien repräsentieren. Die Doppeldeutigkeit des Worts *Moving* ist beabsichtigt, deutet es doch Positionsveränderungen und Bewegungen jeglicher Art an und markiert andererseits eine emotionale Bewegtheit, die zur Förderung des Lernprozesses erzielt werden soll.

*Moving Algorithm* ist mit ein iterativen Vorgehen entwickelt worden. Über die Vorteile dieses Ansatzes, der im Interaction Design und auch allgemein im Experience Design zur Entwicklung digitaler Produkte empfohlen wird, haben wir insbesondere in Kapitel 3.3.1 gesprochen. *Moving Algorithm* ist das Resultat der Überlegungen, wie sie im vorherigen Kapitel nachzulesen sind. Zudem sind Ergebnisse der Untersuchung in eine ersten Beispielapplikation eingeflossen. An den entsprechenden Textstellen wird darauf hingewiesen.

*Moving Algorithm* stützt sich auf drei Säulen, die 1. ein sog. Leitthema vorsehen sowie 2. eine kognitive Ebene der Auseinandersetzung und 3. eine sinnlich-ästhetische Zugangsebene bieten. Das Leitthema gibt technischen Systemen eine thematische Ausrichtung, die dazu

dient, das Interesse von Kindern zu erwecken und ihre Aufmerksamkeit aufrecht zu erhalten. Die Motivation der Kinder ist essentiell für einen selbstgesteuerten Lernprozess, wie in dem Kapitel 3.1.3 über Playful Learning und in Kapitel 3.1.4 deutlich wird. Das Leitthema soll sich unterstützend auf die Motivation der Kinder auswirken, indem es einen interessanten thematischen Rahmen vorgibt. Wir beschränken uns in Anlehnung an Resnick und Silverman (siehe Kapitel 3.3.1) auf *ein* Thema, das das gesamte technische System durchzieht. Dieses Leitthema können die Kinder aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten, wodurch das Wechselspiel von Immersion und Reflexion gefördert wird. Der zirkuläre Lernprozess immersiver und reflexiver Erfahrung wird, so dieser Ansatz, durch zwei Zugangsebenen begünstigt: eine kognitive und eine sinnlich-ästhetische Ebene der Auseinandersetzung. Die kognitive Zugangsebene, die zweite Säule von *Moving Algorithm*, fördert Kinder in der Lernphase Stepping-out, bei der Reflexion ihrer Eindrücke. Die sinnlich-ästhetische Ebene unterstützt immersives Handeln in der Phase Diving-in.

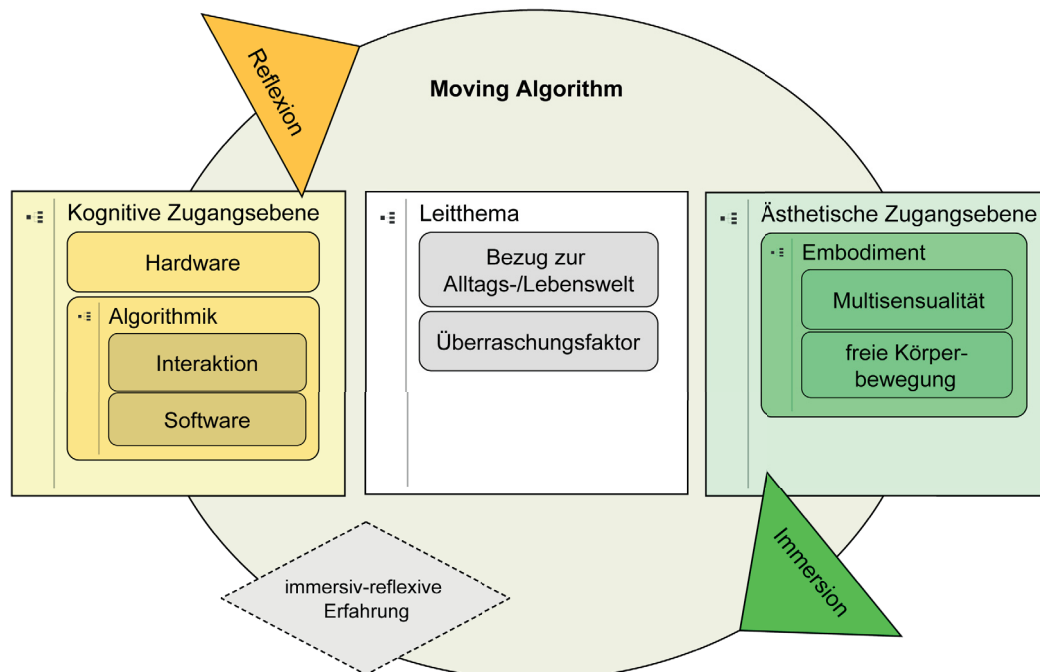


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung von *Moving Algorithm* zur Gestaltung immersiv-reflexiver Erfahrung

*Moving Algorithm* ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Das Wechselspiel zwischen den beiden Lernphasen Immersion und Reflexion ist durch eine trianguläre, an einen Pfeil erinnernde Form angedeutet. Die drei Säulen von *Moving Algorithm* werden durch drei zentral angeordnete Blöcke abgebildet. Die zwei Lernphasen und die beiden ihnen zugeordneten Säulen sind farblich orange und grün gekennzeichnet, was in weiteren Diagrammen dieses Vorhabens aufgegriffen wird. Das Leitthema bildet den Kern, um den sich während der Auseinandersetzung buchstäblich gedreht wird. Eine Brücke zur Praxis, zur Entwicklung technischer Systeme nach *Moving Algorithm*, versuchen sogenannte Kriterien zu schlagen.

Diese Kriterien sind für jede Säule von *Moving Algorithm* erarbeitet worden und in der Abbildung diesen untergeordnet. Durch die im Folgenden beschriebenen Kriterien entsteht eine Gestaltungsrichtlinie, nach der auf unkomplizierte Weise technische Systeme entworfen werden können.

**Das Leitthema** stellt die erste Säule von *Moving Algorithm* dar und kann als Kern des Ansatzes betrachtet werden. Im Idealfall lässt das Leitthema eine kognitive und sinnlich-ästhetische Auseinandersetzung zu. Mit dem Thema soll das Interesse von Kindern 1. geweckt und 2. aufrecht erhalten werden und zu persönlich bedeutsamer Auseinandersetzung anregen. Dazu sind in *Moving Algorithm* zwei Kriterien vorgesehen: ein Bezug zur Alltags- bzw. Lebenswelt und der Überraschungsfaktor. Ersteres dient dazu, die Aufmerksamkeit der Kinder auf das technische System zu lenken und ihr Interesse an einer Auseinandersetzung zu wecken. Wenn die Kinder Anknüpfungspunkte an ihren Alltag finden, so die Überlegung, haben sie ein persönliches Interesse, sich mit der Thematik zu beschäftigen und diese zu erforschen. Überraschende Momente sollen die geweckte Aufmerksamkeit der Kinder nachhaltig aufrecht erhalten. In der algorithmischen Kunst wird Zufall als Gestaltungsinstrument eingesetzt, um Abwechslung und verblüffende Ergebnisse zu erzielen (siehe Kapitel 2.2). In *Moving Algorithm* wird diese Idee mit einer anderen Zielsetzung aufgegriffen: der Zufall soll die Motivation von Kindern in Lernprozessen nachhaltig fördern. Hierbei ist nicht unbedingt der programmierte Zufall im klassischen Sinn gemeint, der einen eigenen Bereich der Informatik darstellt. Es ist vielmehr die Einbeziehung überraschender Momente in einem deterministischen System gemeint.

**Die kognitive Zugangsebene** soll als zweite Säule in *Moving Algorithm* die Reflexion fördern. Dafür sind zweierlei Kriterien vorgesehen: Algorithmik und Hardware. Die Algorithmik soll transparent gestaltet sein, damit sie für die Kinder nachvollziehbar ist. Die Algorithmen sind so auszuwählen, dass ihre Komplexität an Kinder im Alter der Zielgruppe angepasst ist. Hier sind zwei geeignete Aspekte hervorgehoben, in denen Algorithmen eigenständig erforschbar zu gestalten sind. Zum einen ist die Interaktion zwischen Benutzer und System zu nennen. Die Mensch-Computer-Interaktion bildet die zentrale Schnittstelle für den Benutzer zum System, dessen Transparenz die prinzipielle Struktur von Digitalen Medien verständlich machen kann. Die der Interaktion zugrunde liegenden Regeln, letztlich auch Algorithmen, sind im Sinne von *Moving Algorithm* für den Lernenden nachvollziehbar zu gestalten. Zum anderen kann die Software durch entsprechende Benutzungsoberflächen selbst so gestaltet werden, dass sie nachvollziehbare Algorithmen enthält. Es liegt nahe, das Leitthema des Systems in der Software aufzugreifen und themenbezogene Algorithmen zu finden. Diese Algorithmen sollen wiederum innerhalb der Software so aufbereitet werden, dass sie durch den Benutzer zu erforschen sind.



Das zweite Kriterium für eine kognitive Ebene der Auseinandersetzung – Hardware – ist *nach* Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit hinzugefügt worden. Die Kinder zeigen ein großes Interesse an den für sie sichtbaren Geräten des technischen Systems und eine hohe Motivation, deren Funktion und Zusammenspiel zu verstehen (siehe Kapitel 6.5). Die eigentliche Motivation, Hardware durch Tangible User Interfaces im Ubiquitous Computing unsichtbar zu machen (siehe Kapitel 3.2.2), ist im Bildungskontext nicht zielführend (siehe Kapitel 3.3.2 und Schelhove (2011)). Die Ergebnisse dieses Vorhabens können dies bestätigen. Daher sieht *Moving Algorithm* die Gestaltung von technischen Systemen vor, in denen auch die Hardware als Gegenstand der Auseinandersetzung verstanden wird. Die Auswahl der verwendeten Hardware soll im Hinblick auf deren funktionale Transparenz getroffen werden. Die Nachvollziehbarkeit der Funktionsweise des Systems muss gewährleistet sein. Das Zusammenspiel der – sofern vorhanden verschiedenen Geräte – kann von der Zielgruppe entdeckt werden.

**Die ästhetische Zugangsebene** bildet die dritte Säule in *Moving Algorithm* und soll im Unterschied zu der kognitiven Ebene nicht den Anspruch der Nachvollziehbarkeit und Transparenz erfüllen, sondern eine motivationsbildenden Wirkung haben. Es werden zwei Kriterien für eine sinnlich-ästhetische Zugangsebene zur Auseinandersetzung mit Digitalen Medien vorgeschlagen, die auf Dourishs Verständnis von Embodiment (siehe Kapitel 3.2.1) aufbauen: Multisensualität und freie Körperbewegung. Anlehnend an Embodied Interaction, sollen Körper und (sinnliche) Wahrnehmung auch bei der Gestaltung digitaler Produkte im Bildungskontext eine wichtige Rolle spielen. Dieser Gedanke wird in *Moving Algorithm* aufgegriffen.

Über die Bedeutung multimodaler Schnittstellen bei der Gestaltung Digitaler Medien für Kinder haben wir bereits in Kapitel 3.1 mit einem Hinweis auf die Reformpädagogik, beispielsweise von Montessori, gesprochen. Multisensualität soll in *Moving Algorithm* durch das Ansprechen von wenigstens zwei Sinnen gewährleistet werden. Der visuelle Sinn ist zentral für die Benutzung von Digitalen Medien – die meisten digitalen Produkte verfügen über ein Display – und erhält auch in *Moving Algorithm* einen hohen Stellenwert. Zur Einbeziehung eines zweiten Sinns wird die Verwendung von Klang vorgeschlagen, da Digitale Medien viele Gestaltungsmöglichkeiten zur Erzeugung von Klang bieten und Musik ein Interessengebiet der Zielgruppe ist.

Neben der Einbeziehung unterschiedlicher Sinne sieht *Moving Algorithm* ganzkörperliche Bewegung als Mittel einer sinnlich-ästhetischen Zugangsebene vor. Insbesondere Kinder haben einen ausgeprägten Bewegungsdrang, der im Umgang mit Digitalen Medien aufgegriffen werden kann. Pfeifer und Bongard (2006) betrachten in ihrem Buch „How the Body Shapes the World We Think“ die sich aus dem Embodiment ergebenden Möglichkeiten für die Informatik, insbesondere die künstliche Intelligenz. Die Integration von ganzkörperlicher Bewegung kann interessant für die Entwicklung

von digitalen Produkten (insbesondere für Kinder) sein. Die uneingeschränkte Bewegung des eigenen Körpers ist spontaner Ausdruck und Reaktion auf äußere Reize und hat performative Aspekte. Sie ermöglicht Kindern, sich auszudrücken. Freie Körperbewegung soll nach *Moving Algorithm* nicht durch am Körper befestigte technische Gegenstände, wie Sensorik, eingeschränkt werden. Vielmehr wird die Gestaltung von Tangible User Interfaces favorisiert, die einen freieren Bewegungsraum öffnet. Wir erinnern uns, dass in diesem Vorhaben ein weites Verständnis von Tangible User Interfaces (siehe Kapitel 3.2.2) angenommen wird, das ausdrücklich Systeme einschließt, die ganzkörperliche Bewegung als Kommunikationsmedium implementieren.

### 4.3 Von der Idee zum Produkt – Entwurf einer Beispielapplikation

Auf Grundlage der Gestaltungsrichtlinien, die *Moving Algorithm* als in Säulen gegliederte Kriterien vorschlägt, wird nun exemplarisch ein technisches System entworfen. Damit wird veranschaulicht, wie die Gestaltung eines *Moving-Algorithm*-Systems funktionieren kann. Der Entwurf ist eine Sammlung von Realisierungsansätzen für die Kriterien, die im Rahmen der Entwicklung weiter konkretisiert werden müssen. Der resultierende Entwurf einer Beispielapplikation wird im Rahmen dieses Vorhabens umgesetzt (siehe Kapitel 5). Der erste Schritt bei der Gestaltung ist die Festlegung eines Leitthemas, auf dessen Basis dann die Kriterien der anderen beiden Säulen entwickelt werden. Zum Schluss wird der Entwicklungsprozess des Systems gestaltet.

#### 4.3.1 Festlegen eines Leitthemas: Schwärme

Der Kern eines *Moving-Algorithm*-Systems und damit auch dieser Beispielapplikation ist das Leitthema, die inhaltliche Ausrichtung, die Kinder zur Auseinandersetzung motivieren soll. In der Beispielapplikation dieses Vorhabens wird ein Thema aus der Natur herangezogen. Die Erfüllung der beiden Kriterien für ein Leitthema: Alltags-/Lebensweltbezug und Überraschungsfaktor, kann damit gewährleistet werden. Viele Kinder kennen natürliche Phänomene und können sich dafür begeistern. Die Tier- und Pflanzenwelt bietet zudem die Möglichkeit, überraschende Momente einzubringen, da Lebewesen per se nicht völlig vorhersehbar agieren.

In dieser Beispielapplikation lautet das Leitthema: Schwärme. Die besondere Eignung von Schwärmen als Leitthema wird im Folgenden dargestellt. Schwärme agieren als Zusammenschlüsse gleichartiger Individuen, i. d. R. ohne hierarchische Ordnung. Schwarmverhalten basiert auf Regeln, die jedes Individuum einhält, und ist daher algorithmisch abbildbar. In der Tierwelt dient die Gruppenbildung vor allem dem Schutz vor Feinden, einige Beispiele sind Vögel, Fische, Insekten und Huftiere. Viele Kinder kennen Schwärme aus ihrem

Alltag und haben diese bereits beobachtet, ein Bezug zur Alltagswelt der Kinder ist gegeben. Die Bewegungen eines Schwarms sind nicht exakt wiederholbar und zeigen dabei eine gewisse geschmeidig anmutende Gleichmäßigkeit. Schwärme zeigen ebenso schnelle und überraschende Verhaltensänderungen und finden anschließend wieder in ihre grundsätzliche Struktur, was das zufällige Element in *Moving Algorithm* bedient. Im Folgenden schauen wir uns das natürliche Phänomen Schwärme etwas genauer an.

In ihrem Buch sprechen Gisi und Horn von Schwärmen als „Kollektive ohne Zentrum“. In der Einleitung weist Horn auf die Popularität von Schwarmverhalten in diversen Anwendungsbereichen wie Kommunikationsverhalten oder Informationsverbreitung/-bewahrung im Internet hin, wenn ein Schwarm als „Strukturmodell“ und nicht ausschließlich als „biologische Lebensform“ verstanden wird. Weiter schreibt sie von der Entwicklung der digitalen Repräsentation von Schwärmen, die nicht mehr ausschließlich der Nachbildung biologischer Verhaltensweisen, sondern der abstrakten Organisation von technischen Prozessen anhand von sog. Multiagentensystemen dient (vgl. Gisi und Horn 2009, S. 8f).

Mit dieser Entwicklung gelangen wir zur dekontextualisierten Algorithmik solcher „Strukturmodelle“. Sie sind durch ihre dezentrale Organisation durch wenige Regeln für jedes Individuum beschreibbar (siehe Kapitel 5.4.1) und haben dadurch eine nachvollziehbare Ordnung. Individuelle Assoziationen hängen von persönlichen Erfahrungen und Vorlieben ab, erzeugen wieder einen Kontext und stellen Bezug her. Das „Strukturmodell“ wird wieder anschaulich. Diese Eigenschaft von Schwärmen und ihrer algorithmischen Strukturbeschreibung soll den zirkulären Wechsel von Immersion und Reflexion unterstützen.

Schwarmalgorithmen werden in zahlreichen Anwendungsgebieten und -szenarien eingesetzt, von denen in diesem Vorhaben insbesondere informatisch und künstlerisch geprägte Projekte interessant sind und nun vorgestellt werden. Es soll verdeutlicht werden, dass Schwärme interessant für eine künstlerische *und* informatische Auseinandersetzung sind und im Sinne von *Moving Algorithm* eine kognitive und sinnlich-künstlerische Zugangsebene haben. Die folgenden Beispiele zeigen daher Projekte mit Schwärmen aus Informatik und Kunst.

Eine frei verfügbare Software-Plattform zur Erstellung von Simulationen agentenbasierter Modelle ist im Rahmen des Projekts Swarm<sup>1</sup> entstanden und wird nach dem Open-Source-Prinzip weiterentwickelt (Minar et al. 1996).

Zwei Forschungsprojekte mit Beteiligung von Dorigo, die sich – wie sein Ameisen-Algorithmus (siehe Kapitel 5.4.1) – an dem Vorbild von staatenbildenden Insekten orientieren, sind Swarm-bots<sup>2</sup> und das Folgeprojekt Swarmanoid<sup>3</sup> (Dorigo et al. 2006; Zufferey et al. 2011).

<sup>1</sup>Swarm, Projekt-Wiki, <http://www.swarm.org>

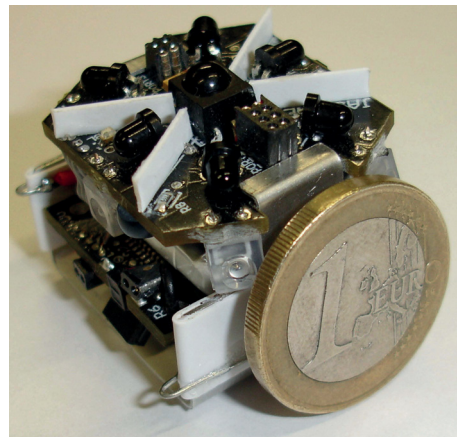
<sup>2</sup>Swarm-bots (2001-2005), <http://www.swarm-bots.org>

<sup>3</sup>Swarmanoid (2006-2010), <http://www.swarmanoid.org>

Diese Projekte zeigen, dass neben der reinen softwareseitigen Nachbildung des Verhaltens natürlicher Schwärme mit Algorithmen im Bereich der Swarm Robotics Roboter gebaut werden, die sich zu Schwärmen zusammenschließen. Sie folgen demselben Prinzip, nach dem jedes Individuum bzw. jeder Agent ein beschränktes Repertoire an Regeln befolgt und die Gesamtheit des Schwarms größere Aufgaben zu lösen vermag. So sollen sich mehrere Roboter zusammenschließen und Lasten transportieren oder Hindernisse überwinden, wie beispielsweise Ameisen dies praktizieren. Die Kommunikation wird über Sensorik und Aktuatorik der einzelnen Roboter gesteuert.



(a) Ein Roboter des Projekts e-puck



(b) Ein Jasmine Roboter der Serie III

Abbildung 4.2: Roboter e-puck (Mondada et al. 2009, S. 59) und Jasmine III<sup>4</sup>

Es gibt eine Vielzahl an Forschungsprojekten mit vergleichbaren Zielen, in denen Roboterschwärme gebaut und programmiert werden. Ein bekanntes Modell ist der Jasmine Roboter (siehe Abbildung 4.2(b)), dessen Hard- und Softwareplattform inzwischen quelloffen ist und von einer Community weiterentwickelt wird. McLurkin forscht zu Roboterschwärmen (McLurkin 2008) und das Projekt I-Swarm<sup>5</sup> (aktuelle Folgeprojekte sind SYMBRION und REPLICATOR<sup>6</sup>) hat auf Basis von Jasmine Schwärme sehr kleiner Roboter (7,5 x 4 x 4mm, 0,6g) konstruiert. Einen Bildungsanspruch verfolgt das Projekt e-puck<sup>7</sup>, in dem ein Schwarm Roboter für den Einsatz in der Hochschulbildung entwickelt wurde (Mondada et al. 2009). Die Roboter sind käuflich erwerbbar (siehe Abbildung 4.2(a)) und ein Softwarepaket enthält u. a. eine freie Schnittstelle zur Programmierung der e-puck-Roboter.

Neben der Informatik sind Schwärme auch in der Kunst Gegenstand der Auseinandersetzung. Susanne Brügger hat in ihrer Arbeit *Das Inselproblem „Phasenraum 1.0“* von 2001 Schwärme thematisiert, indem sie in regelmäßigen Abständen Fotos von urbanen Orten wie einem Schulhof gemacht hat. Der Vergleich der Fotos zeigt wiederkehrende Bewe-

<sup>4</sup>Bildnachweis: I-Swarm, Robot Jasmine III, <http://www.i-swarm.org/images/robot/JasmineIIIplus.jpg>

<sup>5</sup>I-Swarm (2004-2008), <http://www.i-swarm.org>

<sup>6</sup>SYMBRION und REPLICATOR (beide 2008-2013), <http://www.symbion.eu/tiki-index.php>

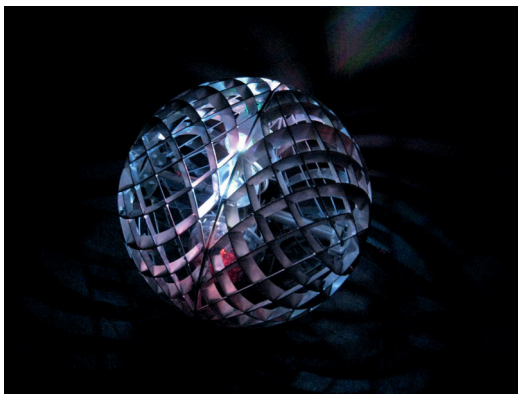
<sup>7</sup>e-puck, <http://www.e-puck.org>

gungsmuster der Personen auf dem Schulhof. Diese Muster hat sie untersucht und in eine Art schematischer Zeichnung bildlich dargestellt (Berg und Engler 2003, S. 48f). Die Arbeit zeigt eindrucksvoll eine künstlerische Auseinandersetzung mit Gruppenbewegungen und legt eine ästhetische Ebene der Bewegungen von (menschlichen) Gruppen offen.

Die Münchener Künstlergruppe urbanauten<sup>8</sup> hat als kritische Auseinandersetzung mit dem Leben in der Stadt Flash Mobs im urbanen Raum organisiert. Sie versteht diese Ansammlung von Menschen als urbanen Schwarm, der im Zuge des Flash Mobs kollektiv nach Anweisungen handelt und sich bewegt. In diesem Vorhaben liegt der Fokus auf selbstorganisierten Schwärmen ohne eine zentrale Einheit zur Koordination bzw. Lenkung.

Das Projekt Trolley Singers<sup>9</sup> verfolgt eine andere Intention und soll Wartezeiten an Flughäfen kürzer erscheinen lassen, indem spezielle Einkaufs-/Gepäckwagen zu Unterhaltungszwecken untereinander kommunizieren. Verringert sich die Distanz zwischen zwei Wagen spielen sie Melodien ab. Die Musik verstummt bei Vergrößerung der Distanz. Obwohl die Bewegungen wie bei herkömmlichen Wagen durch den Benutzer funktionieren, sind sie durch die Simplizität ihrer Funktionsweise und Beschränktheit ihrer Sichtweite ähnlich wie simulierte Schwärme programmiert.

Aus dem Bereich der generativen Musik ist das Projekt OrbSWARM<sup>10</sup> zu nennen, wo ein Schwarm kugelähnlicher Metallkonstruktionen (so genannt Orbs) Klänge erzeugt. Die Kugeln (siehe Abbildung 4.3(a)) rollen in zufälliger Bewegungsrichtung und erzeugen Klänge und farbiges Licht. Die Klänge werden von Orbs in ihrer unmittelbaren Umgebung bemerkt, woraufhin ein Orb seine Klänge dem Spektrum der umgebenden Orbs anpasst. Die Gesamtheit der einander nahen Orbs erzeugt daher wohlklingende Klänge und passendes Licht.



(a) Ein Agent bzw. Orb des SWARM



(b) Benutzer interagiert mit der Installation Delicate Boundaries

Abbildung 4.3: Schwarmkunst-Projekte OrbSWARM<sup>11</sup> und Delicate Boundaries<sup>12</sup>

<sup>8</sup>Die urbanauten, <http://www.urbanaut.org/>

<sup>9</sup>TROLLEY SINGERS (2006), Hai Nguyen Dinh, Henrik Sundt und Petr Svarovsky, <http://www.swarm-bots.org>

<sup>10</sup>OrbSWARM Art Project, <http://orbsswarm.com/>

Neben den genannten Projekten gibt es zahlreiche Installationen, die Schwarmverhalten thematisieren. Bei SwarmArt von Boyd et al. (2004) wird die Position des Benutzers mit einer Kamera ermittelt, der sich vor einer Projektionsfläche bewegt. Eine Menge von langen, bunten, fadenähnlichen Objekten wird auf die Fläche projiziert und folgt dem Benutzer. Ein weiteres Beispiel ist die Installation Delicate Boundaries von Chris Sugrue (2007), bei der eine Menge tierähnlicher Lichtobjekte auf einem Touchscreen angezeigt werden. Bei Berührung des Displays bewegen sich die Objekte zur Hand und verlassen den Monitor, um sich auf dem Körper des Benutzers weiterzubewegen. Dort werden sie zu projizierten Lichtobjekten. Delicate Boundaries ist, neben der Verwendung einer Gruppe von (Licht-)Objekten, interessant durch das beeindruckende Interaction Design (siehe Kapitel 3.3.1), das versucht, die vermeintliche Grenze zwischen Virtualität und Realität aufzubrechen. Abbildung 4.3(b) zeigt die Interaktion des Benutzers mit der Installation.

Die gezeigten Projekte lassen erkennen, dass Schwarmverhalten Gegenstand der Auseinandersetzung in der Informatik und der Kunst ist und vielfältige ästhetische sowie kognitive Betrachtungsweisen zulässt. Sie sind konkret durch ihre Sichtbarkeit und nicht zuletzt die Gestalt ihrer Individuen. Hinter ihnen ist ein abstraktes Prinzip erkennbar, aufgrund der zugrunde liegenden Regeln, denen jedes Individuum folgt. Vor allem erfüllen Schwärme beide Kriterien eines Leitthemas für *Moving-Algorithm*-Systeme. Schwärme stellen einerseits einen Bezug zur Lebenswelt von Kindern her, da sie allgemein bekannt sind und dadurch Anknüpfungspunkte bieten. Andererseits gibt es in einem Schwarm stets einzigartige, überraschende Verhaltensweise, ohne dass die zugrunde liegenden Regeln verletzt würden. Schwarmverhalten bietet Überraschung in einem deterministischen System. Als Beispielapplikation in diesem Ansatz, so bietet sich geradezu an, dient ein technisches System namens *Der Schwarm*.

### 4.3.2 Gestaltung kognitiver und ästhetischer Zugangsebenen

Die Umsetzung der verbleibenden Kriterien von *Moving Algorithm* in dem technischen System *Der Schwarm* wird nun diskutiert. Dabei wird auf jedes Kriterium kurz eingegangen, eine ausführliche Beschreibung von *Der Schwarm* folgt in Kapitel 5. Zunächst konzentrieren wir uns auf die sinnlich-ästhetische Ebene der Auseinandersetzung. Die Gestaltung zugehöriger Kriterien, wie freie Körperbewegung, kann Einfluss auf die Anforderungen an Hard- und Software haben. Deshalb wird die kognitive Zugangsebene als Zweites entworfen und anschließend erläutert.

<sup>11</sup>Bildnachweis: The Swarm Project Wiki, Orb, [http://wiki.orbswarm.com/index.php?title=File:1364788166\\_1cb91879c9\\_o.jpg](http://wiki.orbswarm.com/index.php?title=File:1364788166_1cb91879c9_o.jpg)

<sup>12</sup>Bildnachweis: Delicate Boundaries, [http://csugrue.com/photos/data/delicateboundaries/web/IMG\\_0091.jpg](http://csugrue.com/photos/data/delicateboundaries/web/IMG_0091.jpg)

Die beiden Kriterien für eine sinnlich-ästhetische Auseinandersetzung sind, basierend auf dem Verständnis von Embodiment, Multisensualität und freie Körperbewegung. In der Beispielapplikation wird freie Körperbewegung als Kommunikationsmedium für die Mensch-System-Interaktion eingesetzt. Während der Interaktion zwischen Akteur und dem System soll ein Raum entstehen, der den Akteur in die Situation eintauchen lässt. Seine Bewegungen werden vom technischen System registriert und eine Reaktion berechnet und ausgegeben, auf die der Akteur wiederum mit freier Körperbewegung antworten kann. Gemäß dem Leitthema reagiert ein Schwarm auf die Bewegungen des Akteurs. Der Schwarm kann mit unterschiedlichen Sinnen vom Akteur wahrgenommen werden, wodurch das Kriterium Multisensualität erfüllt wird. Das Ansprechen des Sehsinns wird über eine visuelle Ausgabe des Schwarms gewährleistet, eine tierähnliche Gestalt soll die Immersion zusätzlich fördern. Eine auditive Ausgabe macht den Schwarm hörbar, das auditive Display *Swarming Sounds* ist in Kapitel 5.5.3 ausführlich beschrieben.

Für die Gestaltung der kognitiven Zugangsebene sind die Kriterien Hardware und Algorithmik vorgesehen. Die Hardware wird bei *Der Schwarm* sichtbar installiert und das entscheidende Auswahlkriterium ist nicht dessen Aktualität, sondern vielmehr eine transparente Arbeitsweise. Um ein konkretes Beispiel zu nennen, wird bei der Gestaltung des Systems *Der Schwarm* der Laserscanner einer kamerabasierten Erkennung freier Körperbewegung vorgezogen. Der technische Aufbau der Beispielapplikation ist im Detail in Kapitel 5.2 beschrieben. Das zweite Kriterium Algorithmik gliedert sich in Interaktion und Software. In unserer Beispielapplikation soll der kausale Zusammenhang zwischen freier Körperbewegungen des Benutzers und dem Schwarm nachvollziehbar sein, soll als Gegenstand der Auseinandersetzung dienen können. Zu diesem Zweck wird bei dem technischen System *Der Schwarm* eine Zustandsmaschine eingeführt. Der Schwarm nimmt in Abhängigkeit der Körperbewegung vom Akteur einen von der Maschine berechneten Status ein, wodurch das Verhalten und Aussehen des Schwarms bestimmt wird. Kapitel 5.4.2 enthält eine ausführliche Beschreibung der Zustandsmaschine. Bezüglich des Aspekts Software ist der Algorithmus zur Simulation von Schwarmverhalten das, was es zu entdecken gilt. Dieser basiert auf einfachen Regeln für jedes Individuum, wie bereits in diesem Kapitel erwähnt und in Kapitel 5.4.2 ausführlich behandelt wird. Die Komponente *Boids Regeln* stellt eine Oberfläche zur Verfügung, die es dem Benutzer ermöglicht, den aus drei Regeln bestehenden Algorithmus (siehe Kapitel 5.4.1) selbstständig zu erkunden und nachzuvollziehen. *Boids Regeln* ist ausführlich in Kapitel 5.5.2 beschrieben.

Einen Überblick zum Entwurf der kognitiven und sinnlich-ästhetischen Zugangsebenen in Zusammenhang mit dem Leitthema Schwärme bietet das in Abbildung 4.4 zu sehende Diagramm. Oben sind die an das Leitthema angepassten Bausteine von *Moving Algorithm* zu sehen und unten die zu realisierenden Komponenten in der Beispielapplikation *Der Schwarm*. Die Zuordnung ist als eine denkbare Konkretisierung zu sehen, es sind andere Implementierungen denkbar, zu denen eingeladen werden soll.

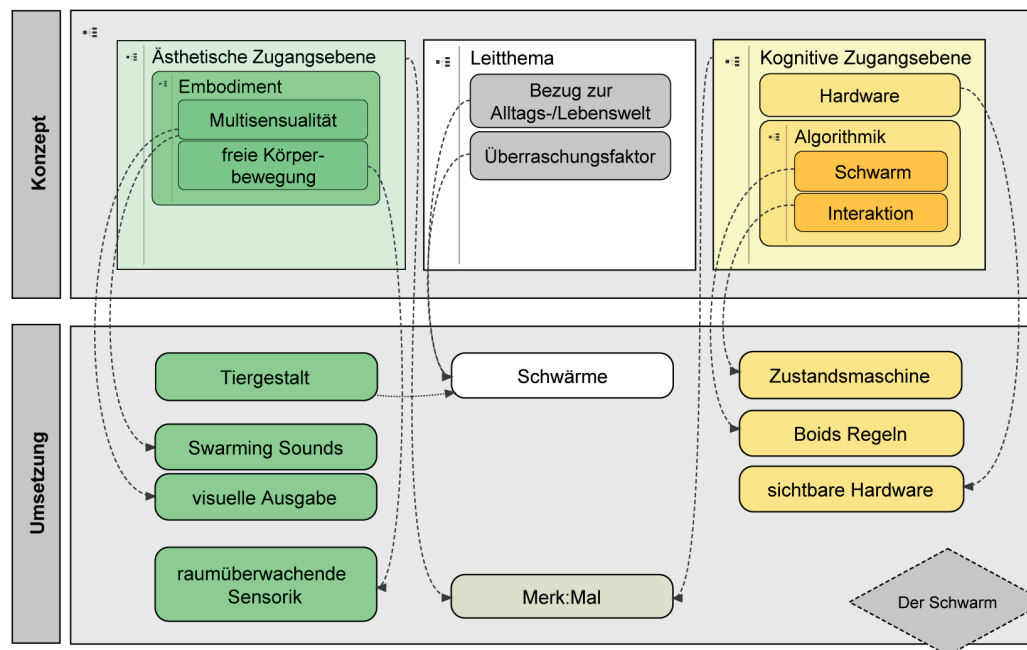


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung von Konzept und Umsetzung des Vorhabens

Der im Diagramm farblich beiden Bereichen zugeordnete, unten stehende Punkt ist die Bewegungsmustererkennung *Merk:Mal*. Sie lässt eine Auseinandersetzung auf beiden Zugangsebenen zu und bildet ein verbindendes Element. Hinter *Merk:Mal* steht maschinelles Lernen, was Algorithmen zum Gegenstand der Auseinandersetzung macht, während die Eingabe über freie Körperbewegung erfolgt, was der sinnlich-ästhetischen Ebene zugeordnet ist. Am Ende eines Trainingsprozesses, des maschinellen Lernens, kann das System Bewegungsabfolgen des Benutzers wiedererkennen und darauf beispielsweise mit einer Verhaltens- bzw. Darstellungsänderung des Schwarms reagieren. Die Komponente *Merk:Mal* wird in Kapitel 5.5.4 erläutert.

### 4.3.3 Gestaltung des Entwicklungsprozesses

Bei der Umsetzung des obigen Entwurfs zum technischen System *Der Schwarm* werden Kinder am Entwicklungsprozess beteiligt, um sicherzugehen, dass das System ihren Bedürfnissen gerecht wird. Druins Verständnis von Participatory Design für Kinder wird aufgegriffen, in dem Kinder vier Rollen einnehmen können: User, Tester, Informant und Design Partner (siehe Kapitel 3.3.1). Wie Scaife und Rogers (1998) vorschlagen, werden Kinder in der Rolle *Informant* am Entwicklungsprozess beteiligt.

Die Realisierung der einzelnen Kriterien von *Moving Algorithm* wird in mehrere Softwarekomponenten aufgeteilt, beispielsweise die Komponente *Boids Regeln* für den Aspekt Software beim Kriterium Algorithmik. Die Komponenten können weitestgehend unabhängig



voneinander entwickelt werden, der Entwicklungsprozess wird den jeweiligen Anforderungen der Komponente individuell angepasst. Generell ist der Prozess so aufgebaut, dass Kinder in regelmäßigen Workshops mit der Beispielapplikation *Der Schwarm* interagieren. Die Ergebnisse der Workshops fließen in die Entwicklung des Systems ein. Die Notwendigkeit für einen Workshop wird während des Design- und Entwicklungsprozesses erörtert, wenn Fragen auftreten, die nur spätere Nutzer beantworten können.

Als Beispiel sei hier der Entwicklungsprozess der Komponente *Boids Regeln* (siehe Kapitel 5.5.2) angeführt. Während des Design- und Entwicklungsprozesses haben zwei Workshops stattgefunden, die hauptsächlich eine hohe Usability sicherstellen sollten. In der weiteren Entwicklung sind die Ergebnisse der Workshops aufgegriffen worden. Ein dritter Workshop ist der Fertigstellung der Komponente angeschlossen und gibt Aufschlüsse über die Eignung von *Moving Algorithm*, nach dem *Der Schwarm* entwickelt ist.

## 4.4 Zusammenfassung

Die in den letzten beiden Kapiteln gesammelten Informationen und daraus gewonnenen Eindrücke haben wir nun zusammengefügt. Das Ergebnis ist ein Verständnis davon, wie technische Systeme gestaltet werden müssen, um eine immersiv-reflexive Auseinandersetzung mit und durch Digitale Medien zu ermöglichen. *Moving Algorithm*, so lautet der Name dieses Ansatzes, erweitert das Reflexive Design um eine mögliche Implementierung, indem es in drei Säulen jeweils Kriterien für technische Systeme zur immersiv-reflexiven Auseinandersetzung vorschlägt.

Insgesamt betten wir unsere Arbeit in die Praxis des Experience Design (siehe Kapitel 3.3) ein und möchten die Zielgruppe durch das Hervorrufen von bedeutungstragenden Erfahrungen zum Lernen abstrakter Strukturen durch konkrete Interaktion motivieren. Aus dem Forschungsgebiet Interaction Design und Kinder (siehe Kapitel 3.3.1) haben wir Denkweisen und Herangehensweisen für die Gestaltung von Technologien für die besondere Zielgruppe Kinder kennengelernt, die in *Moving Algorithm* eingeflossen sind. Die theoretische Grundlage im Bildungskontext, die sich auch bei Lernumgebungen im IDC wiederfindet, beruht vor allem im Konstruktivismus von Papert (siehe Kapitel 3.1.1) und dem Playful Learning von Resnick (siehe Kapitel 3.1.3). Diese sind neben Ackermanns Vorstellung von einem zirkulären Zwei-Phasen-Lernen mit Reflexion und Immersion (siehe Kapitel 3.1.2), die den Schwerpunkt für unser Vorhaben bildet, die Basis für *Moving Algorithm*.

In *Moving-Algorithm*-Systemen werden Lernprozesse von Kindern unterstützt, indem beide Lernphasen bereits bei der Gestaltung von technischen Systemen berücksichtigt werden. *Moving Algorithm* sieht zwei Ebenen der Auseinandersetzung für technische Systeme vor, wie sie in Kapitel 2 bei der Betrachtung von digitalen, insbesondere algorithmischen Bil-

dern thematisiert worden sind. In diesem Ansatz werden zu mit Ackermanns Verständnis von Lernprozessen in Relation gesetzt. Die kognitive Zugangsebene soll die Reflexion und die sinnlich-ästhetische Ebene die Immersion fördern. Beide Ebenen, die zwei Säulen in *Moving Algorithm* darstellen, werden ausdrücklich als gleichwertig betrachtet. Erst mit einer Kombination von immersiven Technologien und reflexiven Räumen, so dieser Ansatz, kann ein Design für reflexive Erfahrung realisiert werden. Das Leitthema bildet die dritte Säule und gibt eine inhaltliche Ausrichtung für die Auseinandersetzung vor.

Für jede Säule sind Kriterien als konkretere Richtlinie zur Gestaltung vorgeschlagen. Beispielweise sollen Algorithmik und Hardware der Gestaltung einer kognitiven Zugangsebene dienen, während Multisensualität und freie Körperbewegung – in Anlehnung an Dourishs *Embodied Interaction* (siehe Kapitel 3.2.1) – die Immersion fördern und einen sinnlich-ästhetischen Zugang ermöglichen sollen. Das Leitthema erlaubt die Bezugherstellung zur Alltags- und Lebenswelt der Kinder und dient dazu, deren Interesse zu wecken. Ein Überraschungsfaktor – an den programmierten Zufall aus der algorithmischen Kunst (siehe Kapitel 2.1) angelehnt – wird als Gestaltungselement eingesetzt, um überraschende Ergebnisse zu erzeugen, damit die Aufmerksamkeit der Kinder aufrecht erhalten wird.

Um den Gestaltungs- und Entwicklungsprozess eines *Moving-Algorithm*-Produkts vorzustellen, wird exemplarisch das technische System *Der Schwarm* entworfen, das im Folgenden genauer beschrieben werden soll.

# 5d Implementieren

## Das technische System *Der Schwarm*

*Yannick, Klara, Amelie und Johanna diskutieren über die Schwarmregeln. Matthias wirft nun ein: „Wir brauchen doch nur aufschreiben, was er wann macht!“ „Also, wenn wir reinlaufen, sieht er uns, und wenn wir uns auf den Boden legen, vergisst er uns“, meint Ingo. Yannick entgegnet: „Der ist an bestimmten Stellen blind, der hat keine Augen auf seinem Rücken“. „Ja. Aber, hm. Die Lichtpunkte reagieren doch auf meine Bewegungen?“; überlegt Bathuhan.*

*Ingo, Moritz, Franziska und Johanna probieren verschiedene Schritt- und Laufbewegungen aus. Yannick und Matthias ducken sich und legen sich auf den Boden. Galina und Klara geben Anweisungen. „Also auf dem Boden sieht der Schwarm nichts“, stellt Klara fest. Mendi schreibt mit Lenas und Yannicks Hilfe auf, welche Bewegungen den Schwarm zu welchen Reaktionen bringt. Yannick probiert manche Bewegungen nochmals aus. Klara schickt ihn in die verschiedenen Ecken der Schwarmfläche. Auch Matthias will wissen, wie der Schwarm sich verhält und beobachtet Yannicks Bewegungen. Als Yannick am hinteren Rand ist, folgt Matthias ihm. Dabei macht Klara eine Entdeckung: „Der muss dort hinten beim Kasten ein Auge haben. Wenn Du davor stehst, kann er Matthias nicht mehr sehen“. Amelie fragt: „Lasst uns doch erst mal herausfinden, woraus der Schwarm besteht und dann sehen, was er macht!“*

*Matthias stellt fest: „Der Schwarm, das ist doch der Beamer und die Projektionsfläche auf dem Boden“. Moritz überlegt einen Moment und fügt hinzu: „Mein Bruder und ich machen immer eine Zeichnung, wenn wir was bauen wollen“. „Mit einer Zeichnung sehe ich schon mal, wie die Wissenschaftlerin *Der Schwarm* gebaut hat“. Auf einem Blatt Papier zeichnet Moritz einen Kasten. Franziska schreibt „Computer“ daneben und zeichnet darüber ein Rechteck und schreibt „Spiegel“ dazu. Von dort zeichnet sie eine gestrichelte Linie nach unten, die unter einem „Bildschirm-Rechteck“ endet, ein kleines schwarzes Quadrat ist der Beamer. Yannick schaut sich die Zeichnung an und malt dann mit gelber Farbe Punkte in das „Bildschirm-Rechteck“. Er malt Striche an die Punkte, „die bewegen sich ja“, ergänzt er. Mit Blau schreibt Franziska „Der Schwarm“ dazu, und an einen Kasten neben dem Computer schreibt sie „Auge“. Galina fragt: „Ja, was sehen wir jetzt? Warum die Lichtpunkte sich bewegen, sehe ich da nicht.“ Yannick und Klara sind sich nicht einig, wie sie das Verhalten des Schwarms aufmalen können. Klara entscheidet: „Wir schreiben auf, was wir machen, und darunter, was der Schwarm dann macht“.*

In dem Szenario interessieren sich die Kinder nun vermehrt für den Aufbau der Installation, die Recherche nach den Regeln der Interaktion scheint erschöpft. Sie hinterfragen die Funktion und die Funktionsweise einzelner Geräte, wie die des Laserscanners, und die Kommunikation der Geräte untereinander. Auch wir wollen unsere Aufmerksamkeit in diesem Kapitel dem technischen System *Der Schwarm*<sup>1</sup> widmen. *Der Schwarm* ist durch zahlreiche Facetten gekennzeichnet, die seit dem ersten Prototypen und im Rahmen dieses Vorhabens hinzugefügt wurden. Eine breite Interessengemeinschaft hat sich um *Der Schwarm* entwickelt, es wurden zahlreiche Projekte durchgeführt. Diverse Studenten haben sich mit dem technischen System und dessen Anwendungsmöglichkeiten in ihren Abschlussarbeiten oder in ihrer Mitarbeit bei einzelnen Projekten, wie Workshops und Ausstellungen, beschäftigt. Andere Erwachsene engagieren sich in der Konzeption und Durchführung von Ausstellung und Aufführung mit *Der Schwarm* bzw. sind Teilnehmer an selbigen. Das technische System *Der Schwarm* bietet gemäß *Moving Algorithm* eine Auseinandersetzung auf informatischer und künstlerischer Ebene. Freie Körperbewegung ist Medium der Kommunikation und wird mit der berechneten Reaktion eines virtuellen Schwarms beantwortet.

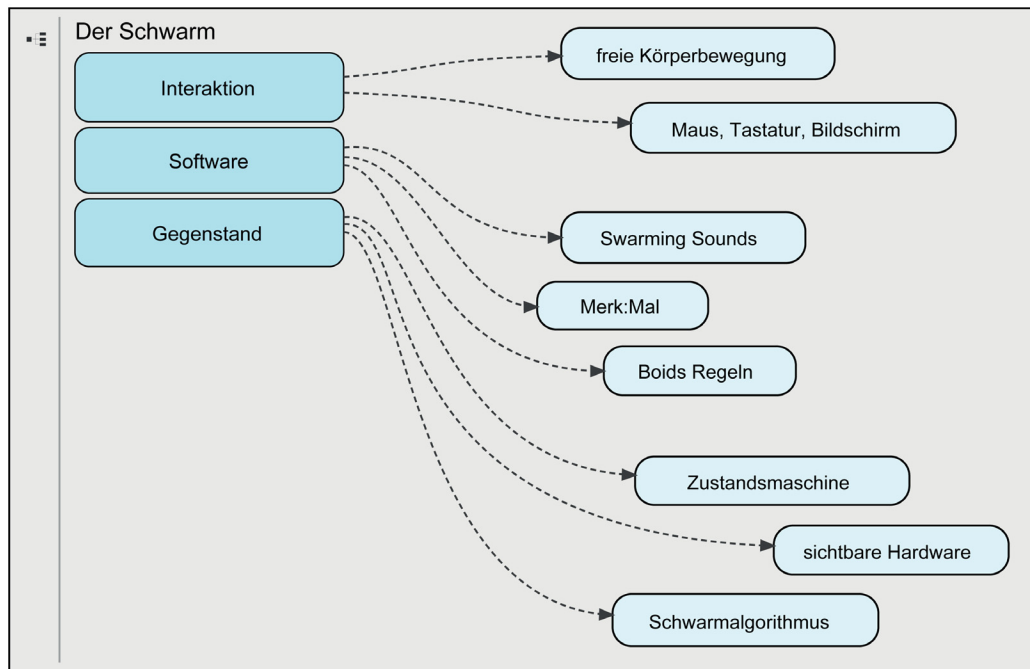
Die Umsetzung von *Moving Algorithm* auf *Der Schwarm* leitet dieses Kapitel ein und wird gefolgt von der Beschreibung des technischen Aufbaus der Installation und der Architektur der Software, was den Überblick über das Grundsystem von *Der Schwarm* abschließt. Danach wird die Gestaltung des Entwicklungsprozesses der in diesem Vorhaben implementierten Erweiterungen beschrieben. Die Simulation von Schwarmverhalten ist ein zentrales Thema, zu dem einige Algorithmen betrachtet werden, woraufhin die Regeln der Mensch-Schwarm-Interaktion bei *Der Schwarm* vorgestellt werden. Wir wollen *Der Schwarm* um jene Aspekte erweitern, die wir in Kapitel 4 erarbeitet haben. Dazu werden aus den genannten Aspekten vor allem Komponenten entwickelt, die in Software umgesetzt werden können. Die Komponenten sind ein Interface zur Erforschung des verwendeten Schwarmalgorithmus, eine Klanguausgabe und eine Bewegungsmustererkennung. Die nötigen Grundlagen zur Implementierung der Komponenten und die Umsetzung weiterer Aspekte erläutern wir direkt im Zuge ihrer Beschreibung, wenn sie benötigt werden.

## 5.1 Grundstruktur des Systems

Im vorhergehenden Kapitel 4 ist eine Zuordnung der Aspekte von *Moving Algorithm* zu Komponenten des Systems *Der Schwarm* vorgenommen worden (siehe Kapitel 4.3). Die Elemente für das technische System sind in Abbildung 5.1 zusammengefasst und dienen als Orientierung für das weitere Vorgehen bei der Implementierung.

---

<sup>1</sup>Die ursprüngliche Idee ist aus dem studentischen Projekt *Movements – Bewegungen, die neugierig machen* an der Universität Bremen unter Leitung von Heidi Schelhowe hervorgegangen. Seit dem ersten Prototypen des Systems wurden Hard- und Software u. a. im Rahmen dieser Arbeit stetig weiterentwickelt.

Abbildung 5.1: Umsetzung der Komponenten in *Der Schwarm*

Die Interaktion zwischen Benutzer und technischem System wird auf freier Körperbewegung basieren. Die Kommunikation über die klassischen Ein- und Ausgabegeräte Maus, Tastatur und Bildschirm wird für die Administration des Systems und die Nutzung zweier Softwarekomponenten verwendet. Die Software wird um die Komponenten *Swarming Sounds*, *Boids Regeln* und *Merk:Mal* erweitert, wobei die letzten beiden über Maus, Tastatur und Bildschirm bedient werden können. Den Gegenstand der Auseinandersetzung für den Nutzer bilden der technische Aufbau des Schwarms, der Algorithmus zur Simulation von Schwarmverhalten und die Algorithmen der Interaktion. Die Umsetzung wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

## 5.2 Technischer Aufbau

Das System erkennt freie Körperbewegungen in einem Raum mit einer rechteckigen Grundfläche. Dazu wird eine zweidimensionale horizontal angeordnete Fläche von einem Laserscanner<sup>2</sup> überwacht, der neben dem zu überwachenden Bereich platziert ist. Die Höhe der Abtastung liegt bei  $0,75m$ , kann jedoch über eine Änderung der Installationshöhe des Laserscanners verändert werden. Der Laserscanner ist so eingestellt, dass eine Fläche mit dem Seitenverhältnis 4:3 überwacht wird. Mit einem schnell rotierenden, für Menschen unsichtbaren Lichtstrahl überprüft der Laserscanner, ob sich im überwachten Bereich Objekte

<sup>2</sup>Leuze electronic, ROTOSCAN RS4, [http://www.leuze.com/products/las/slsc/rs4/p\\_01\\_de.html](http://www.leuze.com/products/las/slsc/rs4/p_01_de.html)

befinden. Der Laserscanner hat eine Zykluszeit von  $5\text{ms}$ . Eine frühzeitige Unterbrechung des Lichtstrahls indiziert ein Objekt, dessen Position in  $XY$ -Koordinaten an die Software weitergegeben wird. Der Laserscanner detektiert beliebig viele, sich von seiner Position aus nicht überlappende Objekte.

Im Gegensatz zu anderen Technologien zur Positionsbestimmung von Objekten, beispielsweise einer Videoerkennung mit einer Kamera, liefert der Laserscanner auch bei dunklen Lichtverhältnissen zuverlässige Daten. Das System wird hauptsächlich in abgedunkelten Räumen betrieben, weshalb dies von Bedeutung ist. Eine Alternative stellen Wärmebildkameras o.Ä. dar, die teuer in der Anschaffung sind. Preisgünstig sind Infrarotlösungen, bei denen jedoch für eine zuverlässige Positionsbestimmung Reflektoren an der Kleidung des Akteurs befestigt werden müssen. Eine Bedingung für die freie Interaktion auf der Aktionsfläche, gerade von Kindern, ist die Bedienung ohne Applikationen am Körper. Der Laserscanner bietet aufgrund seines technischen Aufbaus und seiner Position den Vorteil, dass seine Arbeitsweise durch die horizontale Lichtschranke erkundbar wird und Grenzen explorierbar werden. Der Vorgang wird offensichtlich und bleibt nicht abstrakt im Rahmen der Bildverarbeitung von Kamerabildern.

Für die visuelle Ausgabe wird ein Projektor<sup>3</sup> verwendet. Die Projektion ist auf den Fußboden des überwachten Bereichs ausgerichtet und beide Flächen sind deckend kalibriert. Zunächst wurde der Projektor mit einer Deckenhalterung über dem überwachten Bereich aufgehängt und das projizierte Bild mit einem Spiegel um  $90^\circ$  auf den Boden gespiegelt.

Ein Computer, an den Laserscanner und Projektor angeschlossen sind und auf dem die Software installiert ist, erledigt die Berechnungen. Die Mindestanforderungen an den Computer sind  $256\text{MB}$  Arbeitsspeicher und  $1\text{GHz}$  Prozessorleistung. Der Laserscanner muss mit einer seriellen Schnittstelle an den Computer anschließbar sein. Abbildung 5.2(a) zeigt schematisch den Aufbau des Systems. Die gestrichelten Linien deuten den Lichtstrahl der Projektion an und die gepunktete Linie die vom Laserscanner überwachte Fläche.

Dieser Aufbau ist aufgrund des Erfordernisses einer hohen Decke und eines Projektors mit starkem Weitwinkelobjektiv unpraktisch. In Workshops mit Kindern und Jugendlichen hat sich ein Aktionsfeld von mindestens  $6,00\text{m} \times 4,50\text{m}$  bewährt. Ausgehend von einem Projektor mit einem Weitwinkelobjektiv und einem Projektionsfaktor von  $1,5 : 1,0$  erfordert dies eine Aufhängung des Projektors in  $4,00\text{m}$  Höhe. Insbesondere für den mobilen Einsatz bei Workshops ist ein anderer Aufbau nötig.

Mit der Montage eines großen Spiegels an der Decke kann der Projektor mit dem Laserscanner auf Tischhöhe ( $0,75\text{m}$ ) installiert werden. Ein kleiner Spiegel vor der Linse des

---

<sup>3</sup>NEC, VT670, <http://www.nec-display-solutions.de/p/de/de/support/product/dp/Products/Beamer/Supported/LCDBEAMER-VT670/LCDBEAMER-VT670.xhtml?e=e3s1>

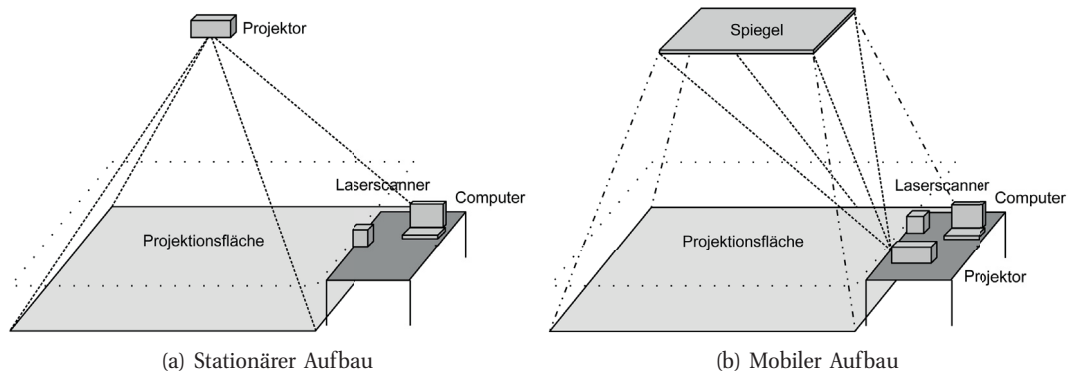


Abbildung 5.2: Technische Aufbaumöglichkeiten von *Der Schwarm*

Projektors lenkt die Projektion an die Decke, wo sie über den großen Spiegel auf den Boden projiziert wird (siehe Abbildung 5.2(b)). Eine Aufhängung des großen Spiegels in 2,37m Höhe, also annähernd standardisierter Zimmerhöhe, reicht für ein gleichgroßes Aktionsfeld aus. Dieser Aufbau wird für den mobilen Einsatz in Workshops an Schulen etc. verwendet, während ein stationäres System permanent an der Universität Bremen<sup>4</sup> ausgestellt wird.

Die Installation *Der Schwarm* kann auch ohne Laserscanner und Projektor direkt am Computer über eine Eingabe per Maus und Ausgabe mit einem Monitor genutzt werden (siehe Kapitel 5.5.1). Die Position der Maus wird dann als Pendant der Position des Akteurs im Aktionsfeld interpretiert.

Es gibt noch weitere Ein-/Ausgabegeräte, für die eine Anbindung an das System *Der Schwarm* implementiert wurden. Zunächst können mit einem konstruierten Datenhandschuh im Aktionsfeld erweiterte Funktionalitäten des Schwarms wie das Anlocken aller Agenten, d. h. aller Charaktere, aufgerufen werden. Der Datenhandschuh wird auch durch einen Wii-Remote Controller ersetzt, was in Kapitel 5.5.5 vorgestellt wird. Der zusätzliche Controller schafft eine mobile Kontrollinstanz während der Laufzeit und kann auch zu Administrations- und Demonstrationszwecken in Workshops mit Kindern eingesetzt werden.

### 5.3 Architektur der Software

Nachdem wir den technischen Aufbau, die Hardware des Systems *Der Schwarm* kennengelernt haben, werfen wir einen Blick auf die Software. Der Prozess des Entwickelns von Software besteht, wie vieles andere, aus Entscheidungen. Einige Diagramme zur Architektur der Software geben Aufschluss über den Zustand vor Beginn unseres Vorhabens und den aktuellen Stand. Im Anschluss diskutieren wir das Vorgehen für die Implementierung der Software. An der Software von *Der Schwarm* entwickeln zahlreiche Personen. Zur Gewähr-

<sup>4</sup>mrc – Mobile Research Center, <http://www.mrc-bremen.de>

leistung einer hohen und gleichbleibenden Codequalität legen wir Rahmenbedingungen fest, nach denen die Software implementiert wird, von der IDE bis zur vorgeschriebenen Verwendung von Frameworks und Plug-ins.

### 5.3.1 Struktur der Software

Die Struktur der Software wollen wir in ihren grundlegenden Elementen verstehen. Dazu werfen wir zunächst einen Blick auf das Interaction Design, genauer die Gestaltung der Ein- und Ausgabegeräte des Schwarms. Danach lernen wir die Software mit ihren Bestandteilen kennen. Unser Augenmerk liegt auf dem Vorhandensein und dem Zusammenspiel einzelner Facetten des technischen Systems *Der Schwarm*. Spezifische Lösungen der Implementierung im Sinne der Softwareentwicklung werden nicht genauer betrachtet.

Die Struktur der Hardware, die in Kapitel 5.2 beschrieben wird, fügt sich in das Konzept der Ein-/Ausgabegestaltung. Die Bestandteile der Ein- und Ausgabe orientieren sich an der Hardware, für die in der Software von *Der Schwarm* jeweils eine Schnittstelle implementiert ist. Abbildung 5.3 zeigt schematisch die Implementierung der Mensch-Schwarm-Interaktion. Die Farbgebung der Elemente ist den in Kapitel 4 präsentierten Diagrammen angeglichen; Grün deutet eine Implementierung der Reflexion und Orange Immersion an, die Mischung beider Farben, also der Ockerton, zeigt eine Umsetzung beider Aspekte. Die rote Umrandung von Elementen kennzeichnet jene Teile der Software, die im Rahmen dieser Arbeit hinzugefügt worden sind.

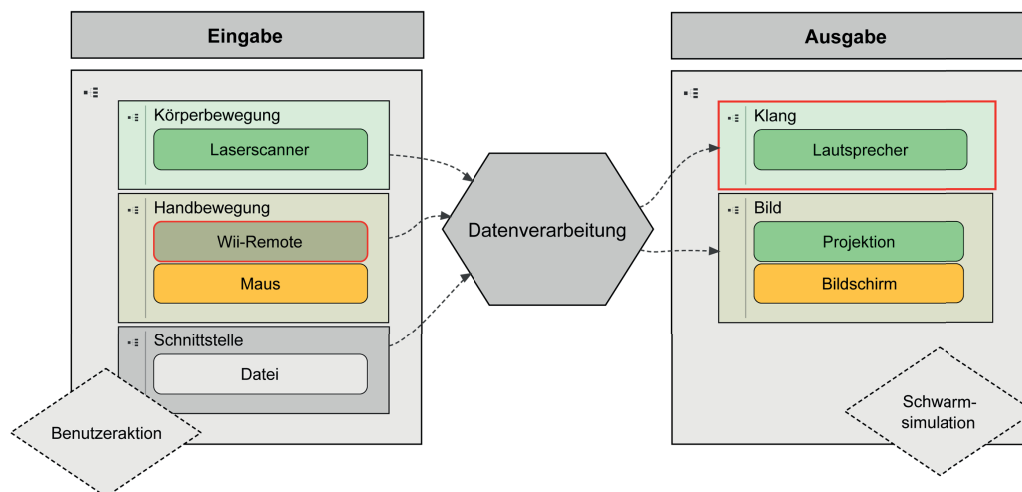


Abbildung 5.3: Eingabe-Ausgabe Konzept bei *Der Schwarm*

Bei Erkennung der Eingabe wird generell nach zwei Typen unterschieden. Die Veränderung des Orts des Akteurs bzw. Eingabegeräts nennen wir Bewegung. Die Veränderung der Position von Gliedmaßen ohne Ortsveränderung des Körperschwerpunkts, wie das Wedeln mit Armen bzw. Beinen oder das Schütteln der Wii-Remote, nennen wir Aktivität. Die Eingabe-

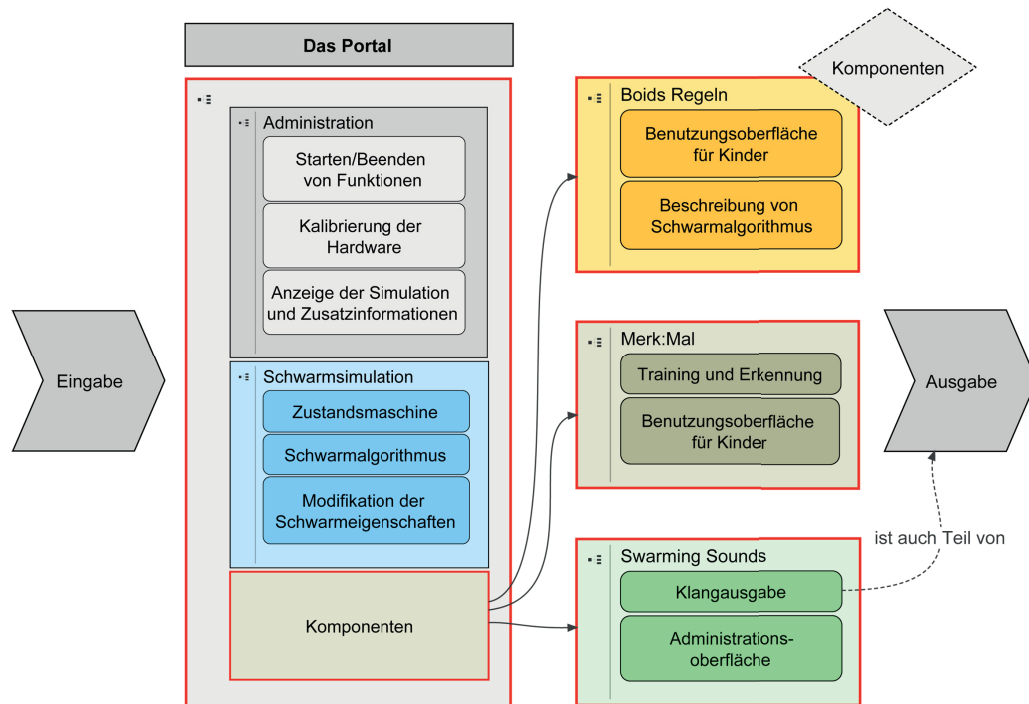


geräte erfassen Bewegung und Aktivität unterschiedlich. Während der Laserscanner auf der Höhe der Abtastung beides gleichermaßen erfasst, wird mit der Wii-Remote ausschließlich Aktivität verfolgt. Die Maus am Bildschirm erfasst vornehmlich die Bewegung, Aktivität kann durch andauerndes Klicken der linken Maustaste simuliert werden. Dadurch wird der Einflussbereich des Mausektors kontinuierlich vergrößert, bis der Klick beendet wird, wonach er bis zur Ausgangsgröße verkleinert wird. Die Eingabe der Positionsdaten über eine Datei ermöglicht das Einlesen einer zuvor getätigten und mitgeschriebenen Benutzeraktion, dabei werden die erfassten Positionsdaten in einer Datei abgelegt. Die Reaktion des Schwarms kann so mit identischen Daten beobachtet und die Unterschiede erforscht werden. Die Vielfalt der Eingabegeräte und die Unterschiede in der jeweiligen Positionserfassung sind bewusst gewählt. Die Auswahl ermöglicht ein Herantasten an die verwendete Hardware über mehrere Zugänge. Die Möglichkeiten und Grenzen der Technologien werden im Vergleich deutlich, wodurch ein Bewusstsein für die Bedeutung der Hardware im Umgang mit Digitalen Medien entstehen kann.

Dieselbe Strategie steht hinter den Ausgabemöglichkeiten. Es stehen zwei visuelle Ausgaben zur Verfügung. Die Projektion auf der Aktionsfläche zeigt die Agenten in einer grafischen, bildlichen Darstellung. Am Bildschirm ist die Darstellung der Agenten mit zusätzlichen Informationen wie der Anzeige der Bewegungsrichtung angereichert. Beide visuelle Ausgabemöglichkeiten werden in Kapitel 5.5.1 beschrieben und mit Bildschirmfotos verdeutlicht. Vor allem die Anzeige am Bildschirm ist im Rahmen dieser Arbeit neu gestaltet worden. Die auditive Ausgabe ist eine Erweiterung des Systems, die auch im Rahmen dieser Arbeit entstanden ist. Sie wird ausführlich in Kapitel 5.5.3 erläutert. Hier sei mit einem Vermerk auf die Implementierung mehrerer Zugänge in Ein- und Ausgabegeräten darauf verwiesen.

Das sogenannte *Portal*, die Software von *Der Schwarm*, bietet neben der Steuerung der Funktionen einen Zugang zu den verschiedenen Komponenten des Systems. Alle Funktionen des Portals werden in Kapitel 5.5.1 vorgestellt. Abbildung 5.4 gibt einen Überblick der implementierten Funktionen. Die Elemente „Eingabe“ und „Ausgabe“ referenzieren auf die vorhergehende Abbildung. Bei der Ausgabe wird ein Bezug zur Eingabe hergestellt. Eine Rückkopplung der Ausgabe des Akteurs beeinflusst seine weiteren Aktionen, also seine weitere Eingabe. Ein zirkulärer Prozess entsteht.

Die rote Umrandung macht eine grundlegende Neugestaltung und -strukturierung des Portals im Rahmen dieser Arbeit deutlich. Die anderen rot gekennzeichneten Bereiche beider Abbildungen existieren in der Grundversion nicht. Das Portal lässt sich in drei Grundelemente aufteilen. Ein Administrationsbereich soll Einstellungen auf operationaler und administrativer Ebene ermöglichen. Diese beziehen sich auf die Kalibrierung des Laserscanners, dessen Position am Rand der Aktionsfläche eingestellt werden muss, um eine möglichst komplette Überlappung zu erzielen. Eine weitere Einstellung legt die Größe des zu über-

Abbildung 5.4: Bestandteile des *Portals*

wachenden Bereichs fest, die identisch mit der Größe der Aktionsfläche sein sollte. Der Verbindungsauf-/abbau zur Wii-Remote ist ein weiteres Beispiel, das in diesen Bereich fällt.

Die Koordinaten der Darstellung der Simulation und angezeigten Zusatzfunktionen kann im Administrationsbereich getätigt werden. Die Simulation des Schwarms ist ein eigener, wichtiger Bereich der Software. Die Bewegungen der Schwarmagenten werden durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren beeinflusst. Die Zustandsmaschine bestimmt den aktuellen Status des Schwarms. Der Status ist eine direkte Rückmeldung des Schwarms auf die Bewegungen und/oder Aktivitäten des Akteurs, gleichgültig, mit welchem Gerät sie getätigt worden sind.

Das Schwarmverhalten wird über den Schwarmalgorithmus simuliert, der das Verhalten der Agenten untereinander steuert und unabhängig von den Eingaben eines Akteurs ist. Die Zustandsmaschine und der Schwarmalgorithmus sind unabhängig voneinander, beide werden in Kapitel 5.4.2 beschrieben. Die Modifikation der Schwarmeigenschaften dient der passgenauen Einstellung in Vorbereitung auf das jeweilige Nutzungsszenario. Innerhalb des Szenarios, beispielsweise eines Workshops mit Kindern, kann diese Modifikationsmöglichkeit zur Transparenz der zugrunde liegenden Technologie und als von den Kindern gesteuerter Kontrollmechanismus eingesetzt werden.

Die Schwarmeigenschaften sind Parameter wie Größe, Anzahl und Aussehen der Agenten auf der Aktionsfläche. Die Wertezuweisung der Eigenschaften kann in sogenannte Presets

zusammengefasst werden, so dass die Werte aller Eigenschaften in einem Preset gehalten und abgerufen werden können. Diese Funktion wird in Kapitel 5.5.1 mit der Benutzungsoberfläche zur Verwaltung des technischen Systems *Der Schwarm*, dem Portal, beschrieben. Ein dritter, großer Bereich der Software ist über das Portal zugänglich und heißt Komponenten. Alle Komponenten sind im Rahmen dieser Arbeit entwickelt worden und ausführlich in den Kapiteln 5.5.2-5.5.4 erläutert. Hier sei lediglich gesagt, dass *Boids Regeln* die Erforschung des Schwarmalgorithmus für Kinder ermöglicht, *Merk:Mal* eine Bewegungsmustererkennung realisiert sowie maschinelles Lernen erfahrbar macht und *Swarming Sounds* ein auditives Display implementiert.

### 5.3.2 Vorgehen im Entwicklungsprozess

Bevor Festlegungen über die Implementierung der vorgestellten Struktur vorgenommen werden können, bedarf es der Diskussion eines Vorgehens während des Entwicklungsprozesses im Hinblick auf die Rahmenbedingungen der Weiterentwicklung von *Der Schwarm*. Das Vorgehen wird in diesem Fall *nach* der Beschreibung der Struktur von *Der Schwarm* erläutert, um dessen besondere Anforderungen an den Entwicklungsprozess berücksichtigen zu können. Auf diese Anforderungen und daraus resultierende Designentscheidungen für den Entwicklungsprozess wird in diesem Kapitel eingegangen, nachdem der erste Schritt zur Herstellung einer erweiterbaren Software als Grundlage jenes Prozesses – ein vollständiges Refactoring – vorgestellt wurde. Im Anschluss wird für jede Erweiterung ein Vorgehen zur Realisierung kurz vorgestellt. Eine genauere Beschreibung zum Vorgehen ist bei der Darstellung der Erweiterung selbst zu finden.

Ein Refactoring sämtlicher Bereiche der Software von *Der Schwarm* bildet den ersten Schritt bei der Weiterentwicklung der Software. Es schafft die Grundlagen für Erweiterungen an der mehrjährigen Software und wird durchgeführt, bevor das Vorgehen für die Erweiterungen selbst festgelegt wird. Dadurch wird der Software eine aktuelle Struktur verliehen, die von neuen Entwicklern in überschaubarer Einarbeitungszeit nachvollziehbar ist und über Schnittstellen verfügt, an denen Erweiterungen angesetzt werden können. Zudem dient das Refactoring der Zusammenführung unterschiedlicher Forks, die seit dem ersten Prototypen im Zuge der Realisierung einzelner Funktionalitäten entstanden sind. Ein Fork meint eine Kopie der Software, die unabhängig zur ursprünglichen Software weiterentwickelt wurde und dadurch einen anderen Funktionsumfang hat. Der Entwicklungsprozess des Refactorings ist linear, da es nur von mir vorgenommen wird und keinerlei Koordination mit anderen Softwareentwicklern bzw. der Zielgruppe bedarf.

Für die Gestaltung des weiteren Entwicklungsprozesses in diesem Vorhaben kann die Festlegung auf ein Modell aus der Softwareentwicklung wie Wasserfall (Royce 1970; Boehm 1981), das V-Modell (V-ModellXT 2009), ein agiles Vorgehen wie Scrum (Takeuchi und Nonaka

1986; Schwaber 1995) oder eine zusätzliche Arbeitsstruktur wie Kanban (Anderson 2003) nicht greifen. Von der Theorie ausgehend, passen agile Vorgehensmodelle, die durch einen iterativen Entwicklungsprozess gekennzeichnet sind, gut zu den Grundgedanken des Interaction Design, das ebenfalls mehrere Schleifen bei der Produktentwicklung vorsieht (siehe Kapitel 3.3.1). Vorgehensmodelle sind vor allem für die Strukturierung und Koordination von großen Teams bei der Entwicklung eines Softwareprodukts konzipiert. Bei diesem Vorhaben wird jeweils ein Entwickler für einen Bereich eingesetzt und die Implementierung der Bereiche überschneidet sich zeitlich weitestgehend nicht. Die Hauptvorteile der Verwendung eines Vorgehensmodells greifen für unser Vorgehen also nicht, die Festlegung kann sogar einen Zusatzaufwand an Verwaltung bedeuten. Wir bedienen uns daher vielmehr Praktiken einzelner Vorgehensmodelle, die für unser Vorhaben gewinnbringend sind. Einige Bereiche der Software zu *Der Schwarm* existieren bereits, andere nur als Fragmente oder bedürften starker Überarbeitung und wieder andere werden neu konzipiert und hinzugefügt. Die Arbeitsweisen werden daher im Hinblick auf den jeweils zu implementierenden Bereich ausgewählt. Die implementierten Schwarmalgorithmen und Regeln der Mensch-Schwarm-Interaktion (siehe Kapitel 5.4.1 und 5.4.2) erfahren außer dem Refactoring keine Veränderung und werden daher im Vorgehen nicht betrachtet.

Ein umzugestaltender und umzustrukturierender Bereich ist die zentrale Benutzungsoberfläche vom technischen System *Der Schwarm*, das Portal. Diese ist ursprünglich ausschließlich zur Verwaltung von *Der Schwarm* durch einen Administrator gedacht. Das Vorgehen bei der Entwicklung des Portals vor der Umgestaltung, bei dem sich Entwicklungs- mit Test- und Ideenfindungsphasen abwechseln, ist iterativ geprägt. Nach der Fertigstellung einer Funktion und dazugehöriger Tests ist bei der Nutzung der Software Bedarf an weiteren Funktionen entstanden, die in einer weiteren Entwicklungsschleife programmiert werden. Das Spiralmodell von Boehm (1986) arbeitet ähnlich, in jedem Arbeitszyklus werden Ziele festgelegt und implementiert. Der Fokus vom Spiralmodell auf die Einschätzung von Risikofaktoren ist für uns nicht relevant, da keine wirtschaftlichen Aspekte beachtet werden müssen. Unser Vorgehen ist, wie auch das Spiralmodell, auf die Erlangung schneller Ergebnisse ausgerichtet. Dies beinhaltet die Methode des Prototyping, bei der ein früher Prototyp bzw. Mock-up Aufschlüsse über die Entwicklung des Endprodukts geben soll. Für einen umfassenden Überblick zu Prototyping und relevanter Literatur sei auf Krannich (2010) verwiesen. Die Umgestaltung des Portals im Rahmen dieser Arbeit muss einem anderen Vorgehen folgen, weil neben dem Administrator noch weitere Nutzergruppen eingeschlossen werden. Die Erhebung der Anforderungen werden mit den Nutzergruppen erarbeitet und nach der Implementierung erneut mit diesen überprüft. Eine Beschreibung des Vorgehens ist in Kapitel 5.5.1 gegeben.

Bei der Komponente *Boids Regeln* findet ein iteratives Vorgehen Anwendung, das die spätere Nutzergruppe von Kindern einschließt. Auf die Einbeziehung der Kinder in den Softwareentwicklungsprozess wird direkt in Kapitel 5.5.2 bei der Beschreibung der Komponente ein-

gegangen. Die Anforderungen an die Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* sind mit denen von *Boids Regeln* vergleichbar. Die Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* (siehe Kapitel 5.5.4) wird zeitlich nach der Komponente *Boids Regeln* entwickelt, wodurch die erlangten Kenntnisse dort einfließen können. Dadurch wird die Kontinuität der Benutzungsoberflächen für Kinder bei *Der Schwarm* sichergestellt.

Das Refactoring der gesamten Software von *Der Schwarm*, die Komponente *Swarming Sounds* (siehe Kapitel 5.5.3) und der Trainings- und Erkennungsbereich von *Merk:Mal* (siehe Kapitel 5.5.4) werden linear entwickelt, wie es beispielsweise auch im Wasserfallmodell verankert ist. Der Anforderungsrahmen ist klar definiert. Bei *Swarming Sounds* und dem genannten Bereich von *Merk:Mal* haben die späteren Nutzer keinen Zugang zu der internen Verarbeitung, was eine vorherige Festlegung des Funktionsumfangs ermöglicht. Der Bedarf eines Lastenhefts ist nicht gegeben, da die Software nicht fakturierbar sein muss.

### 5.3.3 Programmiersprache und -umgebung

Die Software der Installation *Der Schwarm* ist in der objektorientierten Programmiersprache Java<sup>5</sup> implementiert. Derzeit wird sie in einer Windows-Umgebung<sup>6</sup> betrieben.

Java-Programme sind durch ihre Kompilierung in Bytecode und Ausführung über die Java Virtual Machine plattformunabhängig, was ein entscheidender Grund für die Verwendung von Java zur Entwicklung der Software ist. Die Software wird im Rahmen von Workshops mit Kindern und Erwachsenen, bei Ausstellungen und (Tanz-)Aufführungen eingesetzt. Für die Verwendung in Workshops ist die Software, neben dem Aufbau mit der Hardware wie dem Laserscanner und dem Projektor, auf mehreren Laptops installiert, die von Kindern bedient werden. Die Software wird von einer gleichbleibenden Anzahl von Studenten, Wissenschaftlern und Externen wie Projektpartnern stetig weiterentwickelt. Dementsprechend werden unterschiedliche Plattformen für die Ausführung und Entwicklung verwendet, was die Verwendung einer plattformunabhängigen Programmiersprache erfordert. Außerdem verfügt Java über eine große Nutzerzahl und damit zahlreiche Informationsquellen, was die Einarbeitungszeit verkürzt und Problembhebung erleichtert. Es werden viele kostenfreie Frameworks, Tools und Schnittstellen zur Verfügung gestellt, die die Entwicklung und Wartung des Programmcodes vereinfachen. Hier sind beispielsweise Frameworks zur Verbesserung der Codequalität wie CheckStyle<sup>7</sup>, zur Dokumentation für die Gewährleistung von Wartbarkeit und kurzer Einarbeitungszeit wie JavaDoc<sup>8</sup>, zum Logging von Meldungen der Anwendung wie Log4j<sup>9</sup> und zur Realisierung von Test-Driven-Development (TDD) wie

<sup>5</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/>

<sup>6</sup>Microsoft, <http://www.microsoft.com/germany/windows/>

<sup>7</sup>Oliver Burn, <http://checkstyle.sourceforge.net/>

<sup>8</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/j2se/javadoc/>

<sup>9</sup>The Apache Software Foundation, <http://logging.apache.org/log4j/>

JUnit<sup>10</sup> zu nennen. Viele weitere Frameworks implementieren Codestrukturen, mit denen die Einhaltung von Standards und/oder Design-Patterns wie dem Model-View-Controller (MVC) Pattern vereinfacht werden.

Die integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) Eclipse<sup>11</sup> wurde zur Entwicklung des Programmcodes verwendet. Eclipse ist Open-Source und seit 2001 verfügbar. Die IDE ist in Java und ursprünglich für Java-Programmierer entwickelt worden und verfügt neben dem üblichen Funktionsumfang wie einem Texteditor, Compiler, Debugger, Linker sowie Formatierungsfunktionen über eine Schnittstelle zur Installation von Erweiterungen (Plug-ins). Durch eine neue Softwarearchitektur, die mit dem eigenen Equinox-Framework<sup>12</sup> die OSGi-Spezifikation<sup>13</sup> implementiert, liefert Eclipse die Plattform für zahlreiche Plug-ins. Inzwischen unterstützt die IDE eine Vielzahl an Programmier- und Skriptsprachen wie C++<sup>14</sup>, C#<sup>15</sup>, Perl<sup>16</sup>, PHP<sup>17</sup> und Ruby<sup>18</sup>, die jeweils als Plug-in installiert werden können. Weitere Erweiterungen stellen die Integration von Versionskontrollsystemen wie Subclipse<sup>19</sup> für das System Subversion<sup>20</sup>, UML-Diagrammen wie eUML2<sup>21</sup>, Textsatzsystemen wie TeXlipse<sup>22</sup> für LaTeX<sup>23</sup> oder Softwareprojektmanagementsystemen wie m2eclipse<sup>24</sup> für Maven<sup>25</sup> bereit.

Um einen einheitlichen Programmierstil und damit eine kurze Einarbeitungszeit für neue Entwickler und die Wartbarkeit des Sourcecodes sicherzustellen, haben wir Richtlinien entwickelt, nach denen die Entwicklung stattzufinden hat und die einen ersten Einstieg in die Programmierung und Handhabung der Software ermöglichen (siehe Anhang C.2). Das schließt die Verwendung von Eclipse und einigen Frameworks ein. Bei der Auswahl von Frameworks sind Kriterien wie Verbreitung, Verfügbarkeit, Komplexität und Quellfreiheit zugrunde gelegt worden. Die wichtigsten in den Richtlinien enthaltenen Frameworks werden im Folgenden vorgestellt.

Eine einheitliche Dokumentation erhöht die Lesbarkeit des Quellcodes und gewährleistet eine geringe Einarbeitungszeit für neue Entwickler. Beim Software-Projekt *Der Schwarm* wird dazu JavaDoc<sup>26</sup> verwendet. JavaDoc ist Bestandteil des Java Development Kit (JDK) und

<sup>10</sup>Object Mentor, <http://www.junit.org/>

<sup>11</sup>The Eclipse Foundation, <http://www.eclipse.org/>

<sup>12</sup>The Eclipse Foundation, <http://www.eclipse.org/equinox/>

<sup>13</sup>OSGi Alliance, <http://www.osgi.org/Specifications>

<sup>14</sup>Bjarne Stroustrup, <http://www2.research.att.com/~bs/>

<sup>15</sup>Microsoft, <http://msdn.microsoft.com/de-de/vcsharp/>

<sup>16</sup>Larry Wall, <http://www.perl.org/>

<sup>17</sup>The PHP Group, <http://www.php.net/>

<sup>18</sup>Yukihiro Matsumoto, <http://www.ruby-lang.org>

<sup>19</sup>Tigris.org, <http://subclipse.tigris.org/>

<sup>20</sup>The Apache Software Foundation, <http://subversion.apache.org/>

<sup>21</sup>Soyatec, <http://www.soyatec.com/euml2/>

<sup>22</sup>Boris von Loesch, Kimmo Karlsson, Oskar Ojala, <http://texlipse.sourceforge.net>

<sup>23</sup>Leslie Lamport, <http://www.latex-project.org/>

<sup>24</sup>Sonatype, <http://m2eclipse.sonatype.org/>

<sup>25</sup>The Apache Software Foundation, <http://maven.apache.org/>

<sup>26</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/j2se/javadoc/>

daher ohne zusätzliche Installation verfügbar. Es wird eine Syntax zur Verfügung gestellt, nach welcher der Parser alle JavaDoc-Kommentare im Projekt durchsucht. Ein JavaDoc-Kommentar wird mit der Zeichenkette `★` eröffnet und mit `*/` geschlossen. Danach folgt eine kurze Beschreibung der im Quelltext direkt folgenden Methode, die dokumentiert werden soll. Anschließend folgen JavaDoc-Tags, die mit `@` beginnen und die Struktur `@tag <wert>` haben. Tags im Fließtext werden in geschweifte Klammern gefasst. In den Tags können Informationen wie Author `@author`, Parameter `@param`, Rückgabewert `@return` und Exceptions `@throws` Werten zugeordnet und anschließend kurz beschrieben werden. Mit der Taglet-API lassen sich eigene Taglets, JavaDoc-Ausdrücke, programmieren. Schließlich wird aus sämtlichen JavaDoc-Kommentaren im Software-Projekt eine Application Programming Interface (API) Dokumentation generiert. Die API-Dokumentation wird anhand eines Doclet erzeugt, das die Dokumentation in Formate wie beispielsweise PDF, XML, RTF oder HTML schreibt. Ein Beispiel für eine mit JavaDoc generierte API-Dokumentation ist die Java-API-Dokumentation<sup>27</sup>.

Als Logging-Framework ist Log4j<sup>28</sup> in der Software von *Der Schwarm* verwendet worden, da Log4j das am meisten verwendete Logging-Framework in Java-Programmen, Open-Source und kostenfrei verfügbar ist. Fehler- und Informationsmeldungen werden nicht über die Standardausgabe ausgegeben, sondern anhand von Loggern an das Loggingsystem gegeben, das die Meldung in Abhängigkeit von der aktuellen Konfiguration ignoriert oder ausgibt. Die Einordnung aller Meldungen in Prioritätsstufen und die darauf abgestimmte Konfiguration des Systems tragen zu einer effizienten Verarbeitung und Ausgabe der Meldungen bei. Während der Laufzeit werden die Meldungen gemäß der eingestellten Prioritätsstufe verarbeitet, wobei alle Meldungen höherer Prioritätsstufen ebenfalls verarbeitet werden. Die Meldungen unterschiedlicher Prioritätsstufen können unterschiedlich ausgegeben werden. Alle Meldungen können mit dem Appender in verschiedene Ausgaben wie beispielsweise eine Datei, Datenbank, Email oder die Standardausgabe geleitet werden. Die Konfiguration von Log4j kann über eine XML- oder Java-Properties-Datei erfolgen, beim Projekt der *Der Schwarm* enthält eine XML-Datei die Konfiguration.

Die Einhaltung von Code-Richtlinien zur Sicherstellung einer hohen Codequalität kann das Eclipse-Plugin CheckStyle<sup>29</sup> überprüfen. CheckStyle wurde beim Software-Projekt *Der Schwarm* so konfiguriert, dass das Programm nicht erfolgreich kompiliert, sollten die Richtlinien nicht eingehalten werden. Als einzuhaltende Richtlinien sind die offiziellen Code-Konventionen (Sun Microsystems 1997) gewählt worden, da sie den Quasi-Standard für Java bilden und eine hohe Verbreitung und Akzeptanz haben. Weitere Einstellungen ermöglichen das Kompilieren mit einer Warnung für jede Verletzung der Richtlinien. Die Kriterien können eingestellt werden, Beispiele sind die Existenz von JavaDoc-Kommentaren für Klassen,

<sup>27</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://download.oracle.com/javase/6/docs/api/>

<sup>28</sup>The Apache Software Foundation, <http://logging.apache.org/log4j/>

<sup>29</sup>Oliver Burn, <http://checkstyle.sourceforge.net/>

Methoden und Variablen, die Einhaltung von Konventionen zur Benennung von Variablen, Konstanten, Objekten etc. oder die Befolgung von Konventionen zur Erstellung von Klassen.

Weitere, hier nicht aufgeführte Richtlinien sind in den Konventionen zu finden, die im Anhang C.2 aufgeführt sind.

## 5.4 Algorithmische Schwärme

Nachdem wir für unser Vorhaben Schwarmverhalten exemplarisch für algorithmische Prozesse in der Informatik verwenden, werden wir uns nun mit den Grundlagen der Simulation von Schwarmverhalten beschäftigen. Wir lernen verschiedene Algorithmen kennen, die Schwarmverhalten simulieren können. Anschließend entwickeln wir auf der Grundlage der Recherchen die Algorithmik unseres Schwarms. Sie hat zwei Ebenen: die Simulation von Schwarmverhalten als Algorithmus und die Regeln der Mensch-Swarm-Kommunikation.

### 5.4.1 Simulation von Schwarmverhalten

Bei der Simulation von natürlichen Prozessen bilden mathematische Fachkenntnisse einen Grundstein. Auf den theoretischen Konzepten beruhen eine Vielzahl von Anwendungen, deren Gebiete kurz vorgestellt werden. Zunächst werden wir das Traveling Salesman Problem kennenlernen, für das die Simulation von Schwarmverhalten einen Lösungsansatz darstellt. Dann betrachten wir zwei Algorithmen für Schwarmverhalten, die Ant Colony Optimization und den Boids Algorithmus. Andere Algorithmen wie Particle Swarm Optimization (Kennedy und Eberhart 1995) werden nicht beschrieben, für einen Überblick sollen uns zwei Algorithmen reichen. Insgesamt ist das Interesse an Multiagentensystemen zur effizienten Berechnung von Problemlösungen und -optimierungen in den letzten Jahren gewachsen und deren Potentiale in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten werden erforscht. Für unser technisches System *Der Schwarm* verwenden wir den Boids Algorithmus; er ist in einfache Schritte zu zerlegen und scheint auch für Kinder nachvollziehbar zu sein.

#### Traveling Salesman Problem

Das Traveling Salesman Problem (TSP) beschreibt ein kombinatorisches Problem aus der theoretischen Informatik. Lösungsverfahren für das TSP finden u. a. Anwendung in der Logistik und Mikrochipentwicklung und ist bei der Simulation von Schwarmverhalten ebenfalls von Relevanz. Nach einer generellen Beschreibung des Problems werden einige Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.



Das TSP sucht die kürzeste Reiseroute eines Reisenden durch  $n$  Städte, wobei die letzte besuchte Stadt die Heimatstadt ist und eine Stadt nicht mehrfach besucht werden darf. Daraus ergibt sich eine Gesamtheit von  $n!$  möglichen Reiserouten.

Das TSP ist  $NP$ -äquivalent, also in angemessener Zeit praktisch nicht lösbar, da der Aufwand und damit die benötigte Rechenzeit für den Algorithmus zu schnell anwächst. Eine exakte Lösungsmethode ist daher für Echtzeit-Anwendungen nicht einsetzbar. (Applegate et al. 2006)

Es gibt verschiedene Approximationen, um das TSP zu lösen. Die entsprechenden Algorithmen nach dem heuristischen Verfahren benötigen zwar mehr Aufwand als die optimale Strecke, sind aber in annehmbarer Rechenzeit lösbar. Um das Problem mathematisch und schließlich algorithmisch zu lösen, wird es als Graph  $G = (V, E)$  modelliert. Die Menge der Knoten ( $V$ ) repräsentiert dabei die Städte und die Menge der Kanten ( $E$ ). Jede Kante  $e = uv$  ist eine direkte Verbindung zwischen zwei Städten und hat zwei Endpunkte  $u, v$ . Jede Kante  $e$  hat eine Länge  $c_{uv} \geq 0$ , die die Kosten der Kante beschreibt (Reinelt 1994).

Im Kontext von Schwarmverhalten sind vor allem symmetrische TSP relevant, bei denen beide Richtungen einer Kante dieselbe Länge haben, also  $c_{uv} = c_{vu}$  gilt und es daher noch  $\frac{(n-1)!}{2}$  mögliche Reiserouten gibt. Damit ist das Problem weitaus schneller zu lösen als ein asymmetrisches TSP.

Approximationsverfahren sind beispielsweise die Nearest- bzw. Furthest-Neighbor-Heuristik, die Minimum-Spanning-Tree-Heuristik oder die Christofides-Heuristik. In der Praxis werden oft Algorithmen verwendet, die eine Kombination aus mehreren dieser Heuristiken sind.

Das TSP findet in diversen unterschiedlichen Gebieten Anwendung, von denen einige Beispiele im Folgenden vorgestellt werden sollen. Damit soll vor allem auf die große Breite von Anwendungsmöglichkeiten und die damit verbundene Vielfalt an unterschiedlichen Lösungsverfahren hingewiesen werden.

**Logistik** Bei der Berechnung von Routen in der Tourismusbranche wird auf Algorithmen zur Lösung des TSP zurückgegriffen. Die Planung von Busrouten, die optimale Wegstrecke für Postboten sowie jede Art von häuslichem Pflegedienst, Lieferservices oder die Routenplanung einer Speditionsgesellschaft basieren ebenfalls auf dem TSP (Applegate et al. 2006).

**Informatik** Die Entwicklung von Hardware bedient sich des TSP, um Verdrahtung von Platinen oder Mikrochips besonders effizient zu gestalten. Bei der Verifikation von Hardware wird das TSP eingesetzt. Das Prinzip des Scheduling kann auf das TSP abgebildet werden, bei dem eine Lösung gesucht wird, um allen Prozessen eines Computers entsprechende Berechnungszeit zuzuteilen (Reinelt 1994).

**Naturwissenschaften** Das TSP wurde der Entschlüsselung menschlicher Erbinformationen zugrunde gelegt. Weiterhin tritt das TSP in der Astronomie bei der Positionierung von Teleskopen und bei der Analyse von Kristallstrukturen durch Röntgenstrahlen auf (Applegate et al. 2006; Reinelt 1994).

### Ant Colony Optimization

Eine Möglichkeit zur Lösung des TSP ist die Anwendung der Ant Colony Optimization (ACO), einer Heuristik, die kombinatorische Optimierungsprobleme lösbar macht. ACO formalisiert das Verhalten von Ameisen bei der Futtersuche, die stets den kürzesten Weg zwischen ihrem Ameisenhaufen und dem Fundort des Futters finden. Erstmals hat Dorigo eine ACO-Metaheuristik mit dem Namen Ant System vorgestellt und einen Algorithmus dazu formuliert (Dorigo 1992; Dorigo und Stützle 2004). Auf der Grundlage seiner Arbeit sind viele Algorithmen für verschiedene Anwendungsszenarien, vor allem in der Logistik, entwickelt worden.

---

#### Algorithmus 5.1 Ant Colony Optimization (Abraham et al. 2006, S. 18)

---

```

1: Initialize the number of ants  $n$ , and other parameters.
2: while the end criterion is not met do
3:    $t = t + 1$ ;
4:   for  $k = 1$  to  $n$  do
5:      $ant_k$  is positioned on a starting node;
6:     for  $m = 2$  to  $problem\_size$  do
7:       Choose the state to move into according to the probabilistic transition
         rules;
8:       Append the chosen move into  $tabu_k(t)$  for the  $ant_k$ ;
9:       Next  $m$ 
10:    end for
11:    Compute the length  $L_k(t)$  of the tour  $T_k(t)$  chosen by the  $ant_k$ ;
12:    Compute  $\Delta\tau_{i,j}(t)$  for every edge  $(i, j)$  in  $T_k(t)$ ;
13:    Next  $k$ 
14:  end for
15:  Update the trail pheromone intensity for every edge  $(i, j)$ ;
16:  Compare and update the best solution;
17: end while

```

---

Der Ablauf der Futtersuche beginnt mit dem ziellosen Wandern der Ameise, bis sie Futter gefunden hat. Sie kehrt zu ihrer Kolonie zurück und markiert den Weg mit Pheromonen. Die Duftspur verflüchtigt sich und wird mit der Zeit schwächer. Ein alternativer, kürzerer Weg von der Futterstelle zur Kolonie enthält daher eine deutlichere Duftspur. Die Strecke mit der stärkeren Duftspur wird von den Ameisen bevorzugt, so dass die kürzere Strecke sich als Hauptweg der Ameisen etabliert. Algorithmus 5.1 zeigt eine Lösung des TSP unter Verwendung der ACO in Pseudo-Code von Abraham et al..

Alternative Entwicklungen zur ACO bzw. Lösungen, auf deren Grundlage die ACO entwickelt wurde, sind vor allem in den Bereichen Swarm Particle Optimization und Swarm Robotics zu finden.

### Boids Algorithmus

Neben dem Vorbild von Ameisen bei der Futtersuche gibt es auch Algorithmen, die von Vogelschwärmen inspiriert sind. Ein Beispiel ist der Boids Algorithmus von Reynolds. Seine Arbeit legte den Grundstein für die Steuerung von autonomen Charakteren beispielsweise in Computerspielen und ist heute Basis für Weiterentwicklungen und Anwendungen. Er begreift alle Charaktere eines Schwarms als einzeln agierende Individuen, die bestimmten – von ihm formalisierten – Regeln folgen, und nicht den Schwarm als gesamte Instanz. Für jedes Individuum (Boid) wird eine sog. Nachbarschaft definiert, das Sichtfeld, das durch den Blickwinkel (angle) und die Sichtweite (distance) beschrieben wird (siehe Abbildung 5.5). Ein Individuum des Schwarms reagiert nur auf die Geschehnisse in seinem Sichtfeld, so dass sich der gesamte Schwarm aus der Summe der Sichtfelder zusammensetzt und dadurch scheinbar ein kollektives Verhalten simuliert wird. In anderen – für unsere Zwecke nicht interessanten – Varianten seines Algorithmus wird dieses Prinzip aufgebrochen (Reynolds 1999).

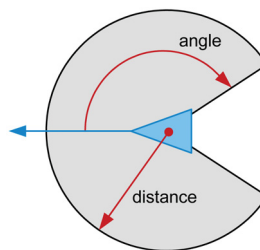


Abbildung 5.5: Sichtfeld eines Boids nach Reynolds (1999, S. 776)

Auf dieser Grundlage teilt Reynolds Schwarmverhalten algorithmisch in die drei grundlegende Verhaltensweisen *Separation*, *Cohesion* und *Alignment* (Reynolds 1987, 1999).

**Separation** Jedes Individuum eines Schwarms hält einen Mindestabstand zu den Charakteren in seiner Umgebung, um Kollisionen zu vermeiden. Die Umgebung ist dabei durch einen konstanten Radius um das Individuum definiert, also einen Kreis mit dem Individuum im Zentrum sowie einem Exponenten. Für die Berechnung der Separation wird für alle umliegenden Charaktere die Differenz von der Position des Individuums und der Position des jeweiligen umliegenden Charakters ermittelt. Nach der Normalisierung werden die Ergebnisse mit dem von Reynolds vorgeschlagenen Wert von  $1/r$  gewichtet. Das Resultat sind die Abstoßungskräfte für jeden Charakter, die schließlich aufsummiert werden, um die allgemeine Steuerungskraft zu erhalten.

**Kohäsion** Die Bewegung jedes Individuums und sein Drang zu anderen Charakteren in einem Schwarm bezeichnet Reynolds als Kohäsion. Alle Charaktere, die sich in der Umgebung des Individuums befinden, beeinflussen seine Bewegung. Der Charakter wird schließlich zu der Position gesteuert, die aus dem Mittelwert der Positionen von den ihn unmittelbar umgebenden Charakteren berechnet wird.

**Ausrichtung** Die Ausrichtung aller Individuen eines Schwarms differiert nicht stark voneinander, besonders direkt benachbarte Individuen orientieren sich in der Ausrichtung und Geschwindigkeit aneinander. Algorithmisch wird die Ausrichtung eines Individuums wie bei der Separation und Kohäsion auf Grundlage der Werte umliegender Charaktere berechnet. Hier wird der Durchschnitt der Geschwindigkeit ermittelt, die in der Berechnung als Vektor repräsentiert wird. Die Ausrichtung ist die Differenz aus diesem Durchschnitt und der momentanen Geschwindigkeit des Individuums.

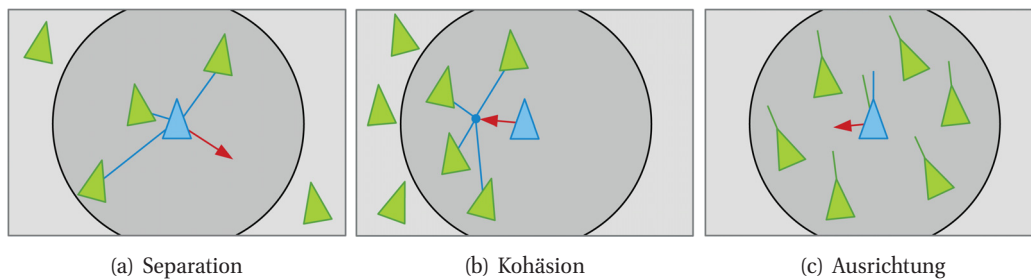


Abbildung 5.6: Boids Verhaltensweisen drei Regeln nach Reynolds (1999, S. 777)

Die drei Verhaltensweisen sind in Abbildungen 5.6(a)-(c) veranschaulicht (Reynolds 1999). Der rote Pfeil bezeichnet die berechnete Bewegungsrichtung des grünen Agenten, der sich im Zentrum seines Sichtfelds befindet.

Die Algorithmen 5.2, 5.3 und 5.4 zeigen die drei beschriebenen Verhaltensweisen Separation, Kohäsion und Ausrichtung und dazugehörige Ansätze zur Berechnung in Pseudocode von Parker. Vektor  $c$  beschreibt das Massezentrum des Schwarms, also den Durchschnitt der Summe von den Positionen aller Charaktere (siehe Separation). Den Mittelwert aus der Position aller Charaktere in der Umgebung eines bestimmten Charakters, wie es bei Kohäsion beschrieben wurde, nennt Parker „perceived center“, der durch den Vektor  $pc_j$  repräsentiert wird. Analog benennt er den Vektor  $pv_j$  mit „perceived velocity“, deren Berechnung der Beschreibung von Ausrichtung folgt.

Aus der Kombination dieser drei Verhaltensweisen kann Schwarmverhalten simuliert werden. Reynolds (1999) schlägt vor, dazu die drei Komponenten zu normalisieren, mit einer Gewichtung zu skalieren und sie zu summieren. „As a result, boid flocking behavior is specified by nine numerical parameters: a weight (for combining), a distance and an angle (to define the neighborhood [...]) for each of the three component behaviors“ (Reynolds 1999, S. 777). Olfati-Saber (2006) hat einen Algorithmus entwickelt, der alle drei Boids-Regeln in

**Algorithmus 5.2** Boids Algorithmus - Separation (Parker 1996)

---

```

1: Initialize number of boids  $n$  and vector  $c$ 
2:  $c = 0$ ;
3: for boid  $b = 1$  to  $n$  do
4:     if  $b \neq b_j$  then
5:         if  $|b.position - b_j.position| < 100$  then
6:              $c = c - (b.position - b_j.position)$ 
7:         end if
8:     end if
9: end for
10: return  $c$ 

```

---

**Algorithmus 5.3** Boids Algorithmus - Kohäsion (Parker 1996)

---

```

1: Initialize number of boids  $n$ , vector  $pc_j$ , and other parameters
2: for boid  $b = 1$  to  $n$  do
3:     if  $b \neq b_j$  then
4:          $pc_j = pc_j + b.position$ 
5:         return 1
6:     end if
7: end for
8:  $pc_j = pc_j / (n - 1)$ 
9: return  $(pc_j - b_j.position) / 100$ 

```

---

**Algorithmus 5.4** Boids Algorithmus - Ausrichtung (Parker 1996)

---

```

1: Initialize number of boids  $n$ , vector  $pv_j$ , and other parameters
2: for boid  $b = 1$  to  $n$  do
3:     if  $b \neq b_j$  then
4:          $pv_j = pv_j + b.velocity$ 
5:         return 1
6:     end if
7: end for
8:  $pv_j = pv_j / (n - 1)$ 
9: return  $(pv_j - b_j.velocity) / 8$ 

```

---

einem Algorithmus beinhaltet und diesen mathematisch hergeleitet. Aufgrund seiner Eingängigkeit wird hier der klassische, dreiteilige Algorithmus von Reynolds verwendet.

Neben den drei Regeln zur Bildung von Schwarmverhalten hat Reynolds weitere Verhaltensweisen beschrieben, die er „Steering Behaviors“ nennt. Die Verhaltensweisen bestimmen, ob ein Boid beispielsweise auf ein Objekt zusteuert, davor flieht oder gerade ziellos umherwandert. Die Verhaltensweise *Seek*, *Flee*, und *Arrival* sind für unsere Umsetzung relevant:

**Seek** „(or pursuit of a static target) acts to steer the character towards a specified position in global space. This behavior adjusts the character so that its velocity is radially aligned towards the target.“

**Flee** „is simply the inverse of **seek** and acts to steer the character so that its velocity is radially aligned away from the target. The desired velocity points in the opposite direction.“

**Arrival** „behavior is identical to **seek** while the character is far from its target. But instead of moving through the target at full speed, this behavior causes the character to slow down as it approaches the target, eventually slowing to a stop coincident with the target [...].“

**Wander** „is a type of random steering.“ (Reynolds 1999, S. 771-774)

Weitere Verhaltensweisen sind laut Reynolds (1999) *Pursuit*, *Evasion*, *Offset pursuit*, *Obstacle avoidance*, *Explore*, *Forage*, *Path following* (mit den Varianten *Wall following* und *Containment*), *Flow field following* und *Unaligned collision avoidance* (implementiert in Regel Separation).

Die Simulation von Schwarmverhalten wird nach Reynolds besonders interessant, wenn der Schwarm auf die Eingaben eines Benutzer reagiert. Mit einer Beispielapplikation verdeutlicht er in „Interaction with Groups of Autonomous Characters“ (Reynolds 2000), wie spannend die aktive Einflussnahme eines Benutzers auf die Bewegungen von autonomen Charakteren eines Schwarms sein kann. Die Interaktion beschränkt sich auf die Steuerung eines Avatars (ein Auto) über Maus und Tastatur bzw. einen PlayStation 2-Controller<sup>30</sup>. Der Avatar kann von dem Benutzer über eine virtuelle Wiese mit rastenden Tauben gesteuert werden, die entsprechend der Position und Geräusch des Autos flüchten und dabei Schwarmverhalten zeigen. Ein weiteres Beispiel ist ein Räuber-Beute-Verhalten, bei der ein Schwarm zwischen zufällig erscheinenden Fressfeinden und Beute unterscheidet und entsprechend mit Flucht oder Verfolgung reagiert. Sie wurde als Erweiterung für *Der Schwarm* im Rahmen einer Abschlussarbeit von Roman Pesina (Pesina 2007) unter meiner Betreuung entwickelt und soll hier nicht weiter beschrieben werden (siehe dazu Hashagen et al. 2008a).

#### 5.4.2 Algorithmik des Schwarms

Die zweidimensionalen Positionsdaten vom Laserscanner werden von einer Software weiterverarbeitet. Ein virtueller Schwarm aus Agenten wird berechnet und als Reaktion auf die freien Körperbewegungen über den Projektor bzw. Monitor ausgegeben. Das resultierende bewegte Bild hat eine Auflösung von  $4000 \times 3000$  Pixeln. In jedem Berechnungszyklus (50ms) werden die Daten des Laserscanners abgefragt und Position und Geschwindigkeit des Akteurs berechnet. Anschließend wird das Verhalten der Agenten berechnet. In erster Linie reagiert der Schwarm auf Bewegungen des Akteurs, sofern sich jemand im überwach-

<sup>30</sup>Sony Computer Entertainment, PlayStation, <http://www.playstation.com/>

ten Aktionsfeld befindet. Unabhängig von ihrer aktuellen Position kennen alle Agenten des Schwarms die Position des Akteurs.

Untereinander folgen sie den Regeln zur Simulation autonomer Charaktere von Reynolds (siehe Kapitel 5.4.1), wonach sie auf Ereignisse außerhalb ihres Sichtfelds (Nachbarschaft) nicht reagieren. Die interagierende Person hat einerseits die Rolle der Bezugsperson, die Reynolds als *Leader* bezeichnet, dem alle Charaktere des Schwarms folgen. Der Schwarm kann bei entsprechenden Bewegungen der interagierenden Person auch vor ihm fliehen. Dieses Verhalten hat Reynolds (1999) ebenfalls beschrieben, einen algorithmischen Ansatz zur Implementierung vorgestellt und mit *Pursuit* betitelt.

Der Schwarm kann sich in unterschiedlichen Zuständen befinden, die sein Verhalten zusätzlich bestimmen. Der Zustand wird über die Integer Variable `irritation` bestimmt, die wiederum direkt in Abhängigkeit von den Bewegungen des Akteurs steht. Der Irritationswert wird bis zu einem Minimalwert von  $-1100$  dekrementiert, wenn sich kein Akteur im Aktionsfeld befindet oder dieser sich nicht bzw. sehr langsam bewegt. Zeigt er schnelle Bewegungen, wird der Wert der Variablen stetig bis zu einem Maximum von  $+1500$  inkrementiert. Die Zahlenwerte sind in Intervallen gruppiert und den Schwarmzuständen zugeordnet. In jedem Berechnungszyklus wird überprüft, ob der aktuelle Irritationswert einem anderen Intervall zugeordnet ist und damit ein anderer Zustand aktiviert werden muss. Mit einer Änderung des Zustands werden diverse Wertigkeiten von Parametern der Agenten neu gesetzt und damit das Verhalten des Schwarms verändert. Zu einem sich langsam bewegenden Akteur berechnet die Software beispielsweise einen Schwarm, der dem Akteur mit geringer Geschwindigkeit folgt. Schnelle Bewegungen wiederum aktivieren einen sich schneller bewegenden Schwarm, dessen Agenten sich vom Akteur entfernen. Auf anhaltende schnelle Bewegungen des Akteurs reagiert der Schwarm schließlich mit einer Verfolgung in hoher Geschwindigkeit. Die Änderung von Zuständen geschieht mit `if`-Abfragen. Sofern keine `if`-Bedingung in einem Zustand positiv beantwortet werden kann, wird lediglich die Separationsregel von Reynolds angewendet, bis eine `if`-Bedingung `TRUE` wird. Insgesamt kann der Schwarm sieben Zustände annehmen.

**Müßiggang (IDLE)** Dies ist der Initialzustand des Systems.

**Vertrauen (TRUSTING)** Der Aufruf dieses Zustands erfordert einen stillstehenden oder sich sehr langsam bewegenden Akteur. Die Agenten bewegen sich mit mäßiger Geschwindigkeit und wenig Abstand zueinander auf den Akteur zu und umkreisen ihn schließlich. Bewegt sich der Akteur langsam, wird die Umkreisung terminiert und der Schwarm folgt dem Akteur. *Vertrauen* wird außerdem aktiviert, wenn seit längerer Zeit keine Person das Aktionsfeld betreten hat. Dann bewegen sich die Agenten langsam und mit großem Abstand zueinander.

**Neugier (CURIOUS)** Dieser Zustand wird wie alle weiteren, außer *Müßiggang* und *Vertrauen*, bei inkrementierendem Wert von *irritation* nur aufgerufen, wenn sich ein Akteur im Aktionsfeld befindet. In mäßiger Geschwindigkeit nähern sich die Agenten dann dem Akteur. Ist das Aktionsfeld leer, wodurch *irritation* stetig dekrementiert wird, bewegen sich die Agenten mit mäßiger Geschwindigkeit auf dem ganzen Feld.

**Beobachtung (OBSERVANT)** Haben die Agenten einen definierten Mindestabstand zum Akteur erreicht, verharren sie dort abwartend. Die Geschwindigkeit ist wie bei den Zuständen *Neugier* und *Vertrauen* mäßig, sobald der Mindestabstand erreicht wurde, vorher jedoch schneller. Befindet sich kein Akteur im Aktionsfeld, agieren die Agenten mit großem Abstand zueinander im ganzen Feld.

**Flucht (ESCAPE)** Die Agenten bewegen sich schnell und suchen, individuell und ohne Herdentrieb zu zeigen, die größtmögliche Distanz zum Akteur und verharren dort. Bei einem leeren Aktionsfeld wird die Geschwindigkeit der Agenten auf mäßig gedrosselt.

**Verwirrung (CONFUSION)** In diesem Zustand bewegen sich die Agenten sehr schnell auf dem gesamten Aktionsfeld und zeigen keinen Herdentrieb. Sobald ein Agent in die Nähe des Akteurs kommt, ändert sich die Bewegungsrichtung um 180° und er bewegt sich mit maximaler Geschwindigkeit weiter. Befindet sich kein Akteur im überwachten Bereich, agiert der Schwarm wie beschrieben ohne die Kollisionserkennung mit dem Akteur.

**Aggression (AGGRESSION)** Die Agenten zeigen bei maximaler Geschwindigkeit einen hohen Herdentrieb und steuern direkt auf den Akteur zu. Ein leeres Aktionsfeld wird von dem Schwarm ganz ausgenutzt, der sich dort bei gleichbleibender Geschwindigkeit und Herdentrieb bewegt.

Um die Status des Schwarms implementieren zu können, sind sie Verhaltensweisen zugeordnet. Die Verhaltensweisen *Seek*, *Arrival*, *Wander* und *Flee* sind in Kapitel 5.4.1 beschrieben und jeweils in einer Funktion implementiert. Die Zuordnung zu den Status des Schwarms zeigt Tabelle 5.1. Durch die Zuordnung wird bestimmt, in welchem Status die Verhaltensweisen aufgerufen werden, also wie der Schwarm innerhalb eines Status agiert. Im Zustand *Aggression* wird beispielsweise ausschließlich die Verhaltensweise *Seek* verwendet, während im Zustand *Vertrauen* *Arrival* und *Wander* aufgerufen werden, um die gewünschte Reaktion des Schwarms gemäß der obigen Beschreibung zu erzielen.

Neben den Veränderungen von Parameterwerten, die das Verhalten des Schwarms bestimmen, ändert sich das Aussehen der Agenten. Für die Darstellung der Agenten wird ein Bild des Dateiformats GIF<sup>31</sup> für jeden Zustand geladen, so dass das Erscheinungsbild mit

---

<sup>31</sup>Grafical Interchange Format



Tabelle 5.1: Implementierung der Status in Verhaltensweisen des Schwarms

| Status      | Verhaltensweise |           |          |        |
|-------------|-----------------|-----------|----------|--------|
|             | seek()          | arrival() | wander() | flee() |
| Vertrauen   |                 | •         | •        |        |
| Neugier     |                 | •         |          |        |
| Beobachtung |                 | •         | •        | •      |
| Flucht      |                 |           | •        | •      |
| Verwirrung  |                 |           |          | •      |
| Aggression  | •               |           |          |        |

dem Verhalten der Agenten wechselt. Für die Zustände *Müßiggang* und *Vertrauen* wird aus logischen Gründen dasselbe Bild verwendet. Zu verschiedenen Anlässen wie Workshops unterschiedlicher Thematik und Tanzauftritten wurden verschiedene Bilderserien entwickelt. In Workshops mit Kindern wird meistens die Serie *Käferspinne* verwendet (siehe Abbildungen 5.7(a)-(f)), auf die die Workshopteilnehmer mit großem Interesse reagieren. Eine abstraktere Form stellt die Serie *Punkt* zur Verfügung und ist in Abbildungen 5.8(a)-(f) gezeigt.

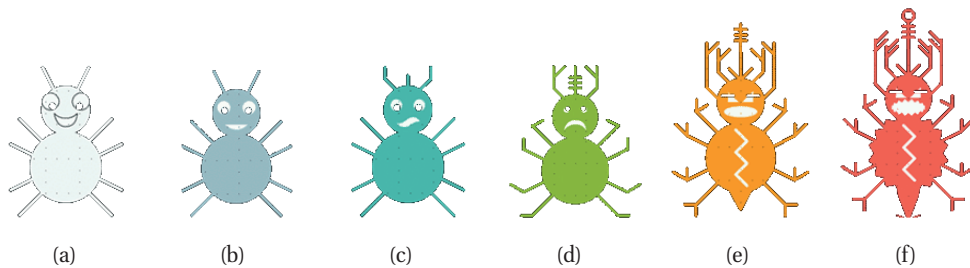


Abbildung 5.7: Bilderserie *Käferspinne* nach Status: (a) Müßiggang/Vertrauen, (b) Neugier, (c) Beobachtung, (d) Flucht, (e) Verwirrung, (f) Aggression.

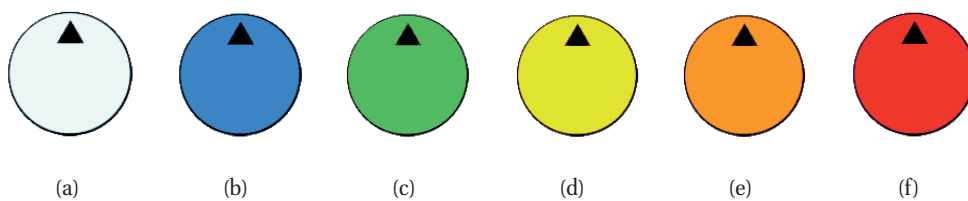


Abbildung 5.8: Bilderserie *Punkt* nach Status: (a) Müßiggang/Vertrauen, (b) Neugier, (c) Beobachtung, (d) Flucht, (e) Verwirrung, (f) Aggression.

## 5.5 Be-greifbare Interaktion mit Algorithmen

Die Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion beim technischen System *Der Schwarm* hat mehrere Ebenen. Wir wollen sie in diesem Kapitel besprechen. *Der Schwarm* muss die

Auseinandersetzung mit den dahinterliegenden Strukturen, den Algorithmen, unterstützen. Uns kommt es auf eine be-greifbare Interaktion an, die grundlegende Idee haben wir in Kapitel 3.2 kennengelernt. Ein Mittel dazu ist die ganzkörperliche Interaktion, die wir bereits in Kapitel 4 diskutiert haben. Sie wird im technischen Aufbau von *Der Schwarm* berücksichtigt und die Positionserkennung des Akteurs ist in der Software verankert. Die Kinder benötigen neben der ganzkörperlichen Interaktion außerdem Mittel, anhand derer sie ihre Eindrücke von der Aktionsfläche in Thesen über die zugrunde liegenden Algorithmen transferieren können. Mit diesen Mitteln sollen die Thesen auch noch überprüfbar, die Grenzen erforschbar sein. Dazu verschränken wir die Software zu *Der Schwarm* mit dem implementierten Interaktionskonzept. Sie hat drei Komponenten *Boids Regeln*, *Swarming Sounds* und *Merk:Mal*, die nun vorgestellt werden. Dem voraus geht die Beschreibung der Software als Administrationsoberfläche und Zugangportal zu den einzelnen Komponenten. Abschließend wird die Anbindung der Wii-Remote an das technische System *Der Schwarm* beschrieben, die das Agieren mit dem Schwarm über den Game Controller ermöglicht. Die Anbindung implementiert eine weitere Möglichkeit der ganzkörperlichen Interaktion und ist in unserem Vorhaben als Nebenprodukt zu sehen.

### 5.5.1 Das Portal *Der Schwarm*

Die Software zur Steuerung von *Der Schwarm* nennt sich *Portal*. Es ist als Kernstück des technischen Systems *Der Schwarm* zu verstehen, da es die Administration aller Hard- und Softwarebestandteile ermöglicht und den Zugriff auf weitere Softwarekomponenten wie *Boids Regeln*, *Swarming Sounds* und *Merk:Mal* zur Verfügung stellt.

Das Portal, dessen erste Version mit dem Prototypen von *Der Schwarm* entwickelt wurde, wird für dieses Vorhaben grafisch und inhaltlich neu strukturiert. Ist das Portal ursprünglich zur Administration des Systems *Der Schwarm* entworfen worden, soll die Nutzergruppe erweitert werden. Das Portal soll Kinder unterstützen, ausgewählte Aspekte des Systems zugänglich und erforschbar zu machen. Die Umgestaltung zielt auf die Erstellung einer übersichtlichen Benutzungsoberfläche des Portals, über die die Funktionen der Software schnell für unterschiedliche Nutzergruppen zugänglich sind.

Die vom Portal zur Verfügung gestellten Inhalte bleiben von der Umgestaltung und Umstrukturierung des Portals unangetastet. Diese konzentriert sich vielmehr auf die Darstellung der Inhalte und die Gewährleistung von deren Zugänglichkeit.

Die Benutzungsoberfläche des Portals wird von Mark Luft im Rahmen seiner von mir betreuten Diplomarbeit (Luft 2011) neu gestaltet und strukturiert. Die Implementierung der Software ist zur Drucklegung noch nicht abgeschlossen, weshalb im Folgenden die Gestaltung des Entwicklungsprozesses mit angewendeten Methoden, die daraus entwickelte

Struktur der Inhalte und erste Ergebnisse beschrieben werden. Danach wenden wir uns einzelnen Funktionen zu, die das Portal zur Verfügung stellt.

Das Vorgehen im Entwicklungsprozess sieht die Beteiligung der späteren Nutzer des Portals vor. Eine Herausforderung liegt in der Berücksichtigung unterschiedlicher Benutzungsgruppen. Daher ist das Portal als rollenbasierte Software konzipiert, die jedem Benutzer Inhalte gemäß einer vordefinierten Rolle zur Verfügung stellt. Die Inhalte des Portals sollen für jeden Benutzer individuell verfügbar gemacht und nur die für ihn relevanten Funktionen angezeigt werden.

Dafür werden zunächst Nutzergruppen gebildet, woraufhin mit einem Vertreter pro Gruppe ein Interview geführt wird, um Aufschluss über deren Nutzungsverhalten zu erhalten. Das Ziel ist die Aufdeckung von Verbesserungsbedarf hinsichtlich Gestaltung und Struktur der Oberflächenelemente. Die Methode des Interviews ist im Hinblick auf die Nutzergruppe ausgewählt worden. Zur Befragung der Gruppen *Besucher* und *Workshopteilnehmer* wird ein fokussiertes Interview (Merton et al. 1990; Merton und Kendall 1979) durchgeführt, das durch einen Leitfaden gestützt ist. Das fokussierte Interview sieht die Befragung des Interviewten über ein festgelegtes Thema und seine Erfahrung dazu vor. Die thematische Ausrichtung findet sich im Leitfaden des Interviews wieder, der dem Interviewer als Orientierung dient. Zusätzlich zu der Durchführung des fokussierten Interviews wird der Interviewte motiviert, die Software zu benutzen und übliche Nutzungsszenarien zu demonstrieren und zu beschreiben. Mit dem Interview wird überprüft, ob sich die Person auf der bisherigen Benutzungsoberfläche zurecht findet und grundlegende Funktionen ausführen kann. Die Befragung der Nutzergruppen *Workshopleiter* und *Administrator* wird mit der Methode des Experteninterviews (Meuser und Nagel 1991) – die ebenfalls einen Leitfaden vorsieht – durchgeführt. Die Methode dient der Gewinnung von Fachwissen durch die Befragung von Experten. Auch während der Experteninterviews zum Portal wird der Interviewte zur Verdeutlichung seiner Beschreibungen motiviert, seine üblichen Arbeitsabläufe und damit verbundenen Probleme mit der Software am Computer zu demonstrieren. Auf diese Weise sollen typische Schwierigkeiten offengelegt werden, um Verbesserungsvorschläge erarbeiten zu können.

Anhand der Ergebnisse werden anschließend das Aussehen und die Struktur der Benutzungsoberfläche entwickelt. Zudem wird ein Zugriffsrechtssystem erarbeitet, nach dem Oberflächenelemente für bestimmte Nutzergruppen ausgeblendet werden. Beispielsweise soll ein Workshopteilnehmer im Unterschied zu einem Workshopleiter und Administrator keinen Zugriff auf die Kalibrierungsfunktionalität von Projektionsfläche und Laserscanner haben. Nach Abschluss der Implementierung werden die Nutzergruppen erneut zur Nutzung der Software motiviert und zu ihren Eindrücken befragt. Die Ergebnisse werden miteinander verglichen und abschließend Aussagen zur Qualität der vorgenommenen Umgestaltung formuliert.

Die folgende Beschreibung des Entwicklungsstands orientiert sich am Entwicklungsprozess und ist chronologisch aufgebaut. Sie beginnt mit der Einteilung von Benutzungsgruppen, gefolgt von der Vorstellung des Zugriffsrechtessystems und schließt mit dem Stand der Umgestaltung.

Bei der Betrachtung der späteren Nutzer können vier Gruppen von Benutzern identifiziert werden, nach denen die Inhalte des Portals angezeigt und Zugriffe kontrolliert werden: 1. Besucher, 2. Workshopteilnehmer, 3. Workshopleiter, 4. Administratoren.

**Besucher** haben eingeschränkte Nutzungsrechte, so dass sie die Simulation des Schwarms am Bildschirm betrachten und mit der Maus als Eingabegerät agieren können. Sie können Presets und ausgewählte Schwarmeigenschaften ändern, ohne sie zu speichern. Besuchern werden zusätzliche Informationen zum System bereitgestellt. Die Rolle entspricht dem derzeitigen Benutzermodus des Portals.

**Workshopteilnehmer** sind vornehmlich Kinder und können die Schwarmsimulation am Bildschirm verfolgen und mit der Maus als Eingabegerät steuern. Sie benötigen vollen Zugriff auf die Komponenten, die sie über ihr Portal starten und beenden können müssen.

**Workshopleiter** haben Zugriff auf die Einstellungen der Hardware, um den technischen Aufbau und die Kalibrierung von Hardware und Software vor Workshops bewerkstelligen zu können. Die Anzeige der Systemmeldungen wird zur etwaigen Fehlersuche verwendet. Während eines Workshops benötigen sie die Simulationsansicht des Schwarms mit der Positionsangabe des Akteurs. Zudem können sie die Presets verändern und Werte von Schwarmeigenschaften anpassen. Sie koordinieren die Ansicht zwischen Bildschirm am Computer und Beamer-Grafik auf der Aktionsfläche.

**Administratoren** haben uneingeschränkten Zugriff auf das Portal und können Einstellungen an den Rollen vornehmen.

Die Auswertung der geführten Interviews hat zahlreiche konkrete Hinweise zur Umpositionierung einzelner Oberflächenelemente gegeben. Aufgrund der Fülle an Oberflächenelementen in der Software, wird auf eine detaillierte Darstellung der in den Interviews angesprochenen Kritikpunkte verzichtet. Die Schaltflächen der bisherigen Version vom Portal werden gemäß der Aussagen der Interviewten gruppiert und so platziert, dass sie den Arbeitsfluss der Nutzer stützen und schnell gefunden werden.

Die folgende Auflistung gibt einen Überblick der Funktionen des Portals und zeigt die Strukturierung der Funktionsbereiche gemäß den Ergebnissen aus den Interviews.

- Starten/Beenden des Systems

- Einstellungen der Hardware
  - Geräteauswahl zur Positionserkennung
  - Kalibrierung der Beamer-Grafik zum Eingabegerät
- Ausgabe der Schwarmsimulation
  - Simulationsbereich der Software
  - Beamer-Grafik
- Einstellungen der Schwarmeigenschaften
  - Aktivierung der Presets
  - Konfiguration der Presets
  - Auswahl der Schwarmdarstellung für Beamer-Grafik
- Zugang zu Komponenten
  - *Boids Regeln*
  - *Swarming Sounds*
  - *Merk:Mal* Konfiguration und Interface
- Zugang zum Benutzermodus
- Wii-Remote-Anbindung

Die entwickelte Gruppierung der Funktionen ist ein Ergebnis der Umstrukturierung der Inhalte. Neben dem Starten und Beenden des gesamten Systems, sind die grundlegenden Einstellungen bezüglich Hardware und die Modifikation aller Schwarmeigenschaften weitere Bereiche des Portals. Das Zu- und Abschalten einzelner Funktionen, wie der Beamer-Grafik, ist ein weiterer Bereich. Das Portal ermöglicht Zugriff auf die Erweiterungen des Systems wie *Boids Regeln* etc. (siehe Kapitel 5.5.2-5.5.4), der auch für die Nutzergruppe der Workshopteilnehmer gewährleistet sein muss und somit einen eigenen Bereich beschreibt. Der funktionsreduzierte Benutzermodus und die Anbindung zur Wii-Remote sind ebenfalls als eigenstehende Bereiche zu sehen und schließen den Funktionsumfang des Portals.

Die Benutzungsoberfläche und damit der Zugriff auf die einzelnen Bereiche werden für jede Nutzergruppe anhand eines Zugriffsrechtensystems berechnet. Das System sieht eine Zuordnung von einer Funktion des Portals (siehe obige Aufzählung) zu den Benutzergruppen vor, wonach dem Benutzer Softwarefunktionen gemäß seiner Nutzergruppe zur Verfügung gestellt werden. Tabelle 5.2 zeigt die Zuordnung: Funktionalität – Benutzerrolle. Ein Punkt

Tabelle 5.2: Zugriffsrechtesystem vom Portal: Zuordnung von Funktion zu Nutzergruppe

| Funktion                                    | Besucher | Nutzergruppe            |                         |                    |
|---|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
|   |          | Workshop-<br>teilnehmer | Workshop-<br>shopleiter | Adminis-<br>trator |
| Starten/Beenden des Systems                 |          |                         | •                       | •                  |
| Einstellungen der Hardware                  |          |                         | •                       | •                  |
| Ausgabe der Schwarmsimulation               |          |                         | •                       | •                  |
| Einstellungen der Schwarmeigen-<br>schaften | ○        |                         | •                       | •                  |
| Zugang zu Komponenten                       |          | •                       | •                       | •                  |
| Zugang zum Benutzermodus                    | •        |                         | •                       | •                  |
| Wii-Remote-Anbindung                        |          |                         | •                       | •                  |
| Verwaltung des Rechtesystems                |          |                         |                         | •                  |

meint den uneingeschränkten Zugriff der Nutzergruppe auf die jeweilige Funktion des Portals. Der Kreis deutet einen eingeschränkten Zugriff an, der Besucher kann beispielsweise einzelne Schwarmeigenschaften editieren, diese jedoch nicht als Preset speichern.

Zur Bereitstellung der Funktionen für die jeweilige Nutzergruppe wird der Bildschirminhalt des Portals in Module unterteilt. Ein Beispiel für ein Modul ist eine Spalte auf der linken Seite des Bildschirms. Ungeachtet der Nutzergruppe bleibt die grundlegende Aufteilung des Bildschirminhalts durch die Einteilung in Module erhalten. Jedes Modul stellt eine oder mehrere Funktionen des Portals bereit. Die Funktionen werden den Modulen in Abhängigkeit der Benutzerrolle zugeordnet. Jedes Oberflächenelement ist während der Laufzeit dynamisch anpassbar. Die Nutzer – unabhängig davon, welcher Gruppe sie zugeordnet sind – können Funktionen bzw. Module ausblenden, minimieren und maximieren. So kann der Benutzer entscheiden, welche Funktionen er momentan benötigt, und sich auf diese konzentrieren. Dies ist insbesondere für den Workshopleiter gewinnbringend, der vor und während des Workshops unterschiedliche Funktionen benötigt.

Nachdem das Vorgehen im Entwicklungsprozess und die Ergebnisse, bestehend aus der Spezifizierung von Nutzergruppen, einer Struktur der Inhalte und einem Rechtesystem, beschrieben ist, wenden wir uns den Inhalten zu. Die Beschreibung einiger Kernfunktionen liefert einen Eindruck von den Inhalten der Software. Dabei gehen wir von den am häufigsten genutzten Funktionen obiger Aufzählung laut Schilderungen der Interviewten aus. Auf eine Beschreibung der Hardwareeinstellungen wird verzichtet, da sie aus wenigen Auswahlmenüs besteht, um obig aufgezählte Funktionalität zu erfüllen. Eine ausführliche Darstellung weiterer zentraler Funktionen folgt in den Kapiteln 5.5.2-5.5.4 über die Komponenten und in Kapitel 5.5.5 über die Wii-Remote-Anbindung. Für eine vollständige Beschreibung sämtlicher Funktionen und dazugehöriger Oberflächenelemente des Portals sei auf die mehrseitige Tabelle in Anhang C.1 verwiesen.

**Ausgabe der Schwarmsimulation** Nach den Aussagen der Experten im Interview ist ein typischer Zustand des Portals die laufende Schwarmsimulation bei einer Positionserkennung über den Laserscanner und die Projektion des Schwarms auf dem Boden. Neben der projizierten Darstellung des Schwarms, wie sie in Kapitel 5.2 erwähnt wird, verfügt das Portal über eine Simulation auf der Administrationsoberfläche. Diese ist während der Laufzeit auf dem Monitor des Computers angezeigt und die Position des Akteurs markiert. Abbildung 5.9 zeigt das Portal mit dem Simulationsbereich und einer Momentaufnahme der Schwarmsimulation. Jeder Agent ist durch einen Kreis mit einem Richtungsvektor und dem Irritationswert dargestellt. Die Strichfarbe des Kreises ändert sich mit dem Zustand des Schwarms. Der Akteur ist durch einen größeren pinkfarbenen Kreis kenntlich gemacht und die Position und der Status des Laserscanners mit einer roten bzw. grünen Markierung am Simulationsrand. Abbildung 5.10(a)

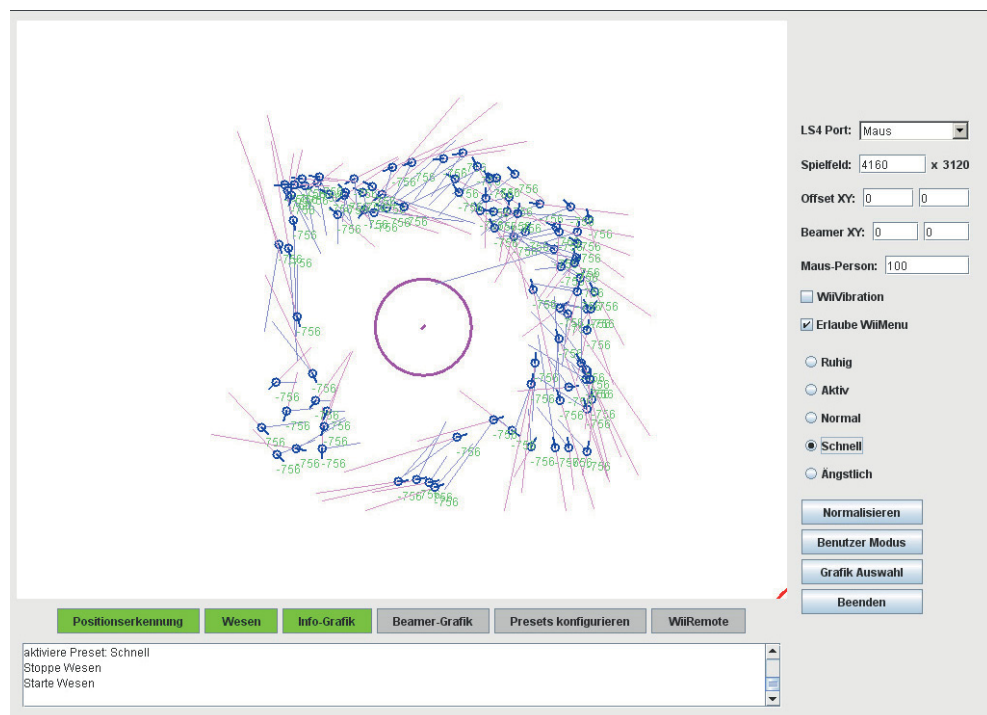


Abbildung 5.9: Das Portal im Administrationsmodus von *Der Schwarm*

zeigt eine Momentaufnahme der berechneten Reaktion des Schwarms mit der Bildserie *Käferspinne* im Zustand *Vertrauen*, wie sie auf den Boden projiziert wird. Der Akteur befindet sich zum Aufnahmezeitpunkt im Zentrum der Agenten im unteren linken Bildbereich. Als Vergleich zeigt Abbildung 5.10(b) den Schwarm im Zustand *Verwirrung*. Die Darstellung der Agenten kann geändert werden, was die Erstellung eines Bilds für jeden Zustand des Schwarms erfordert. Die Bilder werden aus einem Verzeichnis ausgelesen und müssen mit `wesen01.gif` für die Zustände *Müßig-gang* und *Vertrauen* bis `wesen06.gif` für den Zustand *Aggression* benannt sein. In jedem Zustand wird ein entsprechendes Bild zur Darstellung geladen. Im Portal

kann diese Bildserie durch Klicken auf *Grafik-Auswahl* mit dem Schwarm verknüpft werden.

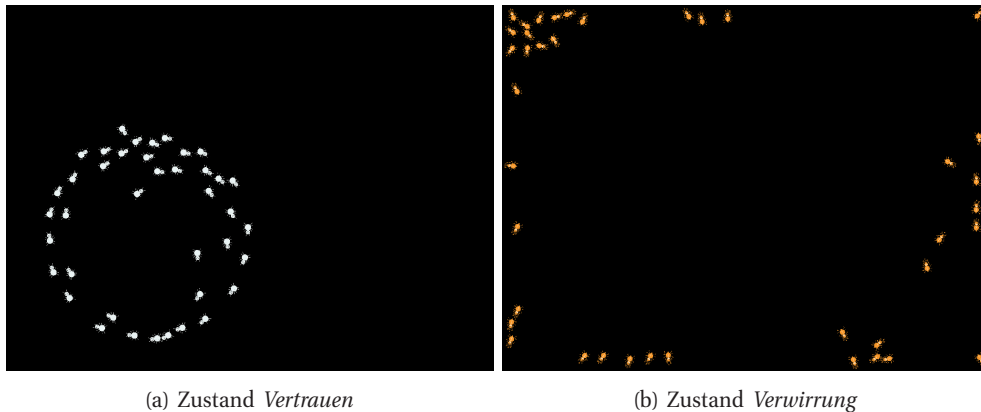


Abbildung 5.10: Grafische, zur Projektion ausgelegte Ausgabe von *Der Schwarm*

**Einstellungen der Schwarmeigenschaften** Das Verhalten des Schwarms ist in Eigenschaften unterteilt, die alle nach Bedarf angepasst werden können. Es gibt fünf vorgefertigte Parametersets (sog. Presets), die unabhängig vom aktuellen Zustand des Schwarms aktiviert werden können. Sie bestimmen die Grundlage zur Berechnung der zustandsabhängigen Parameteränderungen wie Anzahl, Größe und Grundgeschwindigkeit des Schwarms. Die Parametersets sind nach ihrem Erscheinungsbild mit *Sehr ruhig*, *Ruhig*, *Normal*, *Lebhaft* und *Sehr lebhaft* benannt.

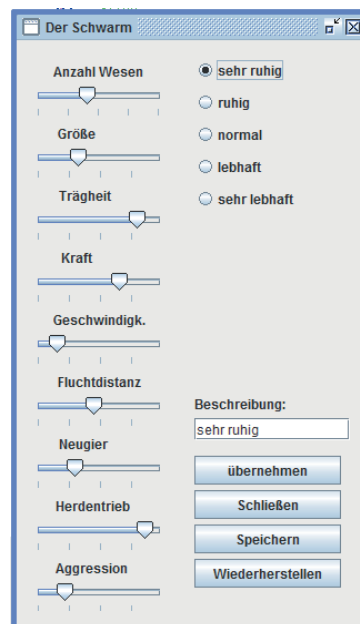


Abbildung 5.11: Konfigurationsfenster für Presets in *Der Schwarm*

*Normal*, *Lebhaft* und *Sehr Lebhaft* benannt. Die voreingestellten Presets gewährleisten eine schnelle Reaktion auf die aktuellen Bedürfnisse von Kindern in einem Work-



shop. Einige Gruppen bevorzugen langsame, große Agenten während andere einen schnellen Schwarm begrüßen, der keine Scheu vor dem Akteur zu zeigen scheint. Die Erforschung des Schwarms und der implementierten Regelwerke kann durch die Vorführung unterschiedlicher Einstellungen neue Impulse bekommen. Die Werte jeder Schwarmeigenschaft können jeweils für ein Preset angepasst und gespeichert werden. Abbildung 5.11 zeigt das Konfigurationsfenster zur Anpassung der Schwarmeigenschaften für jedes Preset. Das Fenster wird geöffnet, wenn die Schaltfläche *Presets konfigurieren* (siehe Abbildung 5.9) betätigt wird.

**Zugang zum Benutzermodus** Neben der zentralen Administrationsoberfläche kann eine vereinfachte Sicht aktiviert werden. Sie enthält die Simulationsansicht und wenige Oberflächenelemente, die lediglich die Auswahl des aktuellen Presets und die Modifikation einiger Schwarmeigenschaften ermöglichen (siehe Abbildung 5.12). Dieser

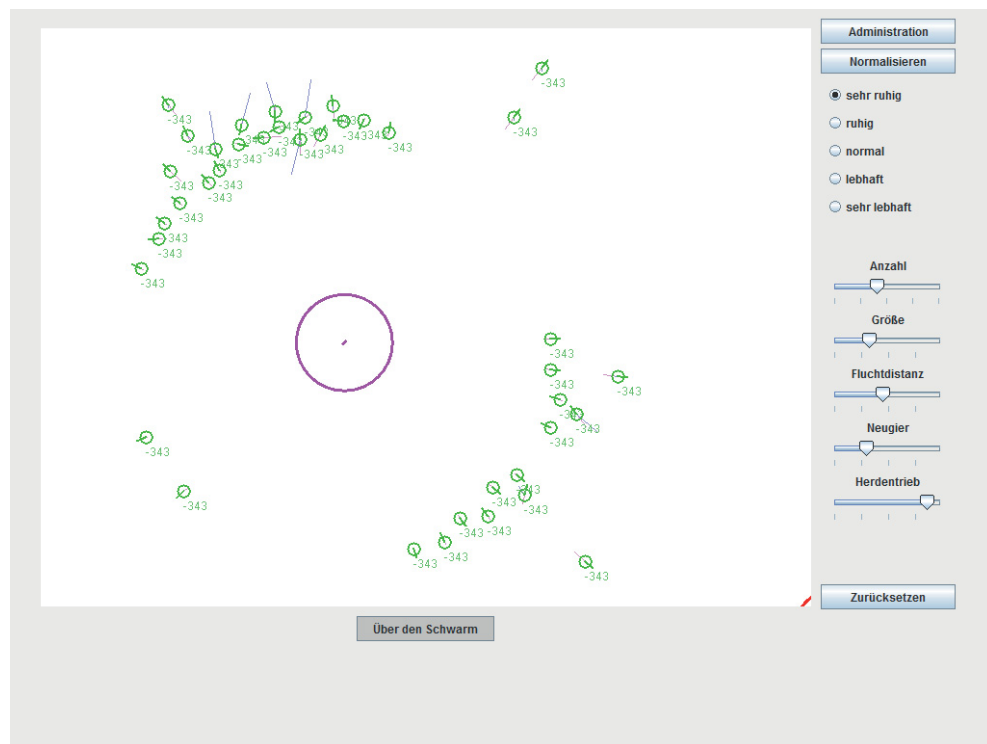


Abbildung 5.12: Das Portal im Benutzermodus von *Der Schwarm*

Benutzermodus ist für Ausstellungen hinzugefügt worden, damit Besucher neben der Interaktion auf der Aktionsfläche weitere Einblicke in das technische System bekommen können. Die Sicht auf die Simulation am Bildschirm eröffnet eine andere Perspektive, die neben Workshopteilnehmern auch Ausstellungsbesuchern nicht vorzuenthalten werden soll. Aufgrund der nicht zu leistenden dauerhaften Betreuung sind die Rechte eingeschränkt. Im Benutzermodus können außerdem ein Informationsfenster mit der Beschreibung des Systems *Der Schwarm* und Kontaktinformationen

für Nachfragen geöffnet werden. Mit der erfolgreichen Eingabe eines Passworts kann wieder in den vorherigen Administrationsmodus des Portals gewechselt werden.

**Verwaltung des Rechtesystems** Die Zugriffsrechte für jede Nutzergruppe werden in einer Konfigurationsdatei gehalten und können dort verwaltet werden. Eine Profilverwaltung ermöglicht die passgenaue Einstellung für jede Nutzerrolle. Es kann eingestellt werden, ob dem Benutzer beim Start des Portals ein Begrüßungsbildschirm angezeigt wird, an dem er ein Profil auswählen kann oder ein voreingestelltes Profil automatisch geladen wird. Der Konfigurationsdatei können zusätzliche Profile hinzugefügt werden.

### 5.5.2 Benutzungsoberfläche *Boids Regeln*

Ein Interface zur spielerischen Auseinandersetzung mit der Algorithmik von Schwarmverhaltenssimulation nach Reynolds (siehe Kapitel 5.4.1) stellt die Komponente *Boids Regeln* bereit. Die Komponente wurde von Alexander Emming im Rahmen seiner Abschlussarbeit (Emming 2008) unter meiner Betreuung entwickelt (siehe auch Hashagen et al. 2009a; Hashagen und Schelhowe 2009).

Die Herausforderung liegt in der Vermittlung abstrakter Inhalte, Algorithmik, für Kinder im Alter von 8-12 Jahren. Die Methode zur Realisierung ist an das Konzept des Playful Learning (siehe Kapitel 3.1.3) angelehnt. Die dort aufgeführten fünf Aktivitäten: „1. Exploration through interaction, 2. Engagement, 3. Reflection, 4. Imagination, creativity and thinking at different levels of abstraction, 5. Collaboration“ (Price et al. 2003, S.170) werden für die Komponente *Boids Regeln* als Kriterien herangezogen, so dass die Gestaltung und der Funktionsumfang die Aktivitäten fördern sollen.

Das Design von *Boids Regeln* ist schlicht und funktional gehalten, auf auffällige Grafiken wurde verzichtet, wie Clark und Lyons vorschlagen „[The] [...] use of decorative graphics risks interfering with essential cognitive learning processes needed to promote learning“ Clark und Lyons, S.19. Die Gestaltung des Interfaces ist klassischer Software nachempfunden, die Farben deutlich unterscheidbar und modern zeitlos ausgewählt und die Schriften nach Bildschirmlesbarkeit eingesetzt.

Die Softwarekomponente *Boids Regeln* kann über eine Schaltfläche im Standardinterface gestartet werden. Der Eingangsbildschirm ermöglicht den direkten Einstieg zum Simulationsinterface oder eine mehrseitige Erklärung zu Schwärmen in der Natur und der Benutzungsoberfläche der Simulation (siehe Abbildung 5.13(a) und 5.13(b)).

Chiasson und Gutwin (2005) betonen, dass ein Interface für Kinder ohne vorheriges Studium der Hilfeseiten bedienbar sein sollte, was durch eine intuitive Oberfläche oder eine Hilfefunktion erreicht werden kann. Weiterhin sagen sie, die Verwendung von erklärendem

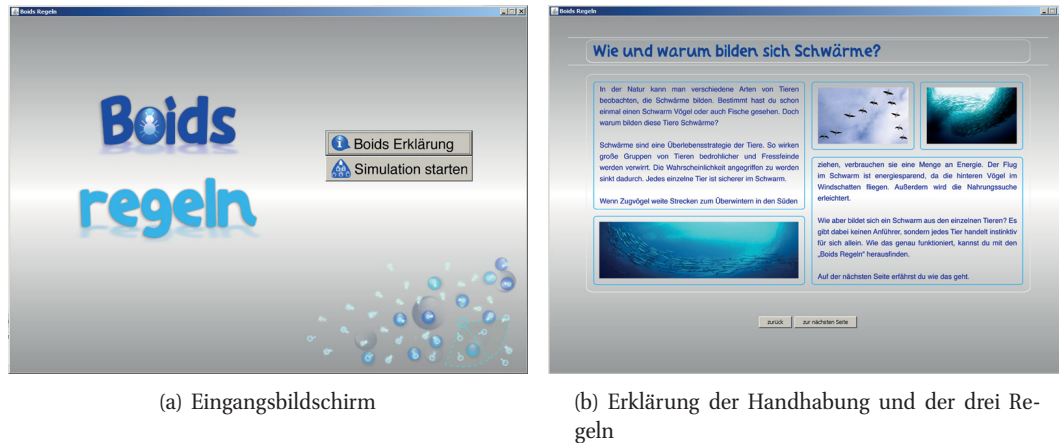


Abbildung 5.13: Eingangsbildschirm und Erklärung der Handhabung und drei Regeln des Schwarmalgorithmus in *Boids Regeln*

Text sei durch die stark variierende Lesekompetenz von Kindern im Alter von 8-12 Jahren gering zu halten. Texte und Überschriften in *Boids Regeln* sind einfach gewählt und dem Wortschatz der Zielgruppe angepasst, eine Texteingabe nicht erforderlich. Die Anzeige von Texten sollte nach einer Studie von Bernard et al. (2001) groß und deutlich sein und Bruckman et al. (2007) weisen auf einen Designkodex hin, nach dem die Schriftgröße antiproportional zum Alter der Kinder gewählt werden sollte.

Ein Klick auf die Schaltfläche *Simulation starten* bewirkt die Anzeige der Simulationsoberfläche im Hintergrund und einem Modal Dialog, der die Aufmerksamkeit auf einen weiteren Einstiegsbildschirm lenkt (siehe Abbildung 5.14). Dort kann erneut zwischen dem Start der Simulationsoberfläche und den Erklärungen zur Schwarmverhaltenssimulation gewählt werden. Ein Modal Dialog (wie eine Lightbox) ist ein klassisches Mittel der Oberflächengestaltung von Software, um den Blick des Benutzers auf einen bestimmten Bereich der Oberfläche zu lenken. Der umliegende Bereich wird halb transparent mit einer Farbe, üblicherweise einem Weiß-, Schwarz- oder Grauton, überlagert. Als Nebenbemerkung sei erwähnt, dass diese Zwischenansicht nach einem Test der Software mit der Zielgruppe hinzugefügt worden ist. Darin haben alle Kinder unmittelbar versucht die Softwareelemente zu bedienen, ohne sich einen ersten Eindruck von der Software zu verschaffen. Die Ergebnisse von Gilutz und Nielsen (2002) stützen diese Beobachtung. Sie haben herausgefunden, dass Kinder Interaktionselemente sofort benutzen, um die Funktionsweise herauszufinden. Sie beschränken sich auf die Benutzung von Websites, wobei die Ergebnisse auf Software für Kinder übertragbar sind, da sie ähnlichen Prinzipien folgen. Mit der Anzeige und der erneuten Auswahl bei *Boids Regeln* haben die Kinder sich bewusst für die Simulationsoberfläche entschieden und konnten sich auf die kommende Simulation einlassen.

Die Wahl der Interaktionsinstrumente ist für den erfolgreichen Einsatz der Software im Sinne einer Umgebung zum explorativen Lernen von entscheidender Bedeutung. Die Ver-

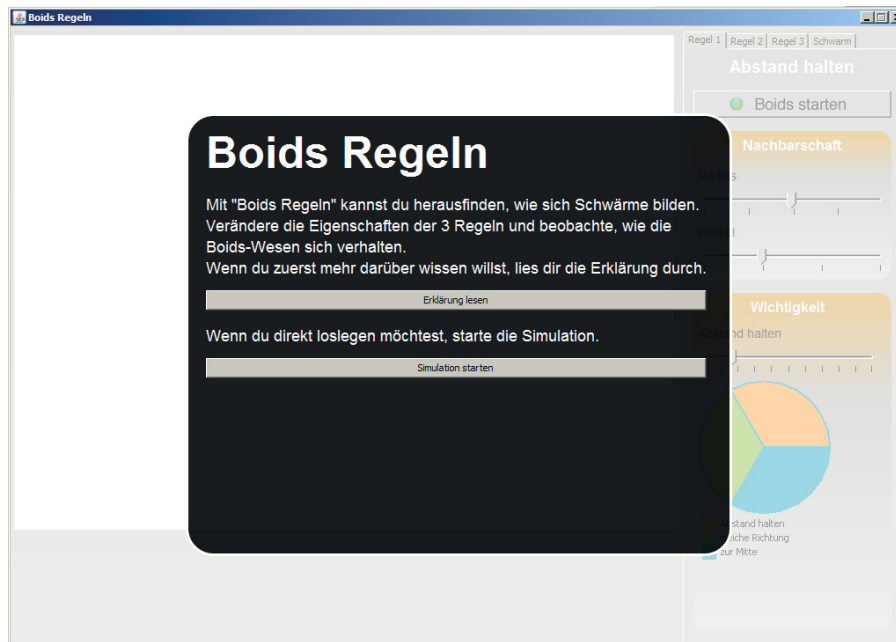


Abbildung 5.14: Zweiter Eingangsbildschirm zum Simulations- bzw. Erklärungsteil in *Boids Regeln*

bindung von Bedienbarkeit und Spaß an der Nutzung haben beispielsweise MacFarlane et al. (2005) in einer Studie gezeigt. Das Ziel der Software, in diesem Fall die Motivation zum Verstehen der implementierten Algorithmik, kann nach Bruckman et al. (2007) nicht erreicht werden, wenn die Software für Kinder nicht im Sinne von Usability nutzbar ist und die Bedienung keinen Spaß macht. Als Steuerungs- bzw. Anzeigeelemente wird auf Schieberegler als Interaktionsinstrumente, Kreisdiagramme und eine farbliche Zuordnung gemäß den Inhalten zurückgegriffen. Schieberegler sind Standardelemente und finden häufig Verwendung in Software für Kinder (Ioannidou et al. 2006). Deshalb werden bei *Boids Regeln* auch Schieberegler verwendet, so stellt die Handhabung der Software neben der Erfassung der Inhalte keine zusätzliche Herausforderung dar. Die Schieberegler bei *Boids Regeln* sind so programmiert, dass sie neben Drag 'n Drop via Mausclick benutzt werden können. Laut Strommen (1994) haben Kinder Schwierigkeiten, eine Maustaste lange gedrückt zu halten oder gezielt zu bewegen, wie es beim Drag 'n Drop nötig ist. Daher können sie die Maus mit Zeigen und Klicken besser bedienen, wenn die Distanz einer mit Drag n' Drop auszuführenden Operation groß ist (Inkpen 2001). Auf die Eingabemöglichkeit Doppelclick wurde verzichtet, da Kinder nach Bederson et al. (1996) Schwierigkeiten mit dem schnellen Mehrfachklicken einer Maustaste haben.

Das Interface zur Simulation ist zweispaltig aufgebaut und enthält einen schmalen Navigationsbereich und einen größeren Bereich, in dem der Schwarm simuliert wird. Der Navigationsbereich ist in vier Reiter unterteilt, so dass der Benutzer jeweils zwischen den drei Regeln zur Simulation von Schwarmverhalten (siehe Kapitel 5.4.1) und der Gesamtheit

der Regeln wählen kann. Jede der vier Unterteilungen des Navigationsbereichs ist identisch aufgebaut und unterscheidet sich in der Hintergrundfarbe, die die jeweilige Regel repräsentiert. Alle vier Navigationsoberflächen sind in die Blöcke Nachbarschaft und Wichtigkeit unterteilt. Im oberen Block *Nachbarschaft* ermöglichen zwei Schieberegler die stufenlose Einstellung der zwei Parameter *Radius* und *Winkel* zur Spezifizierung der Nachbarschaft aller Boids (siehe Kapitel 5.4.1). Der untere Block hat einen Schieberegler, mit dem der Einfluss der aktiven Regel im Verhältnis zu den anderen beiden Regeln eingestellt werden kann. Darunter wird in einem Kreisdiagramm der aktuelle Einfluss der drei Regeln dargestellt. Die drei unterschiedlich gefärbten Segmente des Kreisdiagramms repräsentieren jeweils eine Regel, so dass der Einfluss einer Regel im Verhältnis zu den anderen beiden auf einen Blick ablesbar ist. Abbildungen 5.15(a)-(d) zeigen vier Bildschirmfotos mit allen Navigationsbereichen und aktiver Schwarmsimulation.

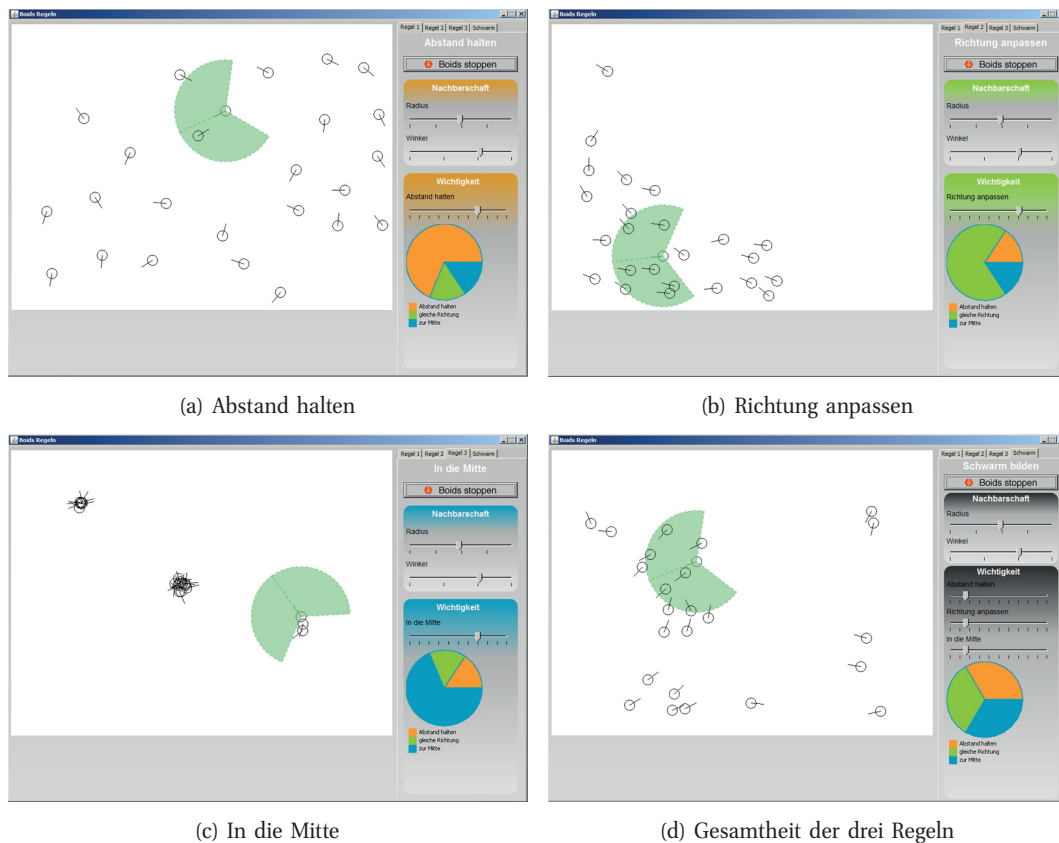


Abbildung 5.15: Benutzungsoberfläche zur Schwarmverhaltenssimulation nach drei Regeln in *Boids Regeln*

Die Wirkung der im Navigationsbereich vorgenommenen Einstellungen sind sofort im Simulationsbereich von *Boids Regeln* angezeigt. So bekommt der Benutzer eine unmittelbare Rückmeldung zu seinen Aktionen, wie Said empfiehlt (siehe Kapitel 3.1.4). Bei der Entwicklung von *Boids Regeln* sind neben dem Faktor *Feedback*, alle weiteren Kriterien aufgenommen worden. Beispielsweise sind Parameter wie Anzahl, Größe und Aussehen der Agenten

des Schwarms voreingestellt und konstant, um die Konzentration des Benutzers auf die Algorithmik zu lenken und ihn nicht mit zusätzlichen Eigenschaften zu konfrontieren (Faktor *Goals*).

Die Agenten des Schwarms sind ebenfalls schlicht dargestellt, ein Kreis mit einem Strich, der den Richtungsvektor und damit die Bewegungsrichtung des Agenten symbolisiert. Zur Veranschaulichung des Prinzips der Nachbarschaft ist bei einem Schwarmagenten die Nachbarschaft in grüner Farbe halb transparent visualisiert. Die Gestaltung der Nachbarschaftsabbildung ist der Visualisierung von Reynolds nachempfunden (siehe Abbildung 5.5).

Eine genauere Vorstellung vom zugrunde liegenden Regelwerk, der Algorithmik, entwickelt sich durch das Experimentieren mit den beschriebenen Parametern und der Beobachtung der Auswirkungen der Werteänderungen in *Boids Regeln*. Derartige Änderungen haben große Auswirkungen auf die Schwarmverhaltenssimulation. Die Kinder als Verursacher bekommen damit die eingeschränkte Kontrolle, also Macht über dem Schwarm (siehe Kapitel 3.1.4).

Das in *Boids Regeln* nach einer Änderung der Einstellungen durch die Kinder simulierte Schwarmverhalten scheint nicht mehr mit den Erfahrungen von beobachteten Schwärmen übereinzustimmen, wodurch sich ein Raum zum Experimentieren, Lernen zwischen den abstrakten, algorithmischen Merkmalen von Schwarmverhaltenssimulation und konkreter Interaktion und Beobachtung öffnet. Diese Art der Einflussnahme soll die Kinder motivieren, sich mit der Algorithmik auseinanderzusetzen und darüber zu diskutieren (siehe Kapitel 3.1.4). Abbildungen 5.15(a)-(d) zeigen die Auswirkungen unterschiedlicher Gewichtung der drei Regeln (siehe Kapitel 5.4.1) in der Simulation. Eine hohe Gewichtung der Regel Separation (a), für die jungen Benutzer *Abstand halten* genannt, bewirkt, dass die Agenten nicht zu einem Schwarm zusammenfinden. Der Bewegungsraum ist eingeschränkt, da die Agenten so agieren, dass möglichst keine weiteren Agenten in ihrer Nachbarschaft sind. Die dominierende Regel Kohäsion (c), hier *In die Mitte*, bewirkt Ansammlungen von Agenten, die sich drehen, ohne sich fortzubewegen. Analog sieht die Simulation der priorisierten Regel Ausrichtung (b), hier *Richtung anpassen*, aus, bei der die Agenten alle eine ähnliche Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit haben, aber keine Kollisionsvermeidung oder Kohäsion stattfindet. Eine gleich gewichtete Kombination der drei Regeln zeigt das Bildschirmfoto (d) mit dem Titel *Schwarm bilden*. Hier kann die Gewichtung aller drei Regeln editiert und so ein Überblick über die bisherigen Eindrücke gewonnen werden. Eine Vertiefung kann über die Anpassung der Parameter zur Beschreibung der Nachbarschaft aller Boids geschehen, die bei allen vier Reitern verfügbar ist. Eine Veränderung der Parameter ändert das Sichtfeld, was ebenfalls direkt im Simulationsfeld aktualisiert wird, und direkten Einfluss auf die Simulation von Schwarmverhalten bei *Boids Regeln* hat.

### 5.5.3 Auditives Display *Swarming Sounds*

Die Softwarekomponente *Swarming Sounds* erweitert die Installation um ein auditives Display, ein System mit klanglicher Ausgabe. Die Realisierung ist von Nassrin Hajinejad für ihre Abschlussarbeit (Hajinejad 2009) unter meiner Betreuung vorgenommen worden (siehe auch Hashagen et al. 2009b). Im Rahmen dieser Arbeit soll das auditive Display die Installation *Der Schwarm* auf der Erfahrungsebene erweitern, wie im Experience Design verankert (siehe Kapitel 3.3). Spehr sieht Potential in im multimodalen Einsatz von Technologien:

„Um ein besseres und verständliches Interagieren möglich zu machen, benötigt eine Mensch-Maschine-Kommunikation einen umfangreichen und mehrschichtigen Informationsaustausch, was eine Ausnutzung aller Wahrnehmungs- und Interaktionskanäle erforderlich macht.“  
(Spehr 2009, S. 11)

Die Wirkung unterschiedlicher „Wahrnehmungs- und Interaktionskanäle“ wird in diesem Rahmen auf ihre Eignung für eine technische Anwendung in der Medienbildung untersucht. Eine Voraussetzung dabei ist die Bereitstellung von entsprechenden Schnittstellen und insbesondere das voneinander unabhängige Ein- und Ausschalten einzelner Kanäle. In diesem Sinne wird neben der visuellen Anzeige durch die klangliche Ausgabe ein weiterer Sinn des Akteurs angesprochen. Während der Interaktion mit dem Schwarm auf der Aktionsfläche oder der Bedienung des Simulationsfensters im Administrationsmodus mit einer Maus werden fortlaufend Klänge produziert. Dabei werden während der Laufzeit Verhaltenseigenschaften des Schwarms musikalischen Charakteristika zugeordnet und das Ergebnis wird abgespielt. Über eine Administrationsoberfläche können Details über die Zuordnung von Schwarmeigenschaften zu Klängen eingestellt werden. Basierend auf Ackermanns Konzept (siehe Kapitel 3.1.2) unterstützt die Interaktion des Akteurs mit den projizierten Lichtpunkten das Diving-in, während die Manipulation der beteiligten Parameter an der Software das Stepping-out fördert. Außerdem erweitert die Klanguausgabe das technische System *Der Schwarm* um den Hörsinn. Das Ansprechen mehrerer Sinne ist ein wesentlicher Bestandteil der Montessori-Pädagogik, und deren Wirksamkeit ist durch mehrere Studien gestützt (Shams und Seitz 2008).

Layer, die in Kapitel 3.2.1 bereits erwähnt ist, erkennt in der Musikimprovisation ein *dreifaches Spiel*, das im Hinblick auf *Der Schwarm* eine mehrdimensionale Auseinandersetzung ermöglicht und auch hier gilt. Die Improvisation ist hier nicht im Hinblick auf die Entstehung von Musik, sondern als freie Bewegungsfolge des Akteurs auf der Aktionsfläche in Kommunikation mit dem algorithmischen Schwarm zu verstehen.

„Erstens entfaltet sich während des Improvisierens ein Spiel mit sich selbst und mit dem eigenen Instrument, wobei hier die Materialität des eigenen Körpers und die des gespielten Instruments eine besondere Rolle spielt. Zweitens handelt es sich um ein Spiel mit dem Raum, d. h. sowohl mit dem physischen

Raum als auch dem Klangraum. Drittens geht es um das Spiel der Musizierenden untereinander.“  
 (Layer 2008, S. 44)

Beides, freie Improvisation in der Musik und die Bewegungen des Akteurs zu und mit dem algorithmischen Schwarm, entsteht in der jeweiligen Situation, ist äußeren Bedingungen unterworfen und entwickelt eine eigene Dynamik. Die Erweiterung des Systems um das auditive Display, das wiederum einen Klangraum entstehen lässt, und die Wirkung auf die Interaktion zwischen Mensch und Schwarm sind im Hinblick auf die Aussage von Layer interessant.

Insbesondere in den vergangenen Jahren sind zahlreiche, vor allem technikwissenschaftliche und künstlerische Projekte entstanden, bei denen Klang eingesetzt wird. Dabei gibt es zum einen Systeme, bei denen Klang aufgenommen wird und Auslöser einer vom System berechneten Reaktion ist. In anderen Systemen wird Klang als Ausgabeform eingesetzt. Wenige Projekte verwenden Klang als Ein- und Ausgabe. Für die Softwarekomponente *Swarming Sounds* sind die klangproduzierenden Systeme und dahinterliegenden klangerzeugenden Technologien sowie Zuordnungstechnologien im Schnittbereich freie Körperbewegung, Schwarmintelligenz und Klangerzeugung interessant. Im Zentrum steht dabei die Entwicklung einer geeigneten Zuordnungsmethode von Klangmerkmalen und Schwarzeigenschaften, was die Recherche und Implementierung einer Sonifikationstechnik zur Klanggenerierung einschließt.

Hier ist die Arbeit *Swarm Music* von Blackwell und Bentley (2002) zu nennen, die ein Ensemble improvisierender Musiker mit einem Schwarm assoziiert und auf Basis künstlicher Schwarmintelligenz einen Musikimprovisator realisiert. Die Musiker sind in der Lage, ohne Absprachen zu Dynamik oder Takt für den Konsumenten wohlklingende Stücke zu erzeugen. Ein Schwarm Vögel benötigt keinerlei Absprachen über Struktur und Ziel, um sich in der Luft ohne Kollision o. Ä. fortzubewegen. Blackwell öffnet dabei einen  $n$ -dimensionalen Raum, in dem jeder Punkt ein Klangereignis darstellt. Dieses wird durch Koordinaten beschrieben und mit  $n$  Eigenschaften wie Lautstärke, Tonhöhe und Dauer des Ereignisses belegt. Zu Beginn des Projekts hatte der Raum 4 und hat zur Zeit 7 Dimensionen, um mehr Eigenschaften fassen zu können. Der Schwarm ist die Gesamtheit der Klangereignisse und folgt schwarmtypischen Regeln auf Basis von Reynolds Algorithmus (siehe Kapitel 5.4.1). Das System reagiert ebenfalls auf eingespielte Musik, berechnet daraus Klangereignisse und transferiert diese als Punkte aus dem Musik- in den physikalischen Raum. Ein Schwarm von künstlich erzeugten Klangereignissen orientiert sich an diesen Punkten, so dass eine Komposition aus menschen- und computererzeugter Musik entsteht. Es kann auch mehrere Schwärme im System geben, sogenannte Multi-Schwärme, die sich untereinander beeinflussen. Das System wurde später um eine visuelle Ausgabe erweitert (Blackwell 2007). Die Kombination von Musik und Schwarmintelligenz in *Swarm Music* ist für die Entwicklung



der Softwarekomponente *Swarming Sounds* von Interesse, das Konzept der Klangereignisse und deren Beschreibung als Punkte in einem Koordinatensystem wurden übernommen.

Antle et al. (2008) haben für Kinder ein klangerzeugendes System namens *Sound Maker* entwickelt, das durch freie Körperbewegung gesteuert wird. Sie haben untersucht, ob die Verwendung von Metaphern Kinder beim Lernen abstrakter Konzepte in der Musik unterstützt, und haben den Fokus ihrer Arbeit auf das Finden intuitiver Zuordnungen von Körperbewegung zu Klang gelegt. Dazu haben Antle et al. in einer Vergleichsstudie zwei mögliche Zuordnungsschemata und deren Einfluss auf den Kenntniserwerb der Kinder über abstrakte musikalische Konzepte getestet. Ein Zuordnungsschema stützte sich auf körperbasierten Metaphern: Bewegungsgeschwindigkeit ist dem Tempo der Musik, die Aktivität der Lautstärke und die Proxemik zweier Kinder zueinander der Tonlage zugeordnet. Dem zweiten Schema lag keine Metapher zugrunde: Bewegungsgeschwindigkeit ist der Tonlage, die Proxemik der Lautstärke und der Bewegungsstil (abgehackt, geschmeidig) dem Tempo der Musik zugeordnet. Als Ergebnis weisen Antle et al. auf einen deutlichen Unterschied und einer bessere Eingängigkeit des körperbasierten metaphorischen Zuordnungsschemas hin. Ob der Lerneffekt sich auf die Bedienung des Systems beschränkt oder darüber hinausgeht, bleibt noch zu untersuchen. Die Relevanz der Verbindung von Musik und Körperbewegung als Forschungsbereich wird im Buch „Musical Gestures – Sound, Movement, and Meaning“ von Godøy und Leman (2010) thematisiert. Der Zugang über körperbasierte Metaphern wird in dieser Softwarekomponente für den Schwarm ebenfalls implementiert.

Bei *Swarming Sounds* wird die berechnete auditive Reaktion der Schwarmagenten durch eine Sonifikation ausgegeben, was de Campo et al. (2006) als die „[...] Transformation von Datenstrukturen in durch das Gehör wahrnehmbare Strukturen mit dem Zweck der Interpretation von Daten bzw. Kommunikation von Information“ bezeichnen. Insbesondere ist im Zusammenhang mit *Swarming Sounds* der Begriff Interactive Sonification interessant, der die Verklanglichung von Informationen einer Interaktion oder von Daten meint und der Handlungsverfeinerung dient (Hermann und Hunt 2005).

Die diversen unterschiedlichen „Sonifikationstechniken [...] überbrücken mittels eines Klang generierenden Algorithmus die Kluft zwischen zwei sehr unterschiedlichen Räumen, einerseits dem Datenraum, der sich aus Sicht der Mathematik als ein oftmals hochdimensionaler Vektorraum darstellen lässt, andererseits dem Raum der hörbaren Klänge, in dem die Daten dann als Ergebnis der Sonifikation erfahrbar werden“, konstatiert Spehr (2009). Die am häufigsten eingesetzte Methode der Sonifikation ist die Parameter-Mapping-Sonifikation (PMS), mit der Eigenschaften der Ausgangsdaten auf Klangmerkmale wie Tonhöhe, Lautstärke etc. abgebildet werden. Die Sonifikation wird in der Softwarekomponente mit der PMS-Technik realisiert, da die Methode flexibel in der Wahl der Datentypen ist und alle nötigen Parameterkombinationen zulässt.

Tabelle 5.3: Wechselbeziehung von Emotionen und musikalischen Merkmalen (Sloboda 2005, S. 220)

| Emotion         | Musical characteristics                            |
|-----------------|--|
| Serious, solemn | Slow, low-pitched, regular rhythms, low dissonance |
| Sad             | Slow, low-pitched, minor mode, high dissonance     |
| Happy           | Fast, high-pitched, major mode, low dissonance     |
| Exciting        | Fast, loud, high dissonance                        |

Bei der Interaktion mit *Der Schwarm* sind die Erfahrungen und Emotionen essentiell für die Motivation der Kinder. Nach Peter et al. (2008) sind Emotionen als zentrale Kommunikations- und Interaktionskomponente in der HCI zu verstehen. Emotionen sind ebenso fester Bestandteil der Musikwissenschaften wie Musikpsychologie und Musikwahrnehmung. Ein langsames Tempo, eine tiefe Tonlage und kleine Amplitude werden gewöhnlich zum Hervorrufen negativer Gefühle verwendet, während schnelle Musik in hoher Tonlage und großer Amplitude positive Emotionen auslösen soll (Cook und Fujisawa 2006). Hier sind die größtenteils voneinander unabhängigen Arbeiten von Juslin (2005), Sloboda (2005) und Hevner (1937) zu nennen, die jeweils emotionale Reaktionen auf musikalische Merkmale untersucht und kategorisiert haben. Tabelle 5.3 zeigt eine zusammenfassende Zuordnung von Sloboda.

Die *Swarming Sounds* Komponente realisiert, neben der Erzeugung von Klang und damit Emotionen beim Akteur, auch die Interaktion über freie Körperbewegung. Eine weitere Ebene ist die visuelle Ausgabe durch die schwärmenden Lichtpunkte, jeder Zustand des Schwarms repräsentiert Emotionen: *Müßiggang*, *Vertrauen*, *Neugier*, *Beobachtung*, *Flucht*, *Verwirrung* und *Aggression* (Kapitel 5.4.2). Die Interaktion mit *Der Schwarm* bezieht sich auf zwei Ebenen von Emotionen, einerseits die Reaktion des Akteurs und andererseits das Verhalten der Lichtpunkte selbst. Die Emotionstheorie und Umweltpsychologie bietet Modelle zur Einordnung von Emotionen. Für die Realisierung der Klangausgabe ist das umweltpsychologische Verhaltensmodell (Pleasure-Arousal-Dominance Emotional State Model) von Mehrabian interessant. Darin werden emotionale Zustände in drei Kategorien zusammengefasst: *Pleasure* als Grad des Wohlgefallens (Lust bzw. Unlust), *Arousal* als Grad für Aktionsdrang und die Stärke des emotionalen Zustands (Erregung, Aktivierung) und schließlich *Dominance* als Grad des Bedürfnisses nach Einflussnahme und Kontrolle (Kontrollempfinden) (Mehrabian 1996; Mehrabian und Russell 1974). Neben kategorialen Modellen, bei denen Emotionen Kategorien zugeordnet werden, bieten dimensionale Modelle wie das umweltpsychologische Verhaltensmodell gerade in der HCI den Vorteil der Einordnung von Emotionen in unendlicher Menge und ohne eigene Benennung des emotionalen Zustands. Dies öffnet diverse Verwendungsmöglichkeiten des umweltpsychologischen Verhaltensmodells, wie die Abschätzung von Kaufverhalten von Konsumenten in Online-Shops, die automatisierte Gestaltung von Mimik virtueller Charaktere oder die automatisierte Vi-

deosegmentierung zur Strukturierung von großen Archivalsammlungen (siehe auch Diehl 2002; Chao-gang et al. 2008; Reithinger et al. 2006; Arifin und Cheung 2007).

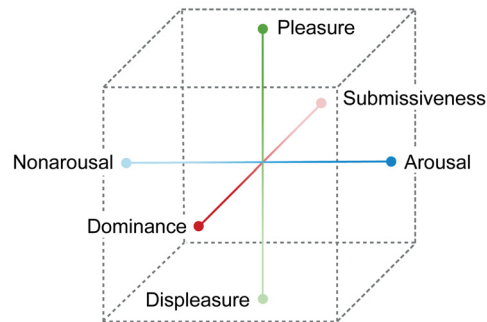


Abbildung 5.16: Das Pleasure-Arousal-Dominance-Emotionsmodell von Mehrabian (1996) im dreidimensionalen Raum

Das umweltsychologische Verhaltensmodell wird hier als Grundlage für die Zuordnung von Schwarmgemeinschaften zu Klangmerkmalen verwendet. Es bietet Flexibilität in der Belegung der Achsen und einen freien Raum zur Abbildung emotionaler Zustände und Klang- und Schwarmgemeinschaften. Für die Realisierung der Komponente werden in einem dreidimensionalen Raum den Richtungsachsen die Benennungen Pleasure, Arousal und Dominance zugeordnet. Abbildung 5.16, die während des Entwicklungsprozesses von *Swarming Sounds* erarbeitet wurde, zeigt den dadurch entstehenden Raum. Mit dem Modell werden Klang- und Schwarmgemeinschaften aufeinander abgebildet. Dazu müssen zunächst die relevanten Eigenschaften von Schwarmagenten und resultierendem Klang ausgewählt und definiert werden, was im Rahmen dieser Arbeit getan wurde. Inspiriert von Blackwells Swarm Music erzeugt jeder Boid während der Interaktion eine Sequenz von drei Klangereignissen. Dazu werden aus der Menge der Schwarmparameter drei ausgewählt und auf die Achsen des umweltsychologischen Verhaltensmodells angepasst.

**Pleasure** Die Zustände des Schwarms repräsentieren emotionale Zustände (siehe Kapitel 5.4.2). Die Zustände sind eine wohlwollende bzw. ablehnende Reaktion auf die Bewegungen des Akteurs und werden in Abhängigkeit von der Variable `irritation` aktiviert. Daher wird die Variable `irritation` der Achse Pleasure, dem Grad des Wohlgefallens, zugeordnet.

**Arousal** Die Geschwindigkeit der Schwarmagenten ist ein Indikator für den Grad an Aktivität und Erregung. Die Variable `velocity` beschreibt die Bewegungsgeschwindigkeit der Boids und wird demnach der Achse Arousal zugeordnet.

**Dominance** Die Orientierung, also die Bewegungsrichtung der Boids, wechselt mit den Zuständen und wird durch die Methoden `seek()`, `arrival()`, `wander()` und `flee()` bestimmt. Die Richtung der Schwarmagenten in Bezugnahme auf den Akteur, beispielsweise eine Näherung (`arrival()`) oder Entfernung (`flee()`),

kann als Grad des Bedürfnisses nach Einflussnahme und Kontrolle gesehen werden. Die Orientierung zeigt als unmittelbare Reaktion auf die Bewegung des Akteurs das Dominanzverhalten der Boids an und wird somit der Achse Dominance zugeordnet.

Neben der Zuordnung von Schwarmparametern zu den emotionalen Zuständen des umweltpsychologischen Verhaltensmodells ist für die Realisierung von *Swarming Sounds* die Zuordnung von Klangmerkmalen zu den emotionalen Zuständen nötig.

**Pleasure** Nach Sloboda ist die Tonhöhe ein Indikator für den Grad des Wohlgefallens (siehe Tabelle 5.3). Das Klangmerkmal Tonhöhe ist daher der Achse Pleasure im umweltpsychologischen Verhaltensmodell zugeordnet.

**Arousal** Wie bei der Zuordnung der räumlichen Geschwindigkeit des Schwarms zur Arousal-Achse wird die zeitliche Geschwindigkeit von Tonfolgen, also das Tempo, mit Aktivität und Erregung assoziiert. Die Dauer der drei aufeinanderfolgenden Klangereignisse in Kombination mit der Dauer der beiden dazwischenliegenden Pausen ist der Achse Arousal zugeordnet.

**Dominance** Ab- und aufsteigende Tonfolgen können Angst und Unterwürfigkeit bzw. Macht und Dominanz vermitteln und werden beispielsweise in Film-, Spiele- und Werbeindustrie eingesetzt. Die Tonfolge der drei aufeinanderfolgenden Klangereignisse wird daher der Achse Dominance zugeordnet.

Neben den beschriebenen Zuordnungen innerhalb des umweltpsychologischen Verhaltensmodells wird die Lautstärke der Klangereignisse der Distanz zwischen dem jeweiligen Boid und dem Akteur zugeordnet. Tabelle 5.4 fasst die für *Swarming Sounds* entwickelte Zuordnung von Schwarmeigenschaft zu emotionalem Zustand einerseits und von Klangmerkmal zu emotionalem Zustand andererseits zusammen. Es ergibt sich translativ die Zuordnung von Schwarmeigenschaft zu Klangmerkmal.

Tabelle 5.4: Zuordnung: Klangmerkmal zu emotionalem Zustand und emotionaler Zustand zu Schwarmeigenschaft

| Klangmerkmal | Emotionaler Zustand | Schwarmeigenschaft |
|--------------|---------------------|--------------------|
| Tonhöhe      | Pleasure            | Zustand            |
| Tempo        | Arousal             | Geschwindigkeit    |
| Tonfolge     | Dominance           | Orientierung       |
| Lautstärke   |                     | Distanz            |

Abschließend wird der Klang anhand des Musical Instrument Digital Interface (MIDI) Protokolls ausgegeben. Die Verwendung sichert eine hohe Performance durch eine vergleichsweise geringe Datenmenge, was bei Echtzeitanwendungen wie *Der Schwarm* von besonderer

Bedeutung ist. Außerdem können die o.g. Klangmerkmale direkt editiert werden, wodurch das Protokoll gut mit der *PMS*-Technik kombinierbar ist.

Eine Benutzungsoberfläche ermöglicht Einstellungen an der Zuordnung und dem Synthesizer. Die in Tabelle 5.4 aufgeführte Zuordnung ist exemplarisch und kann beliebig kombiniert werden. Zusätzlich kann die über den Synthesizer erzeugte Klangfarbe von Instrumenten wie Streicher, Klavier oder Trommel gewählt werden. Beides ermöglicht ein Eingreifen des Akteurs in Prinzipien der Klanguisgabe und somit eine experimentelle Auseinandersetzung mit der Thematik.

#### **5.5.4 Bewegungsmustererkennung *Merk:Mal***

Mit dieser Komponente werden Bewegungsmuster, zweidimensionale Punktsequenzen, vom System erkannt. Der Name *Merk:Mal* verweist darauf, sich etwas Eingängiges merken zu können und so abrufbar zu machen. Dies hat auffordernden Charakter und soll zum Aktiv-Werden motivieren. Es geht für die Kinder also darum, sich Wissen selbst merkbar zu machen.

Die Software der Bewegungsmustererkennung, also die Algorithmik zum Trainieren und Erkennen von Bewegungsmustern, ist von Christian Zabel im Rahmen einer von mir betreuten Diplomarbeit (Zabel 2008) entwickelt worden. Sie wird im folgenden Abschnitt beschrieben, woraufhin die dazugehörige Benutzungsoberfläche vorgestellt wird. Diese ermöglicht Kindern das Erstellen, Konfigurieren und Eingeben von Bewegungsmustern auch am Bildschirm und macht die zugrunde liegenden Algorithmen zugänglich. Kinder können die Prinzipien des maschinellen Lernens von Bewegungsmustern erforschen. Die Benutzungsoberfläche hat Thorsten Freese (Freese 2011) im Rahmen seiner Diplomarbeit, die ebenfalls von mir betreut wurde, entwickelt.

#### **Algorithmik von *Merk:Mal***

Das System beinhaltet einen Trainings- und Erkennungsmodus, mit dem neue Muster gelehrt oder bereits existierende Bewegungsmuster erkannt werden können. Dafür werden die Bewegungsmuster anhand von Merkmalen beschrieben und in Klassen eingeteilt. Die Klassen dienen als Vorlage für die Erkennung von Bewegungsmustern. Das Muster ist nach der Klassifizierung einer Klasse zugeordnet oder als nicht klassifizierbar abgelehnt. Die Bewegungsmustererkennung ist ein Teilgebiet der Mustererkennung, der beispielsweise auch Anwendungen und Verfahren der Bildverarbeitung zuzuordnen sind (Friedman und Kandel 1999; Hermes 2004).

Die technische Realisierung dieser Softwarekomponente beruht auf Prinzipien der Gestenerkennung und unterscheidet sich lediglich in der angewendeten Technologie zur Abtastung von Positionsdaten. Ein populäres Beispiel auf dem Gebiet der Gestenerkennung ist der Controller Wii-Remote für die Spielekonsole Wii<sup>32</sup>. Mit iisu stellt SoftKinetic (2011) eine Technologie beispielsweise für die Computerspieleindustrie zur Verfügung, mit der Gestenerkennungssysteme in andere Anwendungen integrierbar sind. Dabei arbeitet das System mit einer Tiefenbildkamera, die zur Erkennung Infrarotlicht sendet und wieder einfängt. Weiterhin können Datenhandschuhe zur Gestenerkennung eingesetzt werden. Der Handschuh ist mit Sensoren wie einem Accelerometer und/oder Neigungssensor ausgestattet, aus deren Messwerten die vollzogene Geste berechnet wird. Brauer (1996) hat mit einem Datenhandschuh Gestenerkennungsraten von 88% erzielt. Rubine (1992) hat ein System zur Erkennung von Gesten namens *GRANDMA* entwickelt. Eine Geste wird darin als zweidimensionales Gebilde betrachtet, das als Sequenz von Koordinaten mit einem beliebigen Eingabegerät abgefangen wird. Rubine erzielt mit dem System sehr gute Erkennungsraten bei moderaten Trainingswiederholungen. Aufgrund der guten Testergebnisse und der vergleichbaren Architektur, wie der Verwendung von zwei-dimensionalen Koordinaten und einer offenen Schnittstelle zum Eingabegerät, beruhen einige Berechnungen der Softwarekomponente für *Der Schwarm* auf Rubines System.

Die Bewegungsmustererkennung wurde in die Software von *Der Schwarm* als Modul integriert und ist über das Portal (siehe Kapitel 5.5.1) de-/aktivierbar. Die Bewegungen eines Akteurs auf der Aktionsfläche werden über die Positionsdaten vom Laserscanner ermittelt und für die Bewegungsmustererkennung verwendet. Zur Verarbeitung der Daten wurden drei Klassifizierungsalgorithmen implementiert und in Performanz und Korrektheit verglichen. Da bisher noch kein Bewegungsmustererkennungssystem für eine vergleichbare Hardware/Software Architektur entwickelte wurde, soll ein Vergleich der Algorithmen Klarheit über die Verwendbarkeit bringen. Zwei Algorithmen basieren auf der allgemeinen Diskriminanzanalyse (Backhaus et al. 2009). Der dritte Algorithmus ist in dieser Arbeit neu entwickelt und in Hashagen et al. (2009c) veröffentlicht worden.

Zunächst muss ein Bewegungsmuster im Trainingsmodus des Systems mehrmals eingegeben werden. Zwar erhöht eine hohe Anzahl von Wiederholungen die Erkennungsrate im Erkennungsmodus, jedoch beeinträchtigen viele Wiederholungen die Performanz. Zudem zeugen möglichst wenige Wiederholungen von einer hohen Qualität, weil hohen Effizienz des Systems. Beim implementierten System haben sich 11-15 Eingaben als guter Wert erwiesen. Aus den Eingaben wird eine Diskriminanzfunktion berechnet und gespeichert, die das Bewegungsmuster charakterisiert. Aus den Mittelwerten der Merkmale wird eine Abschätzung der Koeffizienten durchgeführt, deren Werte im Erkennungsmodus für den Vergleich beider Bewegungsmuster verwendet werden. Eine Klassifizierung von mehr als zwei Mus-

---

<sup>32</sup>Nintendo, <http://www.nintendo.com/wii>

tern erfordert mehrere Diskriminanzfunktionen, deren Anzahl abhängig von der Anzahl der Bewegungsmuster und der angewendeten Variante der Diskriminanzanalyse ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Fisher'sche Klassifizierungsfunktion und die Lineare Fisher'sche Diskriminanzfunktion implementiert (Srivastava 2002; Klecka 1980). Das dritte Verfahren, die Mittelwert-Klassifizierungsfunktion, ist im Rahmen dieser Arbeit entwickelt worden. Mit der Auswahl der Klassifizierungsverfahren ist auch das Trainingsverfahren für jedes Muster angepasst worden. Wir legen das Augenmerk auf die Klassifizierungsverfahren selbst, da sie den Kern der Mustererkennung bilden. Alle drei Verfahren durchlaufen bei der Erkennung von Bewegungsmustern vier Arbeitsschritte.

1. Messung der Bewegungspunkte
2. Merkmalsextraktion
3. Klassifizierung
4. Auslösen einer Reaktion

Der Vorgang wird bei aktiviertem Erkennungsmodus gestartet, sobald der Schwarm im Zustand *Vertrauen* oder *Neugier* ist und der Akteur sich im Aktionsfeld für einen einstellbaren Zeitraum (Standardwert ist 1,5s) nicht bewegt. Das Ende der Eingabe wird ebenfalls durch ein kurzes Verharren signalisiert. Leichte Bewegungen und Ungenauigkeiten in der Messung werden vom System abgefangen. Der Akteur erkennt den Start der Bewegungsmustererkennung an einem veränderten Aussehen der Schwarmagenten (siehe Abbildung 5.17).



Abbildung 5.17: Aussehen der Schwarmagenten während der Bewegungsmustereingabe

Während der Eingabe des Bewegungsmusters wird bei jedem Berechnungszyklus der Software die aktuelle Position des Akteurs auf dem Aktionsfeld berechnet und im System als zweidimensionale Koordinate hinterlegt. Auf Basis der gemessenen Positionen werden sog. Bewegungspunkte ermittelt, die das Bewegungsmuster charakterisieren. Ein Bewegungspunkt ist der Mittelwert von fünf aufeinander folgenden Positionsangaben. Diese Berechnung realisiert eine Kantenglättung im Bewegungsmuster, wodurch Mess- und Bewegungsungenauigkeiten ausgeglichen werden. Ein Mindestabstand zwischen den Bewegungspunkten (15cm) erhöht die Performanz des Systems während der Klassifizierung. Ein Bewegungsmuster besteht in Abhängigkeit seiner Länge und der Geschwindigkeit aus etwa 35 Bewegungspunkten.

Aus dem eingegebenen Bewegungsmuster werden anschließend Merkmale extrahiert. Ein Bewegungsmuster wird durch 10 Merkmale beschrieben, die dessen Eigenschaften repräsentieren. Die Auswahl der Merkmale ist in Anlehnung an das Projekt *GRANDMA* (Rubine 1992) getroffen worden. Die Merkmale der räumliche Ausdehnung von Gesten wurde zur Realisierung einer Skalierungsinvarianz nicht verwendet. Ebenfalls sind zur besseren Benutzbarkeit zwei Merkmale, die Änderungen über die Zeit beschreiben, nicht übernommen worden. Sie dienen zur Bestimmung von Geschwindigkeitsspitzen und der Dauer der Mustereingabe und sind daher für dieses System nicht relevant. Stattdessen sind im Rahmen dieser Arbeit andere Merkmale entwickelt worden. Alle Merkmale werden anhand der Bewegungspunkte, genauer deren Relation zueinander und unabhängig von ihrer absoluten Position ermittelt, um eine Translationsinvarianz zu gewährleisten. Genau 80% der verwendeten Merkmale eines Bewegungsmusters charakterisieren deren Anfang und Ende, da sie gut von anderen Bereichen des Musters zu unterscheiden sind. Die anderen Merkmale werden über Winkelberechnungen bestimmt, die die Verhältnismäßigkeiten des Bewegungsmusters repräsentieren.

Nachdem die Merkmale aus dem Bewegungsmuster extrahiert wurden, beginnt die Klassifizierung, sofern das zu klassifizierende Bewegungsmuster durch wenigstens acht Bewegungspunkte beschrieben wird. Die drei implementierten Verfahren, die Fisher'sche Klassifizierungsfunktionen (FKF), die Lineare Fisher'sche Diskriminanzfunktion (LFDF) und das Mittelwerte-Klassifizierungsverfahren (MKV) ermitteln unabhängig voneinander Ergebnisse. Ein positives Ergebnis ist eine Bewegungsmusterklasse, deren Merkmale denen des eingegebenen Musters am ähnlichsten sind. Alle Verfahren werden im Folgenden beschrieben.

Die ersten beiden Verfahren beruhen auf der Diskriminanzanalyse, die erstmals 1938 von Fisher beschrieben und auf deren Grundlage mehrere Varianten entwickelt wurden. Die allgemeine Diskriminanzanalyse ist eine Variante und verwendet die kanonische bzw. lineare Diskriminanzfunktion (siehe Gleichung 5.1).

$$D = k_0 + k_1 * m_1 + k_2 * m_2 + \dots + k_n * m_n. \quad (5.1)$$

Der Diskriminanzwert  $D$  gibt die Ähnlichkeit zweier Funktionen und damit Bewegungsmuster an. Er wird durch eine lineare Kombination der Merkmalsvariablen  $m_1 - m_n$  berechnet, die den Merkmalsvektor  $\vec{V}^{newObject}$  repräsentieren. Dieser beschreibt das eingegebene, zu klassifizierende Bewegungsmuster. Die Koeffizienten  $k_0 - k_n$  beschreiben den Vektor  $\vec{V}^K$ . Der Vektor  $\vec{V}^K$  repräsentiert ein bereits trainiertes Bewegungsmuster. Je höher der berechnete Diskriminanzwert ist, desto höher ist die Ähnlichkeit der verglichenen Bewegungsmuster. Das eingegebene Muster ist damit klassifiziert oder nicht klassifizierbar.



**Fisher'sche Klassifizierungsfunktionen (FKF)** Dieses Verfahren ist eine Variante der Diskriminanzanalyse nach Fisher, bei dem eine Diskriminanzfunktion pro Klasse benötigt wird (Srivastava 2002). Die Diskriminanzwerte werden für jede Klasse analog zur allgemeinen Diskriminanzfunktion mit einer Linearkombination der Merkmale berechnet und abschließend miteinander verglichen (siehe Gleichung 5.1). Das Ergebnis ist die Klasse mit dem höchsten Diskriminanzwert (Klecka 1980). Mit diesem Verfahren hat Rubine (1992) in GRANDMA eine Gestenerkennungsrate von 96% erzielt, bei einer Trainingsfrequenz von 15 Wiederholungen pro Geste. Daher werden seine Berechnungen für Training und Klassifizierung verwendet. Abschließend wird eine Überprüfung auf Ablehnung durchgeführt, die die Korrektheit der Auswahl in zwei Schritten prüft. Zunächst wird in Anlehnung an das Bayers-Theorem ein Test auf Ähnlichkeit zur Klasse mit dem zweithöchsten Diskriminanzwert gemacht. Anschließend wird ein Distanztest durchgeführt, der die Ähnlichkeit des eingegebenen Bewegungsmusters im Vergleich zur ausgewählten Klasse über die Merkmalswerte berechnet. Oftmals wird dazu die Mahalanobis-Distanz verwendet (Backhaus et al. 2009). Zur Steigerung von Korrektheit und Performanz wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Verfahren entwickelt, das den Mittelwertvektor und den Standardabweichungsvektor der gewählten Klasse zum Test auf Ablehnung verwendet (siehe Formel 5.2).

$$T_{c_{best}} = \sum_{i=1}^{n^F} \frac{|\vec{V}_i^{newObject} - \vec{V}_{c_{best}^i}^A|}{\vec{V}_{c_{best}^i}^S}$$

(5.2)

$\vec{V}_{c_{best}^i}^A$  = Merkmal  $i$  des Mittelwertvektors der Klasse

$\vec{V}_{c_{best}^i}^S$  = Merkmal  $i$  des Standardabweichungsvektors der Klasse

$\vec{V}_i^{newObject}$  = Merkmal  $i$  des Vektors des zu klassifizierenden Objekts

Dabei wird für jedes Merkmal die Abweichung des neuen Merkmalswerts vom jeweiligen Mittelwert zur Standardabweichung in Relation gesetzt. Das Ergebnis ist die Summe aller berechneten Werte. Die Klassifizierung wird bei einer Summe von mehr als  $2,5 * n^F$  abgelehnt, dieser Grenzwert hat sich bei Funktionstests bewährt.

**Lineare Fisher'sche Diskriminanzfunktion (LFDF)** Dieses Verfahren ist wie die FKF eine Variante der Fisher'schen Diskriminanzanalyse und wird mit der allgemeinen Diskriminanzfunktion berechnet (Srivastava 2002) (siehe Gleichung 5.1). Bei der LFDF wird eine Diskriminanzfunktion zum Vergleich von zwei Bewegungsmustern benötigt. Diese Berechnung muss für jede Klasse durchgeführt werden. Wie bei den FKF wird der höchste Diskriminanzwert, also die Klasse mit der größten Ähnlichkeit zum eingegebenen Bewegungsmuster, ausgewählt. Die Formeln zur Klassifizierung sind von Hartung und Elpelt (2007) übernommen. Ein Testverfahren auf Ablehnung ist, anders

als bei den FKF, obsolet, da dies implizit durch die Berechnung der Diskriminanzwerte erfolgt.

**Mittelwerte-Klassifizierungsverfahren (MKV)** Dieses Verfahren wurde im Rahmen dieser Arbeit entwickelt. Es zielt auf eine hohe Performanz bei Training und Klassifizierung. Bei der Berechnung sind keine Matrizenberechnungen nötig, der Aufwand ist linear zur Anzahl der Klassen (siehe Tabelle 5.5). Zum Vergleich ist der Aufwand bei den FKF und der LDFD im Trainings- und/oder Erkennungsmodus exponentiell. Das Verfahren basiert auf einem Vergleich der Abweichung der Merkmale vom jeweiligen Mittelwert mit der Standardabweichung. Bei den FKF wird dieser Vergleich bereits im Test auf Ablehnung verwendet, der hier in leicht abgeänderter Form auch zur Klassifizierung eingesetzt wird. Im Training wird zunächst für jede Klasse  $c$  der Mittelwertvektor  $\vec{V}_c^M$  ermittelt, um dann für jede Klasse den Standardabweichungsvektor zu berechnen. Formel 5.3 ist für jedes Merkmal  $m$  des Standardabweichungsvektors zu berechnen.

$$\vec{V}_{cm}^S = \sqrt{\frac{1}{n^E - 1} * \sum_{i=1}^{n^E} (\vec{V}_{cim} - \vec{V}_m^A)^2} \quad (5.3)$$

$\vec{V}_{cim}$  = Vektor des  $i$ -ten Trainingsmusters der Klasse  $c$ , Merkmal  $m$

$\vec{V}_m^A$  = Merkmal  $m$  des Mittelwertvektors der Klasse  $c$

Anders als bei den anderen beiden Verfahren wird hier auf eine Kovarianz-Matrix verzichtet, wodurch der Aufwand minimiert wird. Ein weiterer Unterschied ist, dass sich das Training einer Klasse nicht auf andere Klassen auswirkt. Während der Klassifizierung wird die jeweilige Standardabweichung  $s$  mit der Differenz von einem Merkmal  $m$  und dem Mittelwert  $a$  verglichen (siehe Gleichung 5.4). Der Vergleich wird für jede Klasse und jedes Merkmal durchgeführt. Falls die Differenz des Merkmals zum Mittelwert der Klasse größer oder gleich der Standardabweichung ist, wird der Ergebniswert inkrementiert. Das Ergebnis ist die Klasse mit dem höchsten Wert von  $C$ , also der höchsten Ähnlichkeit zum eingegebenen Bewegungsmuster.

$$C = C + 1, \text{ if } s_x \geq |a_x - m_x|, \text{ for all } x \text{ in } n. \quad (5.4)$$

Die Überprüfung auf Ablehnung ist in Anlehnung an das Testverfahren der FKF entwickelt. Im ersten Schritt wird die Distanz der gewählten Klasse zum eingegebenen Bewegungsmuster berechnet und in einem weiteren Schritt die Klasse mit der zweithöchsten Ähnlichkeit getestet. Eine Ablehnung geschieht nach festgelegten Werten, die sich in Tests bewährt haben. Grenzwert für die erste Überprüfung ist  $n^F/2$  und beim zweiten Test der Wert 2. Sollte einer der Werte unterschritten werden, wird die Klasse abgelehnt und das eingegebene Bewegungsmuster gilt als nicht erkannt.

Tabelle 5.5: Erkennungsraten der drei Klassifizierungsverfahren

| Verfahren | Ziffern-Datensatz | Form-Datensatz | Durchschnitt | Komplexität    |                 |
|-----------|-------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
|           |                   |                |              | Training       | Klassifizierung |
| FKF       | 94%               | 89%            | 91,5%        | $O(F^2 + C)$   | $O(C)$          |
| LFDF      | 50%               | 100%           | 75%          | $O(F^2 + C^2)$ | $O(C^2)$        |
| MKF       | 66%               | 77%            | 71,5%        | $O(F + C)$     | $O(C)$          |

Die Erkennungsraten und der Rechenaufwand für die drei implementierten Verfahren sind in Tabelle 5.5 gegenübergestellt. Zunächst wurden zwei Sätze von Bewegungsmusterklassen erstellt, die dem System von einer Person antrainiert wurden. Ein Satz enthält die Ziffern 0–9 und der zweite sog. Formdatensatz besteht aus sieben Formen wie Quadrat, Dreieck, Kreis. Das genaue Aussehen sowie die jeweilige Laufrichtung und -reihenfolge aller Klassen sind im Anhang ersichtlich.

Durchschnittlich erreichen die FKF die besten Erkennungsraten bei beiden Datensätzen. Die Erkennung bei LFDF ist durchschnittlich ein wenig höher als bei MKF, wobei die Ergebnisse inkonsistenter sind. Der Rechenaufwand ist bei der LFDF in Training und Klassifizierung am höchsten, da beides exponentielle Berechnungen erfordert. Lediglich die MKF hat bei Training und Klassifizierung einen linearen Aufwand. Gerade bei Echtzeitsystemen ist eine schnelle Verarbeitung der Rechenoperationen ein wichtiger Faktor für die Benutzbarkeit des Systems, dem entgegen steht zumeist die fehlerfreie Verarbeitung. Hier bietet sich die Verwendung der FKF an, da sie bei moderatem Aufwand eine hohe Erkennungsrate aufweisen. Vielversprechend ist auch die Weiterentwicklung der Erkennungsrate der MKF.

Im letzten Schritt aller implementierten Verfahren wird eine unmittelbare Reaktion vom System ausgelöst, anhand derer der Akteur die Klassifizierung des Bewegungsmusters erkennen kann. Dies äußert sich in der Veränderung einiger Parameter, die den Schwarm beschreiben, wie beispielsweise die Anzahl der Agenten oder deren Größe. Konnte das Bewegungsmuster nicht klassifiziert werden, wird keine Reaktion ausgelöst. In beiden Fällen wird in der Administrationsoberfläche eine Statusmeldung ausgegeben. Die Reaktion des virtuellen Schwarms ist modular implementiert und kann durch zusätzliche Funktionalitäten erweitert werden. Eine angemessene Reaktion auf die Bewegungsmustereingabe im Trainings- sowie Erkennungsmodus ist exemplarisch implementiert.

### Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal*

Eine Benutzungsoberfläche ermöglicht das Verwalten von Bewegungsmustern und ein Mapping von Bewegungsmustern mit einer Reaktion des Schwarms. Nach einer Beschreibung der Zielsetzung des Vorhabens und genereller Gestaltungsentscheidungen folgt die Darstellung des Funktionsumfangs und seiner Handhabung. Anhand eines Beispiels, in dem das

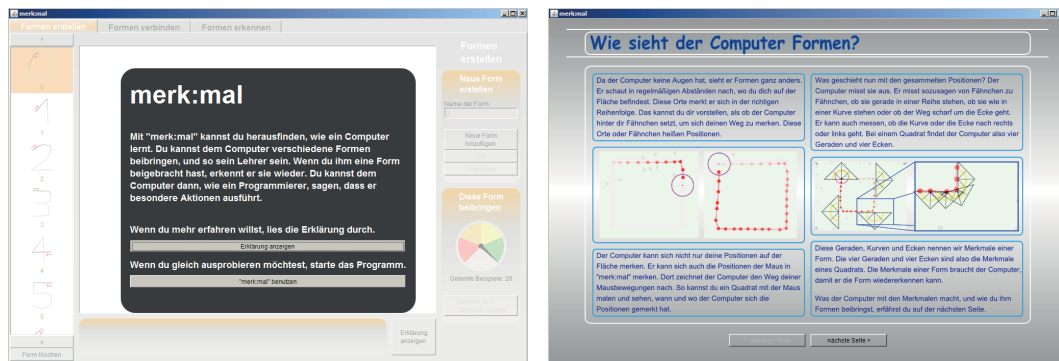
Bewegungsmuster *Quadrat* erstellt, konfiguriert und erkannt wird, werden die einzelnen Bereiche der Benutzungsoberfläche beschrieben.

Mit der Benutzungsoberfläche wird das Ziel verfolgt, Kinder zur selbstständigen Erforschung der algorithmischen Systematik hinter der Komponente *Merk:Mal* zu motivieren. Die Oberfläche soll Kindern ermöglichen, die Prinzipien der Bewegungsmustererkennung und die zugrunde liegenden Regelwerke zu explorieren. Neben den Standardfunktionen (hinzufügen, ändern, löschen) können Kinder die Zuordnung von Bewegungsmustern zur Reaktion des Schwarms vornehmen. Damit gewinnen sie Kontrolle über den Schwarm und rufen durch das Laufen des entsprechenden Bewegungsmusters auf der Aktionsfläche eine von ihnen gewünschte Reaktion des Schwarms hervor.

Das Interface stellt zudem eine Verlinkung von körperbasierter Interaktion auf der Aktionsfläche und Interaktion mit der Software am Laptop her. Die Eindrücke der Kinder auf der Aktionsfläche können mit der grafischen Oberfläche von *Merk:Mal* erforscht und abstrahiert werden. Die Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* soll ein zirkuläres Arbeiten ermöglichen, das die Kinder zur Erforschung von maschinellem Lernen motiviert. Die für das Wiedererkennen einfacher zweidimensionaler Figuren nötigen Schritte können die Kinder für die algorithmische Arbeitsweise Digitaler Medien sensibilisieren. Nach Manipulation des Regelwerks, also des Mappings Bewegungsmuster – Schwarmreaktion oder allgemein der Verwaltung der Bewegungsmuster, können die Kinder die Auswirkungen ihrer Veränderungen wiederum auf der Fläche ausprobieren, erfahren.

Die Benutzungsoberfläche basiert auf den gleichen Grundlagen wie die Komponente *Boids Regeln*, die in Kapitel 5.5.2 beschrieben sind. Durch die Kinder als Nutzergruppe und mit dem Ziel der spielerischen Auseinandersetzung der bereitgestellten Inhalte, sind die Anforderungen an beide Oberflächen vergleichbar. Um ein Beispiel zu nennen, sind auch bei *Merk:Mal* Begriffe und Ausdruck von erklärendem Text einfach gehalten, um der Zielgruppe verständlich zu sein. Statt dem Begriff *Bewegungsmuster* wird beispielsweise das Wort *Form* verwendet. Die Gestaltung und Strukturierung der Benutzungsoberfläche sind auch im Sinne der Einheitlichkeit an *Boids Regeln* angelehnt.

Die Komponente *Merk:Mal* kann über eine Schaltfläche des Portals gestartet werden, wobei sich ein Fenster mit dem Einstiegsbildschirm öffnet. Dieser zeigt die Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* im Hintergrund und im Vordergrund einen einleitenden Text mit zwei Schaltflächen, die durch einen Modal Dialog vom Hintergrund abgehoben werden (siehe Abbildung 5.18(a)). Der Benutzer kann zwischen der Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* und einem Erklärungstext wählen, der einerseits die Grundlagen der maschinellen Mustererkennung und andererseits die Handhabung der Benutzungsoberfläche vermittelt. Den ersten Teil der mehrseitigen Erklärung zeigt das Bildschirmfoto in Abbildung 5.18(b).



(a) Einstiegsbildschirm mit Modal Dialog

(b) Erklärung der Bewegungsmustererkennung und Handhabung der Benutzungsoberfläche

Abbildung 5.18: Einstiegsbildschirm und Erklärungstext der Komponente *Merk:Mal*

Die Benutzungsoberfläche von *Merk:Mal* ist in drei Bereiche unterteilt, die durch Reiter anwählbar sind. Die Bereiche heißen *Formen erstellen*, *Formen verbinden* und *Formen erkennen*. Die Inhalte sind auf diese Weise logisch nach Arbeitsschritten sortiert und machen die Arbeitsweise der Bewegungsmustererkennung nachvollziehbar. Das Trainieren und die Klassifizierung von Bewegungsmustern sowie die Erkennung im Simulationsmodus und direkt auf der Aktionsfläche sind möglich. So werden mehrere Ebenen zur Auseinandersetzung bereitgestellt. Zunächst schauen wir auf die generelle Gestaltung der Oberfläche, die in allen Bereichen angewendet wurde. Zum Zwecke der Übersichtlichkeit ist jeder Bereich analog aufgebaut und jeweils – wie auch bei *Boids Regeln* – einer Farbe zugeordnet. Danach widmen wir uns den einzelnen Bereichen und besprechen die jeweiligen Funktionen.

Jeder Bereich hat drei Spalten, eine jeweils schmale Spalte rechts und links vom Bildschirm und eine breite Spalte in der Mitte. Die linke Spalte zeigt in jedem Bereich, die dem System bekannten, also trainierten Bewegungsmuster an. Damit ein Bewegungsmuster schnell wiedererkannt werden kann, wird über dem Namen des Musters ein kleines Vorschaubild angezeigt. Das ermöglicht Kindern, die im Alter unserer Zielgruppe unterschiedliche Lesefertigkeiten haben, eine schnelle Wiedererkennung. Schaltflächen erlauben die Navigation innerhalb der Liste und das Löschen von Bewegungsmustern. In der rechten Spalte werden Informationen und/oder Oberflächenelemente zur Verfügung gestellt, die für den jeweiligen Bereich wichtig sind. Die Elemente können beispielsweise Darstellungen des aktuellen Systemzustands oder Schaltflächen sein. Die mittlere Spalte zeigt in allen drei Bereichen den jeweiligen Arbeitsbereich an, auf den bei der folgenden Beschreibung der Funktionalität genauer eingegangen wird.

Im ersten Bereich *Formen erstellen* können Kinder neue Bewegungsmuster hinzufügen und diese dem System durch eine mehrfach wiederholte Eingabe antrainieren. Die Benutzungsoberfläche des Bereichs zeigen die Bildschirmfotos der Abbildungen 5.19(a), (b). Um ein Muster zu erstellen, sind die folgenden Schritte nötig:

## 1. Neues Muster hinzufügen

- a) Muster einzeichnen
- b) Namen für Muster vergeben
- c) Muster bestätigen

## 2. Neues Muster antrainieren

- a) Wiederholt Muster nachzeichnen
- b) Jeweilige Eingabe bestätigen

Als Eingabegerät wird die Maus verwendet. Viele Kinder kennen die Bedienung des Computers über die Maus und bekommen so einen schnellen Einstieg. Während der Erstellung des neuen Bewegungsmusters (Schritt 1) werden durch jeweils einen Linksklick mit der Maus im Arbeitsbereich Eckpunkte gesetzt, die durch gerade Linien miteinander verbunden werden und so das Muster bilden. Dieses Prinzip wird in vielen Grafikprogrammen beispielsweise zur Definition eines Auswahlbereichs verwendet. Damit die Kinder ihre Eingabe korrigieren können, löscht ein Rechtsklick an einem beliebigen Ort im Arbeitsbereich den letzten Punkt. In Abbildung 5.19(a) ist das eingegebene Muster namens *Quadrat* im Arbeitsbereich zu sehen. Die Eingabe ist abgeschlossen und kann mit dem eingegebenen Name anhand eines Klicks auf die Schaltfläche *OK* bestätigt werden. Der eigene Name führt unseren Gedanken fort, dass die Kinder sich die Technologie zu eigen machen. Nachdem sie sich also selber Bewegungsmuster ausdenken und einzeichnen, können sie ihrer Kreation einen Namen geben.



Abbildung 5.19: Benutzeroberfläche im Bereich *Formen erstellen* der Komponente *Merk:Mal*

Nun folgt der nächste Schritt (Schritt 2), das Muster muss antrainiert werden, damit es vom System wiedererkannt werden kann. Für die mehrfache Eingabe des Musters, im besten Fall 20 Wiederholungen, wird eine andere Eingabetechnik als beim vorherigen Schritt 1

verwendet. Die Stift-Metapher wird verwendet, die Maus wird zum Stift und hinterlässt dort eine farbige Spur, wo sie hinbewegt wird. Punkte in dieser Spur deuten die vom System berechneten Bewegungsmuster an. Zur Vereinfachung der Eingabe und Vermeidung von Verwirrung durch mehrere Eingabetechniken startet ein Linksklick die Eingabe. Die Häufung der Farbpunkte gibt Aufschluss über die Bewegungsgeschwindigkeit der Maus. Ein erneuter Linksklick beendet die Eingabe. Abbildung 5.19(b) zeigt eine abgeschlossene Trainingseingabe des Musters *Quadrat*. Das Muster kann mit einem Klick auf *Beispiel dem Computer zeigen* für die spätere Klassifikation im Erkennungsmodus abgespeichert werden. Leichte Abweichungen bei der Mausführung werden durch die implementierte Skalierungs-, Rotationsinvarianz und Kantenglättung abgefangen.

Zur Orientierung während der Eingabe selbst und im gesamten Trainingsprozess werden zwei Hilfsmittel eingesetzt. Das gespeicherte Muster wird während des Trainings im Hintergrund des Arbeitsbereichs grau angezeigt, so dass die Kinder es nachzeichnen können. Weiterhin gibt es eine Anzeige, die Aufschluss über den Fortschritt des Trainingsvorgangs gibt. Es werden wieder Elemente benutzt, die von anderen Produkten bekannt sind und der Anzeige von Geschwindigkeit oder der Drehzahl in Kraftfahrzeugen bzw. Autorennspielen ähneln. Die Anzeige ist farblich einem Ampelsystem angeglichen. Die Nadel steht zu Beginn des Trainings im roten unsicheren Bereich und bewegt sich nach jeder Mustereingabe über einen gelben zum grünen sicheren Bereich. Dann hat das System genügend Informationen zur Wiedererkennung des Musters, das Training ist abgeschlossen. Diese Anzeige ist so angelegt, dass die Kinder angespornt werden, den grünen Bereich erreichen zu wollen. Die Anzeige ist in der rechten Spalte platziert, wie Abbildung 5.19(b) zeigt.

Nach der Erstellung eines Bewegungsmusters kann dieses im Bereich *Formen verbinden* konfiguriert werden. Dieser ermöglicht es den Kindern, eine Zuordnung von Bewegungsmustern zu Schwarmeigenschaften vorzunehmen (siehe Abbildung 5.20). Sie können selber bestimmen, welche Reaktion die Klassifizierung ihres Bewegungsmusters beim Schwarm hervorruft. Die Bewegungsmuster können aus der Liste der linken Spalte ausgewählt und mit einem Drag 'n Drop in den Arbeitsbereich gezogen werden. In der rechten Spalte sind die Schwarmeigenschaften aufgelistet, die bei der Konfiguration zur Verfügung stehen. Die Auswahl dieser zur Verfügung stehenden Eigenschaften beruht auf deren deutlichem Erkennungswert während der Simulation, wie beispielsweise der Größe. Wie das Muster wird auch die ausgewählte Eigenschaft nach einem Drag 'n Drop im Arbeitsbereich dargestellt.

Im Arbeitsbereich kann einer Eigenschaft ein Wert zugeordnet werden, der nach einer Klassifizierung angewendet werden soll. Zur Einstellung des Werts werden – wie auch in der Komponente *Boids Regeln* – Schieberegler verwendet, da sie neben dem Wiedererkennungswert aus *Boids Regeln* intuitiv benutzbar sind und eine stufenlose Justierung ermöglichen.

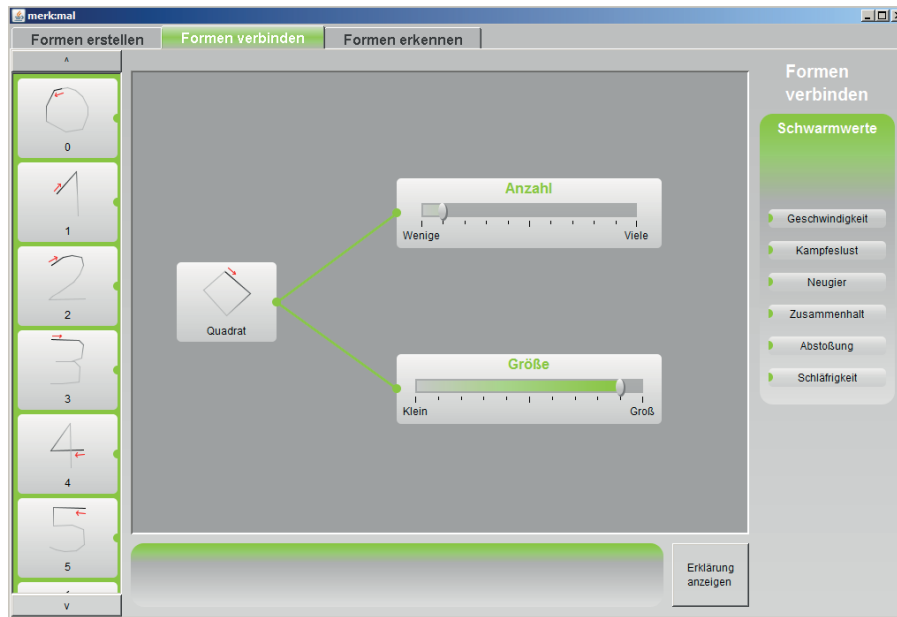
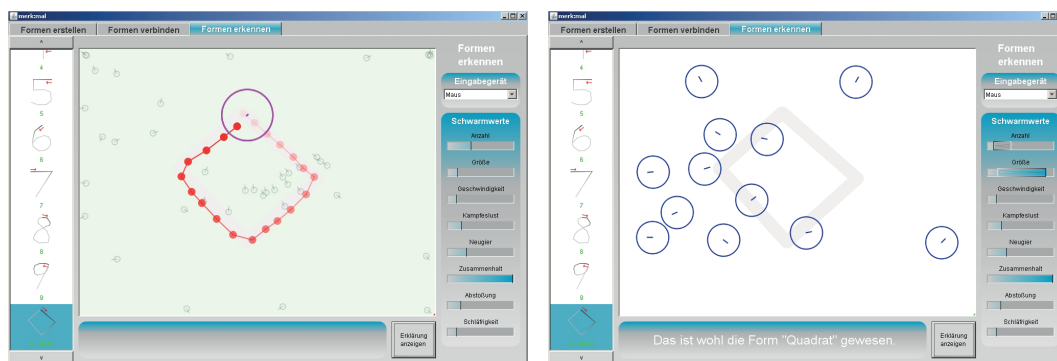


Abbildung 5.20: Bereich *Formen verbinden* der Komponente *Merk:Mal*

Eine Schwarmeigenschaft kann mit einem erneuten Drag 'n Drop vom Arbeitsbereich in die rechte Auswahlspalte aus der Auswahl entfernt werden.

Schließlich können das neue Bewegungsmuster und die Zuordnung zur Schwarmeigenschaft im Bereich *Formen erkennen* ausprobiert werden. Die Bewegungsmuster können im Arbeitsbereich mit der Maus eingegeben werden, die analog zur Trainingseingabe eines Musters im Bereich *Formen erstellen* implementiert ist. Die Eingabe auf der Aktionsfläche steht auch zur Verfügung. Abbildung 5.21(a) zeigt den Bildschirm während der Eingabe des Musters *Quadrat*. Der Hintergrund ist während der Eingabe wie auch im Training grün eingefärbt.



(a) Form zur Erkennung eingeben

(b) Form ist erkannt

Abbildung 5.21: Benutzungsoberfläche im Bereich *Formen erkennen* der Komponente *Merk:Mal*

Konnte das Bewegungsmuster klassifiziert werden, wird unmittelbar die Reaktion gemäß vorheriger Konfigurationen ausgelöst. In Abbildung 5.21(b) ist die Veränderung der Schwar-



meigenschaften am Beispiel des Musters *Quadrat* deutlich zu erkennen. Gemäß der Einstellungen bei der Konfiguration (siehe Abbildung 5.20), sind die Agenten wesentlich größer und in geringerer Anzahl angezeigt. In der rechten Spalte gibt die Aufzählung der Schwarzeigenschaften Aufschluss über deren Veränderung vor und nach der Klassifizierung. Bei den Eigenschaften Größe und Anzahl aus dem Beispiel mit dem Bewegungsmuster *Quadrat* ist in Abbildung 5.21(b) ein an einen Pfeil erinnerndes Dreieck zu sehen, das die Veränderung deutlich macht. Eine textuelle Rückmeldung über die Erkennung wird im unteren Abschnitt des Arbeitsbereichs angezeigt.

Wenn das Muster nicht erkannt werden kann, wird dies durch einen entsprechenden Text in der Anzeige im unteren Abschnitt Arbeitsbereich kenntlich gemacht und der Schwarm zeigt keine Veränderung.

### 5.5.5 Schnittstelle zur Wii-Remote

Das Potential ganzkörperlicher Mensch-Computer-Interaktion hat auch die Unterhaltungsindustrie entdeckt. Eines der ersten Beispiele ist die Tanzmatte, die Ende der 1990er als Controller im Spiel Dance Dance Revolution<sup>33</sup> vertrieben wurde. Passend zur Musik müssen die vorgegebenen Tanzschritte auf der Matte absolviert werden, um das Spielziel zu erreichen. Das Spiel ist für alle gängigen Spielkonsolen und in Spielhallen verfügbar, was seinen langjährigen Erfolg dokumentiert. Eine spätere Erscheinung ist die Spielkonsole Wii<sup>34</sup>. Über den Controller Wii-Remote werden dreidimensionale Positionsdaten und die Beschleunigung gemessen und an die Konsole übermittelt. Eine Rückmeldung gibt die Wii-Remote über einen Vibrationsmotor, einen Lautsprecher und eine LE-Diode. So hat Nintendo Spiele wie Tennis und Bowling entwickelt, bei denen die Bewegungen des Avatars über die Bewegungen des Spielers mit der Wii-Remote berechnet werden. Eine Erweiterung, die Wii Motion Plus, ermöglicht eine feinere Bewegungserkennung.

Die Wii-Remote ist seit ihrem Erscheinen Gegenstand weiterer, von Privatpersonen entwickelter, Anwendungen. Der Computerspezialist Lee (2007) stellt auf seiner Website<sup>35</sup> diverse Projekte vor, bei denen er die Wii-Remote verwendet. Ein Beispiel heißt „Low-Cost Multi-point Interactive Whiteboards Using the Wiimote“, wo Bewegungen von bis zu vier LED-Stiften mit einer Wii-Remote auf der Projektionsfläche verfolgt werden können. Das Low-Cost Whiteboard hat Multitouch-Funktionalität. Ein anderes verbreitetes Beispiel, „Head Tracking for Desktop VR Displays using the Wii Remote“, verwendet die Infrarot-Kamera der Wii-Remote als Erkennungsinstrument und eine am Kopf angebrachte Sensor Bar, um Kopf-

<sup>33</sup>Konami, <http://www.konami.net/>

<sup>34</sup>Nintendo, <http://www.nintendo.com/wii>

<sup>35</sup>Offizielles Diskussionsforum der Projekte und Projektvorstellungen anderer Entwickler, <http://www.wiimoteproject.com/>

bewegungen zu verfolgen. Die auf einem Display angezeigten Bilder werden in Abhängigkeit des Blickwinkels berechnet, wodurch ein Virtual-Reality-Effekt erzielt wird.

Aufgrund der Potentiale der Wii-Remote für andere Anwendungen und der hohen Verbreitung der dazugehörigen Spielkonsole bei unserer Zielgruppe, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Anbindung des Controllers an *Der Schwarm* entwickelt. Die implementierte Gestenerkennung aktiviert Schwarmzustände als Reaktion auf bestimmte Gesten, die mit der Wii-Remote durchgeführt werden. Die Wii-Remote bietet daher neben der Interaktion mit freier Körperbewegung und der Maus eine dritte Eingabemöglichkeit. Eine Positionserkennung im Sinne eines Fixpunkts für den Schwarm wie bei der Nutzung des Laserscanners oder der Maus ist nicht implementiert. Tabelle 5.6 zeigt die Zuordnung von Wii-Remote-Gesten und Reaktionen des Schwarms.

Tabelle 5.6: Zuordnung Wii-Remote-Gesten und Reaktion des Schwarms

| Wii-Remote-Geste              | Reaktion des Schwarms  |
|-------------------------------|--|
| Controller nach unten richten | <i>irration</i> -Wert wird verringert. Je höher der Ausgangswert, desto stärker die Wertveränderung.   |
| Controller nach oben richten  | <i>irration</i> -Wert wird erhöht. Je niedriger der Ausgangswert, desto stärker die Wertveränderung.   |
| Controller ruhig halten       | <i>irration</i> -Wert wird ohne Gewichtung dekrementiert.  |
| Controller schnell bewegen    | <i>irration</i> -Wert wird erhöht. Je niedriger der Ausgangswert, desto stärker die Wertveränderung. Gewichtung wesentlich niedriger als bei nach oben gerichtetem Controller. |

Die Geste *Controller nach unten richten* wird von Kindern in Workshops „Anlocken“ genannt. Mit zunehmender Dauer der Geste wird der Schwarm ruhiger und bewegt sich auf den Akteur zu (Zustände *Beobachtung*, *Neugier* und *Vertrauen*). Die Kinder hocken sich dabei meist hin und nehmen eine Haltung ein, die an das Anlocken von scheuen Kleintieren erinnert. Die entgegengesetzte Geste „Controller nach oben richten“ löst eine Reaktion aus, bei der der Schwarm unmittelbar Abstand zum Akteur sucht. Die Gewichtung ist abhängig vom aktuellen Zustand des Schwarms, bei *Vertrauen* wird 700 auf den *irritation*-Wert addiert, bei *Neugier* lediglich 20 und bei *Beobachtung* wird er auf den Wert 0 gesetzt. Das hat eine ausweichende, flüchtende Reaktion des Schwarms zur Folge, die ihn schnell aufgebracht erscheinen lässt. In Workshops strecken die Kinder bei der Durchführung dieser Geste meist den Arm mit der Wii-Remote in die Höhe, recken sich und stellen sich auf die Zehenspitzen. Sie nennen die Reaktion „Verscheuchen“. Die Reaktion des Schwarms auf die Geste *Controller ruhig halten* entspricht der Reaktion auf eine Bewegungslosigkeit auf der Aktionsfläche bzw. der Maus am Bildschirm. Diese Methode ist nicht separat für die Wii-Remote implementiert, sondern greift auf das inhärente Systemverhalten zurück. Die Geste „Controller schnell bewegen“ löst eine Reaktion analog zur schnellen Bewegung auf der Aktionsfläche bzw. im Simulationsbereich mit der Maus aus.

Die Wii-Remote kann auch für eine Rückmeldung verwendet werden und nicht ausschließlich als Eingabegerät. Wenn die Position der Agenten sich mit der des Controllers deckt, wird der Vibrationsmotor aktiviert. Entfernen sich der Akteur oder die Agenten, wird er ausgeschaltet.

Für den Einsatz bei Workshops verfügt die Wii-Remote über eine zusätzliche Administrationsoberfläche, die über die Beamer-Grafik des Schwarms eingeblendet werden kann. Sie hat im Gegensatz zum Portal (siehe Kapitel 5.5.1) einen eingeschränkten Funktionsumfang und ermöglicht die Anpassung einiger Einstellungen wie der Änderung des aktuellen Parametersets. Abbildung 5.22 zeigt ein Bildschirmfoto des Menüs. Die Ausrichtung des Menüs ist beim Aufruf abhängig von der Position des Controllers, so dass der Nutzer das Menü immer lesen kann.



Abbildung 5.22: Administrationsoberfläche auf Beamer-Grafik zur Steuerung mit Wii-Remote

Die Wii-Remote-Anbindung an *Der Schwarm* ist im Rahmen einer Vergleichsstudie getestet worden. Die Koordination des Workshops mit der Erhebung der Daten und die Ergebnisse sind in Kapitel 6.6 beschrieben.

## 5.6 Zusammenfassung

Unsere in den letzten Kapiteln entwickelten Ideen hatten nach Realisierung verlangt, einem digitalen Produkt, an dem wir ihnen Physikalität geben. Das technische System *Der Schwarm*

ist die exemplarische Implementation von *Moving Algorithm*. Darin wird Schwarmintelligenz als Schnittstelle zwischen ästhetischem Phänomen und algorithmischer Präzision verwendet, wozu unterschiedliche Schwarmalgorithmen untersucht worden sind. *Der Schwarm* ermöglicht, so haben wir gesehen, die Kommunikation zwischen Mensch und Computer mit ganzkörperlicher Aktivität, die wir zur Generierung von Erfahrungen verwenden. Schwärmende Lichtpunkte sind die Reaktion des Computers auf die menschlichen Bewegungen. Sieben Zustände kann der Schwarm annehmen, die sein Verhalten und seine Gestalt verändern und den Kindern einen Bezug ermöglichen sollen.

Die Benutzungsoberfläche der Software von *Der Schwarm*, das Portal, ist umgestaltet und neu strukturiert worden, was Kindern die Nutzung des Portals ermöglicht. Die Software ist vor allem um die Komponenten *Boids Regeln*, *Swarming Sounds* und *Merk:Mal* erweitert worden, um andere Zugangsmöglichkeiten zum Entdecken des Systems, der Interaktion und der Algorithmik zu ermöglichen. *Boids Regeln* erlaubt die Exploration des Boids Algorithmus. Die Veränderung der Gewichtung der drei Regeln des Algorithmus zeigt einen Schwarm, der ein für uns untypisches Verhalten zeigt und zu hinterfragen ist. So wird im Zusammenspiel der drei Regeln und in ihrer Gesamtheit die Simulation von Schwarmverhalten deutlich. Die Klanguisgabe *Swarming Sounds* erweitert *Der Schwarm* um ein auditives Display und liefert neben der visuellen Ausgabe eine weitere Zugangsebene. Auf Basis des PAD-Modells haben wir zunächst ausgewählte Klangmerkmale emotionalen Zuständen und dann einer Schwarmeigenschaft zugeordnet. Die Bewegungsmustererkennung *Merk:Mal* erlaubt es Benutzern dem System zweidimensionale Figuren beizubringen, die es in Echtzeit wiedererkennen kann. Im Trainingsmodus kann ein Muster eingegeben und gespeichert werden und im Erkennungsmodus wird das auf der Aktionsfläche eingegebene Muster mit abgespeicherten Mustern verglichen und erkannt. Ein Interface ermöglicht Kindern die Zuordnung von erkannten Mustern zu Reaktionen des Schwarms und führt in die Prinzipien des Maschinlernens ein.

Eine weitere Funktionalität von *Der Schwarm* ist die Anbindung der Wii-Remote, durch die die Eingabe von Gesten zur Hervorrufung von Reaktionen des Schwarms ermöglicht wird.

# 6a

## Erfassen

### Evaluation und Ergebnisse

*Matthias und Ingo haben die Wissenschaftlerin geholt. Sie setzt sich mit den Schülern um den Schwarm und nimmt die Zeichnung, und danach die Liste mit beobachteten Reaktionen des Schwarms in die Hand. Dann legt sie beides vor sich, „das finde ich ganz toll, was ihr da herausgefunden habt“. „Wie seid ihr darauf gekommen, dass dies das Auge sein soll?“, fragt sie und zeigt auf den Kasten in der Zeichnung.*

*Yannick und Matthias antworten: „Das können wir vormachen“. Yannick stellt sich vor den Kasten und der Schwarm flieht an den Rand der Schwarmfläche. Matthias betritt den Schwarm und es passiert nichts. Dann verlässt Yannick den Schwarm und die Lichtpunkte beginnen sich um Matthias zu sammeln und um ihn zu kreisen. „Warum seid ihr euch sicher, dass dies mit dem Kasten zusammen hängt?“, fragt die Wissenschaftlerin. Klara erklärt: „Ich bin Galina in ihrem Schatten gefolgt und er hat nur auf sie reagiert, als wenn sie mich verdecken würde“.*

*Die Wissenschaftlerin überlegt einen Moment und fragt weiter: „Wie erklärt ihr euch das Verhalten des Schwarms? Warum kann das vom Beamer projizierte Bild auf das reagieren, was das 'Schwarmauge' sieht?“ „Da hängt doch ein Computer dran, da muss eine spezielle Software drauf sein“, sagt Yannick. „Kann ich die Software sehen?“, fragt Moritz. Die Wissenschaftlerin bittet Moritz zum Laptop, um sich die Programmoberfläche anzusehen, und Galina, sich auf die Schwarmfläche zu begeben. „Ach so, ja aus dem Auge kommen ja Strahlen, und die erfassen Galina.“*

*Nun laufen alle zum Laptop. „Ihr könnt zurück gehen zum Schwarm, ich projiziere die Softwareoberfläche auch für euch“. Klara ist ganz aufgeregt, als sie sieht, wie die Strahlen Galina erfassen. So ähnlich hatte sie es sich auch vorgestellt. „Und wieso reagieren die auf mich?“, fragt Galina ungeduldig. Die Wissenschaftlerin lässt Yannick die Regler verschieben. Nach einer Weile ändern sich das Verhalten und das Aussehen des Schwarms. Galina beeindruckt dies nicht so sehr. Viel wichtiger scheint ihr etwas anderes zu sein. „Die haben ja Nasen, und die schauen mich an, wenn sie um mich tanzen“, bemerkt sie. Die Schüler probieren verschiedene Einstellungen aus und wie diese das Verhalten des Schwarms verändern.*

Nun beginnen die Kinder in unserem Szenario ihre erlangten Kenntnisse zu erfassen – zu begreifen – und schließlich auf ihren Alltag zu übertragen. In den vergangenen Passagen konnten sie Eindrücke sammeln, Thesen aufstellen und überprüfen. Sie haben eine Vorstellung davon, wie das System *Der Schwarm* funktioniert. Ihr Verständnis der Algorithmik von Schwarmverhaltenssimulation vergleichen sie mit dem bekannten Phänomen von Schwärmen in der Natur. Die Kinder versuchen die Regeln dort wiederzuentdecken oder andere zu finden. Sie bewerten ihre neuen Kenntnisse auf Tauglichkeit für ihren Alltag.

Wir werden nun das in Kapitel 5 vorgestellte System testen und auswerten. Unser Vorgehen unterteilen wir mit Referenz auf Garz (2010) in fünf Schritte, die er für die Auswertung von Daten mit der Methode der objektiven Hermeneutik vorsieht. Der erste Schritt sieht die Formulierung einer Fragestellung vor, mit der auch wir beginnen und für die wir uns die eingehenden Fragestellungen aus Kapitel 1 ins Gedächtnis rufen. Dann folgt bei Garz die Bestimmung der Daten, die zur Analyse herangezogen und ausgewertet werden, wozu die Methoden zur Datenerhebung erläutert werden. Die Schritte drei bis fünf nach Garz, die sequentielle Vorgehensweise, die extensive Sinnauslegung und die Strukturhypothese, beziehen sich auf die Datenanalyse mit der objektiven Hermeneutik, die im Anschluss beschrieben wird. Ein Workshopkonzept wird entwickelt, mit dem Workshops ähnlich dem aus dem Szenario durchgeführt werden können, und das die Datenhebungsmethoden berücksichtigt. Es basiert auch auf den Eindrücken einer Pilot-Workshopreihe, die zuvor beschrieben wird. Anhand der Methoden und des Workshopkonzepts wird anschließend eine Untersuchungs-umgebung konstruiert. Das spezifische Vorgehen in den Workshops und das empirische Vorgehen zur Datenerhebung und -analyse wird geschildert. Dann werden die Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt und diskutiert. Das Kapitel schließt mit einer Vergleichsstudie, die die Mensch-Computer-Interaktion von *Der Schwarm* über freie Körperbewegung mit der über eine Wii-Remote vergleicht, um Aussagen über die Motivation von Kindern in der Auseinandersetzung mit dem technischen System zu treffen.

## 6.1 Fragestellung

Für die Planung und Durchführung der Evaluation rufen wir uns die eingehenden Fragen aus Kapitel 1 ins Gedächtnis.

1. Welche Modelle und Konzepte kann die Informatik bereitstellen, um einen neuartigen Beitrag zur Vermittlung von Medienkompetenz in pädagogischen Kontexten zu leisten?
2. Wie müssen technische Systeme gestaltet sein, um die Medienkompetenz von Kindern im Alter von 8-12 Jahren zu fördern und welche Kriterien können hierfür festgelegt werden?

Den Ansatz zur Beantwortung der Fragen stellt *Moving Algorithm* dar, das in Kapitel 4 vorgestellt wurde. Daher interessiert zur Beantwortung dieser übergeordneten Fragen die Eignung von *Moving Algorithm*. Die Implementierung des Konzepts anhand des technischen Systems *Der Schwarm* ermöglicht die Evaluation mit einer exemplarischen Applikation. Das System wird mit der Zielgruppe, Kindern im Alter von 8-12 Jahren, untersucht. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf *Moving Algorithm* betrachtet, um Rückschlüsse auf dessen Eignung zu ziehen.

Die Aspekte Algorithmik und multisensuelle Zugangsmöglichkeiten aus *Moving Algorithm* sind mit den Komponenten *Boids Regeln*, der visuellen Ausgabe und *Swarming Sounds* umgesetzt worden. Bei der Komponente *Boids Regeln* interessiert uns die Eignung von Algorithmik als Mittel der kognitiven Auseinandersetzung in der Lernphase Stepping-out. Darauf liegt das Hauptaugenmerk bei der Untersuchung von *Boids Regeln*. Die Untersuchung von *Swarming Sounds* bezieht sich auf die Verwendbarkeit von Klang zur Förderung der Immersion in der Lernphase Diving-in. Die visuelle Ausgabe wird mit derselben Frage untersucht. Die Komponente *Merk:Mal* zielt auf die Förderung des Wechsels zwischen beiden Lernphasen ab und implementiert immersive und reflexive Aspekte. Die Komponente *Merk:Mal* konnte in diesem Vorhaben aufgrund von zeitlichen Verschiebungen nicht untersucht werden und wird nachgeholt, um mit den Ergebnissen Aussagen zur Eignung von *Merk:Mal* und allgemeiner von Bewegungsmustererkennungsalgorithmen zum Wechsel von Immersion und Reflexion zu treffen.

Auf Grundlage dieser Zielrichtung werden die Methoden ausgewählt (siehe Kapitel 6.2) und ein Workshopkonzept zur Konstruktion des Untersuchungsraums (siehe Kapitel 6.3) entwickelt. Das Vorgehen, in dem das Workshopkonzept und die Methoden Anwendung finden, wird in Kapitel 6.4 erläutert.

## 6.2 Methoden zur Datenerhebung und -analyse

Die Auswertung der Beispielapplikation und damit die Überprüfung der Validität des Konzepts *Moving Algorithm* erfordert ein methodisches Vorgehen für die Datenerhebung und -analyse. Das Interaction Design (siehe Kapitel 3.3.1), in dem dieses Vorhaben verankert ist, bedient sich in Abhängigkeit des jeweiligen Projekts Methoden anderer Fachrichtungen. Bei der Auswertung liegt der Schwerpunkt auf der qualitativen Evaluation, um Erkenntnisse aus der (subjektiven) Wahrnehmung des Benutzers zu gewinnen, die als entscheidend für Erzeugung von User Experiences angesehen wird. Saffer (2009) stellt drei Möglichkeiten heraus, den Benutzer sinnvoll in den Designprozess einzubinden: Beobachtung, Interview und Aktivitäten. Die empirische Sozialforschung stellt Methoden zur Beobachtung und zur Durchführung und Auswertung von Interviews zur Verfügung, die bei der Evaluation in diesem Vorhaben verwendet werden. Der Vorstellung von Methoden zur Erhebung der Eva-

lationsdaten folgt die Darlegung der Methode zur Datenanalyse. Auf die dritte Forderung von Saffer nach Aktivität wird im nächsten Kapitel 6.3.2 eingegangen.

### 6.2.1 Datenerhebung

Im Fokus des Interesses steht die Veränderung der Wahrnehmung der Teilnehmer und ihr Erkenntnisprozess. Abhängig von der zu testenden Softwarekomponente sollen die Ergebnisse Aufschluss über den Erkenntnisprozess der Kinder zur Algorithmik, der abstrakten Strukturen der Software oder der Rolle der Immersion geben. Untersuchungsgegenstand ist ein meist unbewusster Erkenntnisprozess von Kindern, für dessen Auswertung die empirische Sozialforschung qualitative Evaluationsmethoden zur Verfügung stellt. Einen generellen Diskurs und Einstieg qualitativer im Vergleich zur quantitativen Evaluation bieten Kuckartz et al. (2008) anhand eines Praxisbeispiels, in dem Hochschullehre durch Studierende bewertet wird.

Die Evaluation der Beispielapplikation *Der Schwarm* und damit des entwickelten Konzepts wird mit den Datenerhebungsmethoden des narrativen Interviews und der teilnehmenden Beobachtung durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden. Darbyshire et al. (2005) betonen das Potential der gezielten Anwendung mehrerer qualitativer Methoden in der Forschung mit Kindern.

#### Narratives Interview

Interviews sind zentrales Datenerhebungsinstrument für die Untersuchung der Interaktion mit den Softwarekomponenten von *Der Schwarm*. Interviews mit den am Workshop teilnehmenden Kindern lassen Einblicke in ihre Erfahrungen und Rückschlüsse auf die Begegnung mit der Software zu. Sie ermöglichen eine kontextuelle Betrachtung der Wirkungsweise des technischen Systems *Der Schwarm* auf die Kinder im Workshop.

Die Methode des narrativen Interviews hat die Offenlegung der Sichtweise und der prozessualen Entwicklung des Interviewten zum Ziel. Da die zentrale Fragestellung das Selbstbild der Kinder im Umgang mit Digitalen Medien und den Komponenten von *Der Schwarm* betrifft, habe ich mich zur Durchführung narrativer Interviews entschieden.

Die Methode wurde erstmals von Schütze in den 1970ern beschrieben und seitdem weiterentwickelt (Schuetze 1983, 1976). Der Schwerpunkt liegt auf dem freien Erzählen der Interviewten sowie dem aktiven Zuhören und narrativen Nachfragen des Interviewers.

„Das narrative Interview zielt auf die Hervorlockung und Aufrechterhaltung von längeren Erzählungen oder allgemeiner formuliert zu autonom gestalteten Präsentationen einer bestimmten Thematik.“ (Rosenthal 2005, S. 137)



Das Vorgehen im narrativen Interview besteht laut Rosenthal (2005) aus drei Phasen:

1. Die Erzählaufforderung  
Die autonom gestaltete Haupterzählung oder Selbstpräsentation
2. Erzählgenerierendes Nachfragen:
  - a) internes Nachfragen anhand der in Phase 1 notierten Stichpunkte;
  - b) externes Nachfragen
3. Interviewabschluss *(Rosenthal 2005, S. 157)*

Die Erzählaufforderung kann je nach Forschungsgegenstand unterschiedlich gestaltet werden, meist beginnt sie mit einer kurzen Absichtserklärung und offener Eingangsfrage. Während der Haupterzählung ist der Interviewer abwartend, zeigt durch Gesten wie Augenkontakt und phatische Äußerungen wie „mhm“ Anteilnahme an der Erzählung und macht sich Notizen. Dem Interviewten gibt er Raum zur inhaltlichen und darstellerischen Gestaltung seiner Erzählung. Die Notizen bilden den Leitfaden für den Nachfrageteil des Interviews, in dem zunächst Nachfragen zu den bereits vom Interviewten erwähnten Darstellungen erfolgen. Anschließend können Nachfragen zu Themenbereichen gestellt werden, die den Interviewer interessieren und bisher noch nicht behandelt wurden. In beiden Phasen können bei Bedarf weitere Gesprächstechniken wie das aktive Zuhören angewendet werden (Rogers und Dorfman 1965). Der Abschluss des Interviews wird mit einer für den Interviewten positiven Erfahrungsbeschreibung herbeigeführt, wenn aus Sicht des Interviewten alles erzählt ist. Die Einleitung der Phase obliegt dem Interviewer und geschieht erneut durch narrative Fragestellungen.

Das narrative Interview ist in seiner ursprünglichen Form als absolut frei von thematischen Vorgaben im Gesprächsverlauf anzusehen. Darin unterscheidet es sich beispielsweise vom fokussierten Interview, das auf die Beantwortung von Fragen ausgelegt ist. Zur Befragung festgelegter Aspekte ausgelegt, stützt es sich stärker auf Leitfäden. Auf eine Darstellung der Historie und Gestaltung des fokussierten Interviews sei hier verzichtet und auf Merton und Kendall (1979) sowie Merton et al. (1990) verwiesen. Lediglich die thematische Eingrenzung des Interviews sei erwähnt, da sie relevant für mein Vorhaben ist.

### **Teilnehmende Beobachtung**

Die aus den Gruppeninterviews gewonnenen Daten enthalten die Sicht des Interviewten. Um die Entwicklung des Verständnisses von Digitalen Medien während des Workshops in der Interaktion mit *Der Schwarm* beurteilen zu können, bedarf es einer weiteren Perspektive. Sie soll die Offenlegung von Verhaltensweisen, Ansichten und Entwicklungen der

Teilnehmer ermöglichen, die in ihrem subjektiven Empfinden nicht als relevant wahrgenommen werden oder vom Interviewer nicht nachvollzogen werden können. Die Fähigkeit zur Selbstreflexion ist bei Kinder noch nicht gut ausgeprägt, weshalb diese Daten nicht ausschließlich mit Interviews erhoben werden können. Durch die Berücksichtigung einer weiteren Perspektive kann die Problematik der unterschiedlichen verbalen Fähigkeiten der Kinder weiter abgemildert werden.

Dafür ziehe ich die Methode der teilnehmenden Beobachtung heran, durch die eine außenstehende Perspektive hinzugezogen wird (Lüders 2003). Die teilnehmende Beobachtung findet beispielsweise in der ethnographischen Feldforschung Anwendung und eignet sich laut Rosenthal zur Verknüpfung mit anderen Datenerhebungsmethoden wie Interviews – wodurch sie für mein Vorhaben interessant ist:

„Die Beobachtung ermöglicht die Kontrastierung der anders erhobenen 'Daten' oder Texte, wie z. B. im Kontext der teilnehmenden Beobachtung stattfindende Interviews, mit den Interpretationen aus den Beobachtungen. Darüber hinaus kann in den Interviews auf die Beobachtung Bezug genommen werden.“

*(Rosenthal 2005, S. 104)*

Friedrichs (1982) unterscheidet fünf Dimensionen der Beobachtung: verdeckt / offen, teilnehmend / nicht-teilnehmend, systematisch / unsystematisch, in natürlichen / künstlichen Situationen und Selbstbeobachtung / Fremdbeobachtung. Die teilnehmende Beobachtung zeichnet sich durch die Anwesenheit des Beobachters im Feld aus.

Nach Rosenthal (2005) bedeutet das Teilnehmen „[...] eine leibliche und psychische Erfahrung, die uns bei der nicht teilnehmenden Beobachtung verschlossen bleibt“. Es erfordert vom Beobachter einen zeitweiligen Abbau der emotionalen Distanz, der die Situation der Subjekte im Feld „leiblich“ und „psychisch“ nachvollziehbar macht. Die teilnehmende Beobachtung ist ein Prozess, in dessen Verlauf einerseits der Beobachter die Perspektive des Teilnehmenden einzunehmen versucht, und andererseits die Beobachtung selbst ihren Fokus vom Unkonkreten auf die Fragestellung verlagert (vgl. Flick 2002, S. 207). Die Methode erfordert vom Beobachter eine Kontrolle der eigenen Distanz zu den Subjekten im Feld, wodurch zum einen eine weitere Perspektive gewonnen und zum anderen die Situation der Teilnehmer beleuchtet wird. Die teilnehmenden Beobachtung sieht die Anfertigung von Feldnotizen bzw. Beobachtungsbögen vor, in denen der Beobachter den Situationsverlauf neutral und auswertbar darlegt (Kromrey 2000).

## 6.2.2 Datenanalyse mit der objektiven Hermeneutik

Die große Anzahl von qualitativen Forschungsmethoden und deren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten erfordert eine Abstimmung der Methoden zur Datenerhebung und -analyse. Nicht jede Analysemethode lässt sich mit einem beliebigen Erhebungsverfahren kombinie-

ren. Das Vorgehen und die Methoden sind im Hinblick auf die Fragestellung zu entscheiden. Einen Vergleich von fünf Verfahren in der qualitativen Forschung liefert u. a. Brüsemeister (2008). Wir kombinieren in unserem Vorhaben die beschriebenen Erhebungsmethoden mit dem Analyseverfahren der objektiven Hermeneutik. Die verbleibenden Schritte drei bis fünf nach Garz (2010), der sequentiellen Vorgehensweise, der extensiven Sinnauslegung und der Strukturhypothese, beziehen sich auf den Hintergrund und die Durchführung der Analyse und werden im Folgenden vorgestellt. Die Grundlagen des Verfahrens in Theorie und Methodologie werden vorgestellt, wobei wir uns aufgrund der Komplexität und Historie, die etwa vier Jahrzehnte umfasst, auf die für uns relevanten Aspekte beschränken.

Die objektive Hermeneutik – ein theoriebildendes Analyseverfahren – ist auf die Auswertung natürlicher Interaktionen ausgelegt, wie sie die erhobenen Gruppeninterviews darstellen. Sie wird in meinem Vorhaben herangezogen, um Einblicke in die grundlegenden Strukturen der Interaktionsverläufe von Kindern mit Digitalen Medien zu bekommen. Die Methode ist in der empirischen Sozialforschung weit verbreitet und gilt laut Reichertz „[...] als eines der verbreitetsten und reflektiertesten innerhalb der bundesdeutschen qualitativen Sozialforschung“ (Reichertz 1991, S. 226).

Die objektive Hermeneutik versteht sich selbst als *Kunstlehre*, die in den 1970er Jahren zur Auswertung von natürlicher Interaktion, beispielsweise Gruppengesprächen, entwickelt wurde (Oevermann et al. 1979, 1987). Zur Generierung objektiver Bedeutung aus den erhobenen Daten stellt die Methode ein mehrstufiges Verfahren bereit. Zur Theorie und Methodik von qualitativen, insbesondere hermeneutischen Ansätzen bieten Soeffner (2004) und Bohnsack (2008) umfassende Informationen.

Der latente Sinngehalt einer natürlichen Interaktion soll mit der objektiven Hermeneutik offengelegt werden, wie Kromrey zusammenfasst:

„Ziel der objektiven Hermeneutik ist es, durch eine regelgeleitete Deutung der 'Interaktionstexte' solche 'latenten', also hinter der Oberfläche wirksamen Strukturen aufzudecken.“  
(Kromrey 2000, S. 523)

Die Bedeutung der Handlungen des Subjekts, also die *latente Sinnstruktur*, wird als abstrakt und objektiv verstanden und kann demnach nicht unmittelbar wahrgenommen werden, sondern muss erschlossen werden. Die Strukturen sozialen Handelns werden als objektiv und nachprüfbar gesehen, worauf sich auch die Kennzeichnung dieser Hermeneutik als *objektiv* bezieht. Die Bedeutung der Handlung aus Sicht des handelnden Individuums wird dagegen als subjektiv betrachtet und ist nicht Gegenstand der Analyse. Soziale Handlungen erfolgen sequentiell und sind daher nur durch ein sequentielles Vorgehen zu analysieren. Eine Handlung eröffnet eine Menge an Folgehandlungen, die wiederum nur eine begrenzte Anzahl an Handlungsmöglichkeiten nach sich ziehen kann. Diese Optionen basieren auf der Befolgung von Regeln, die jedem sozialen Handeln zugrunde liegen (Wernet 2009).

Die objektive Hermeneutik ist ein textbasiertes Verfahren, in dem Texte als Träger von Informationen über das Handeln angesehen werden (Oevermann 2004; Flick 2002). Die Welt wird dabei als Text verstanden (Garz und Kraimer 1994; Sutter 1994), wodurch Texte im Unterschied zu anderen qualitativen Analyseverfahren eine noch zentralere Bedeutung haben. Wernet konstatiert dazu:

„Der Gegenstand der sinnverstehenden Wissenschaften bildet sich erst durch die Sprache und tritt in Texten in Erscheinung. Die soziale Wirklichkeit ist textförmig. [...] Eine verstehende, methodisch kontrollierte Wirklichkeitserforschung *ist* Texterforschung. *Wirklichkeitswissenschaft ist Textwissenschaft.*“

(Wernet 2009, S. 12)

Der dieser Vorstellung zugrunde liegende weit gefasste Textbegriff betrachtet Gespräche, Handlungen, Bilder oder Filme in Form von Transkriptionen oder Beschreibungen auch als Texte bzw. Protokolle. Mit der Transkription von natürlichen Interaktionen wird deren subjektive Bedeutung in die objektive und dauerhaft existierende Form eines Texts überführt. Erst dieser Schritt ermöglicht die Erschließung des Texts und damit der latenten Sinnstruktur selbst (vgl. Flick 2002, S. 300f).

In der Methodologie der objektiven Hermeneutik ist die Rekonstruktion der Interaktionsregeln durch Textinterpretation das zentrale Element der Datenanalyse (vgl. Kromrey 2000, S. 522f). Dieser Prozess wird auch als das Entwerfen von Lesarten bezeichnet. Mögliche Kontexte, in denen die Aussage des Interviewten Sinn ergibt, werden gesammelt. Das Entwerfen von Lesarten gehört zum Interpretationsverfahren und ist ein Prozess der Ideengenerierung, ein Fallbeispiel beschreibt Brüsemeister (2008, S. 199-220). Die Beschreibung der Feinanalyse in diesem Kapitel nimmt wieder Bezug auf diesen Begriff.

Nach Wernet (2009, S. 21-38) lassen sich fünf Prinzipien des interpretativen Rekonstruktionsprozesses – des Entwerfens von Lesarten – nennen, die sich teilweise bedingen, überschneiden und Bezug zueinander haben.

**Kontextfreiheit** soll die Beeinflussung der Ergebnisse durch Vorkenntnisse der Interpreten vermeiden. Die Kenntnisse über die Umstände der Datenerhebung und den Kontext des Texts sind auszuklammern. Der Forscher soll die Haltung einer *künstlichen Naivität* (vgl. Oevermann 1986, 36) einnehmen.

**Wörtlichkeit** im Umgang mit dem Text muss eingehalten werden. Betonungen, Versprecher, Pausen etc. sind im Text, also in der Wirklichkeit vorhanden. Sie haben deshalb eine Bedeutung für die Erschließung latenter Sinnstrukturen.

**Sequentialität** als Interpretationsprinzip nimmt die Prozesshaftigkeit sozialen Handelns auf. Der zu untersuchende Text wird segmentiert, der Forscher betrachtet die einzel-

nen Sequenzen unabhängig voneinander. Im Vordergrund steht das Bemühen, bereits bekannte Sequenzen bei der Untersuchung einer Textstelle auszublenden.

**Extensivität** bezieht sich erneut auf die Genauigkeit, mit der ein Text zu interpretieren ist. Um die Vollständigkeit der Deutung zu gewährleisten, sind auch nebensächlich erscheinende Textstellen und Lesarten mit hoher Detailtreue zu betrachten und zu überprüfen.

**Sparsamkeit** stellt den inhaltlichen Bezug zum Text sicher. Die entworfenen Lesarten müssen anhand des Texts, und ausschließlich durch den Text, nachvollziehbar sein. Zusätzliche Annahmen, die nicht aus dem Text hervorgehen, sind nicht zulässig.

Die objektive Hermeneutik stellt kein einheitliches Vorgehen bereit, sondern argumentiert für eine den o. g. Prinzipien entsprechende Methodologie. Einblicke in die Interpretationspraxis und den Begriff der Struktur geben Zehentreiter (2001) und Schneider (1985). Statt auf der Einhaltung bestimmter Arbeitsschritte liegt das Augenmerk auf den Kenntnissen und der Erfahrung der Interpreten, die in mehrere Faktoren unterteilt ist. Kenntnisse über die objektive Hermeneutik und das empirische Vorgehen sollen vorliegen. Der persönliche Sozialisationsprozess muss abgeschlossen sein, die Interpreten müssen frei von einschränkenden Anschauungen wie Ideologien sein und es muss viel Zeit zur Verfügung stehen. Im Idealfall wird die Auswertung in einer Gruppe von Interpreten mit heterogenen Hintergründen und Vorkenntnissen vorgenommen (Oevermann et al. 1979).

Zur Auswertung der Daten existieren fünf Varianten der interpretativen Textanalyse, die den Grundgedanken der objektiven Hermeneutik folgen (vgl. Reichertz 1995, S. 385f). Die Varianten bieten keine genauen Anweisungen zur Auswertung, sondern stellen einen Rahmen bereit, in dem die Analyse durchgeführt werden kann. Die jeweilige Durchführung richtet sich nach dem vorliegenden Material und der zugrunde liegenden Fragestellung. Für die Bearbeitung meiner Fragestellung ist vor allem die Feinanalyse interessant, sie wird in meinem Vorhaben herangezogen.

Die Feinanalyse lässt sich in mehrere Ebenen unterteilen, die dem Interpreten dabei helfen sollen, das zugrunde liegende Material unter verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Abweichungen und Gewichtung der einzelnen Ebenen sind in Abhängigkeit von dem zu analysierenden Text und dem Gegenstand der Untersuchung zu treffen. Die Ebenen wurden von Oevermann et al. (1979) formuliert und sind u. a. auch in Flick (2002, S. 302) und Lamnek (2010, S. 534) zu finden:

0. Explikation des einem Interakt unmittelbar vorausgehenden Kontextes
1. Paraphrase der Bedeutung eines Interakts gemäß dem Wortlaut der begleitenden Verbalisierung

2. Explikation der Intention des interagierenden Subjekts
3. Explikation der objektiven Motive des Interaktes und seiner objektiven Konsequenzen
4. Explikation der Funktion des Interakts in der Verteilung von Interaktionsrollen
5. Charakterisierung sprachlicher Merkmale des Interakts
6. Exploration des Interpretationsakts auf durchgängige Kommunikationsfiguren
7. Explikation allgemeiner Zusammenhänge
8. Unabhängige Prüfung der auf der Vorebene formulierten, allgemeinen Hypothesen anhand von Interaktionsfolgen aus weiteren Fällen

*(Oevermann et al. 1979, S. 394-402)*

Der Feinanalyse des auszuwertenden Texts entlang der Ebenen liegen die o.g. Prinzipien der Kontextfreiheit, Wörtlichkeit, Sequentialität, Extensivität und Sparsamkeit zugrunde. Zunächst werden Hypothesen über den Kontext von aufeinander folgenden Textstellen, sog. Sequenzen generiert und schriftlich festgehalten, in dem die jeweilige Textsequenz Sinn ergibt. Die Länge einer Sequenz kann wenige Worte bis zu einen Halbsatz umfassen und richtet sich nach der Struktur des Texts. Das Ergebnis sind zahlreiche Lesarten jeder Sequenz, die jeweils einen Umstand beschreiben, unter dem die Sequenz gesagt bzw. getan gewesen sein könnte. Im nächsten Schritt werden die Handlungsstrukturen der einzelnen Lesarten herausgebildet. Basierend auf dem Verständnis der objektiven Hermeneutik zur Sequentialität von Handlungen, werden zu jeder Lesart die sich daraus ergebenden Handlungsmöglichkeiten bestimmt und festgehalten. Anschließend werden die Lesarten der vorherigen Sequenzen auf deren Gültigkeit überprüft. Die herausgebildeten Handlungsstrukturen werden durch diesen Arbeitsschritt entweder widerlegt oder haben Bestand. Im Verlauf der Auswertung der gesamten Textstelle kristallisieren sich Handlungsstrukturen heraus, die den latenten Sinngehalt offenlegen (Nagler und Reichertz 1986; Reichertz 1995).

Eine ausführlichere Beschreibung der einzelnen Ebenen ist bei Oevermann et al. (1979) und Reichertz (1995) gegeben. Weitere Literaturhinweise stellt die Arbeitsgemeinschaft Objektive Hermeneutik e. V. (Schmidtke o.J.) auf ihrer Website<sup>1</sup> zur Verfügung, die neben einer umfangreichen Literaturliste zum theoretischen Hintergrund, der Methodologie und dem empirischen Vorgehen zahlreiche bisher unveröffentlichte Manuskripte von Oevermann enthält.

---

<sup>1</sup>Arbeitsgemeinschaft Objektive Hermeneutik e. V., <http://www.agoh.de/>

## 6.3 Untersuchungsraum Workshop

Zur Beteiligung der Zielgruppe am Designprozess eines Produkts und ferner der Generierung von User Experiences während der Benutzung schlägt Saffer (2009), neben Beobachtung und Interview (siehe Kapitel 6.2), als dritten Punkt Aktivität vor. In diesem Vorhaben verwende ich dazu Workshops. Sie bieten eine geschlossene Umgebung und einen festen Zeitrahmen, in der bzw. dem sich die Kinder mit dem technischen System *Der Schwarm* beschäftigen können. Um die Anforderungen an derartige Workshops zu bestimmen, werden zwei Pilot-Workshopreihen durchgeführt. Die aus den Pilot-Workshops gewonnenen Erkenntnisse dienen der Entwicklung einer inhaltlichen und zeitlichen Struktur der Workshops, in dem auch die Methoden zur Datenerhebung Berücksichtigung finden. Zunächst werden die Pilot-Workshops vorgestellt und im Anschluss das in diesem Vorhaben entwickelte Workshopkonzept, mit dem die Workshops zur Erhebung der Evaluationsdaten durchgeführt werden. Das Workshopkonzept sieht eine Umgebung für die Untersuchung vor, in der die Zielgruppe mit *Der Schwarm* interagiert und ermöglicht darüber hinaus die Durchführung von Workshops mit technischen Systemen dieser Art. Es kann als Grundlage für Workshops mit einem nach *Moving Algorithm* gestalteten System verwendet werden.

### 6.3.1 Pilot-Workshopreihe

Zwei Pilot-Workshopreihen dienen dazu, die Gesamtdauer, den zeitlichen Ablauf, die inhaltliche Struktur sowie die Konfiguration von *Der Schwarm* auf die Zielgruppe abzustimmen. Auf Grundlage der Erfahrungen dieser Pilot-Workshopreihe wird ein Workshopkonzept entwickelt, das im folgenden Kapitel 6.3.1 dargestellt wird. Nachdem der grundlegende Ablauf der Pilot-Workshopreihe beschrieben ist, werden die Ergebnisse beschrieben. Dabei werden zuerst Beobachtungen des Verhaltens der Kinder im Workshopverlauf geschildert, das in fünf sog. Interaktionsphasen eingeteilt werden kann. Im Anschluss wird auf die Rolle der Darstellung der Schwarmagenten und die Wii-Remote eingegangen.

Der Ablauf der Workshops ist so gestaltet, dass die Kind-Schwarm-Interaktion sowie eine selbstständige Beschäftigung der Teilnehmergruppe im Vordergrund steht. Jede Teilnehmergruppe verbringt zwei Stunden mit dem technischen System *Der Schwarm*, in denen – nach einer kurzen Begrüßung durch den Moderator – jeder Teilnehmer einzeln mit dem Schwarm interagieren kann. Die Interaktion kann von den Kindern frei gestaltet werden und wird nicht reglementiert. Währenddessen können die Kinder über ihre Eindrücke diskutieren. Im Anschluss entwickeln die Teilnehmer in einer moderierten Diskussion Thesen über den Aufbau der Installation. Die Software von *Der Schwarm* wird vorgestellt, einige Einstellungsmöglichkeiten zu Verhalten und Aussehen der Schwarmagenten ausprobiert. Zum Abschluss werden letzte Fragen besprochen und die Teilnehmer können gemeinsam auf

der Aktionsfläche mit dem Schwarm interagieren. Die Pilot-Workshops werden von einem Moderator, einer technisch versierten Person und mindestens einem Beobachter begleitet. Während der Moderator die Teilnehmer durch den Workshop führt und der Techniker für die Bedienung von *Der Schwarm* zuständig ist, verfolgt der Beobachter das Geschehen. Nach den Pilot-Workshops tauschen diese drei Personen ihre Eindrücke aus und die Ergebnisse werden festgehalten.

Die Pilot-Workshops sind im Rahmen eines sog. Sommercamps<sup>2</sup> mit *Der Schwarm* zum Jahr der Mathematik 2008 durchgeführt worden, zu dem sich Gruppen anmelden konnten. An dem Sommercamp haben insgesamt 200 Kinder im Alter von 8-12 Jahren und einer jeweiligen Gruppenstärke von 8-30 Kindern teilgenommen. Die hohe Zahl der Teilnehmer dient der eindeutigen Bestimmung von nötigen Rahmenbedingungen, um in den Auswertungsworkshops eine optimale Umgebung zur Erhebung der Daten zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der Pilot-Workshops lassen eine einheitliche Entwicklung des Verhaltens der Teilnehmer im Verlauf eines Workshops beobachten. Die Teilnehmer durchlaufen mehrere sog. Interaktionsphasen, in denen ihre Beschäftigung mit *Der Schwarm* durch jeweils andere Handlungen bzw. Denkprozesse geprägt ist. Diese Entwicklung lässt sich in fünf Phasen einteilen, die im Folgenden beschrieben werden:

**Begegnen** Das interagierende Kind bewegt sich willkürlich mit wechselnder Geschwindigkeit, die Aufmerksamkeit liegt auf den sich bewegenden Lichtpunkten. Diese Phase stellt die erste Begegnung des Kindes mit dem Schwarm dar. Die Körperbewegung beschränkt sich auf ungezielte Bewegungen auf der Aktionsfläche. Diese Phase endet, sobald das Kind eine Abhängigkeit zwischen seiner Körperbewegung und dem Verhalten des Schwarms feststellt.

**Gestalten** Die um die Aktionsfläche sitzenden Kinder geben dem Akteur Anweisungen für Aktionen. Die Person auf der Fläche versteht sich als Akteur, der die Interaktion beeinflussen, gar aktiv gestalten kann. Durch Beobachten werden Thesen entwickelt und es wird ausprobiert, welche Bewegungen welches Verhalten beim Schwarm hervorrufen. Schließlich werden die Vermutungen bestätigt oder widerlegt, was zur eigenmotivierten Gestaltung der Interaktion und der Lernsituation führt. Diese Phase hat einen spielerischen Charakter.

**Experimentieren** Die Fragen werden nun genauer untersucht. Dabei werden Strategien entwickelt, wie Thesen überprüft werden können, also Experimente geplant und durchgeführt. Die Teilnehmer entwickeln eine Vorstellung von den Mechanismen der Interaktion zwischen Akteur und Schwarm. Bestimmte Reaktionen des Schwarms können

---

<sup>2</sup>Das Sommercamp ist in einer Kooperation von der Arbeitsgruppe dimeb – Digitale Medien in der Bildung mit dem Zentrum für Performance Studies an der Universität Bremen durchgeführt worden und fand im Ortsamt Obervieland in Bremen statt.



gezielt durch Körperbewegung hervorgerufen werden. Diese Phase hebt sich von den vorhergehenden durch die höhere Konzentration der Kinder auf die Beantwortung ihrer Fragen ab und ist abgeschlossen, wenn die Kinder der Meinung sind, einen umfassenden Eindruck von Ursache und Wirkung der Interaktion zu haben.

**Implementieren** Die Kinder wenden ihre Eindrücke auf andere Bereiche des technischen Systems an. Die Aufmerksamkeit der Kinder verlagert sich von der Interaktion mit dem Schwarm zum technischen Aufbau. Fragen der Kinder beziehen sich in dieser Phase auch auf den Aufbau des technischen Systems und die Funktionsweise einzelner Geräte sowie deren Zusammenspiel. Weitere Fragen beziehen sich auf Details in der Software und die Einstellmöglichkeiten der Administrationsoberfläche.

**Erfassen** In der letzten Phase beginnen die Kinder die Eindrücke auf ihren Alltag zu übertragen. Eindrücke werden dekontextualisiert, abstrahiert und mit Erfahrungen aus anderen Situationen verglichen, beispielsweise dem kürzlich gesehenen Tierfilm oder dem Schwarm von Menschen auf einem Bahnhof. Die Kinder erfassen ihre Eindrücke und stellen Bezüge zu ihrer Lebenswelt her.

Auf Basis dieser fünf Interaktionsphasen wird der inhaltliche und zeitliche Ablauf der Workshops zur Auswertung der Beispielapplikation entwickelt, der im folgenden Kapitel beschrieben wird. Dieses Vorgehen gewährleistet ein Workshopkonzept, das Kinder in ihrer Entwicklung während der Auseinandersetzung mit *Der Schwarm* unterstützt und sich an ihren Bedürfnissen orientiert (siehe auch Hashagen und Schelhowe 2008). Nach diesen Phasen sind im Übrigen die Kapitel 2-6 meines Vorhabens benannt.

In den Pilot-Workshops zeigen die Kinder starke Reaktionen auf das Aussehen der Schwarmagenten. In den ersten Workshops der Reihe wurde die an Tiere erinnernde Darstellung namens *Käferspinne* (siehe Abbildungen 5.7(a)-(f)) verwendet. Einige Kinder haben Ekelgefühle entwickelt, die eine hemmende und bewegungseinschränkende Wirkung hatten. Dieses Phänomen wird als Ergebnis in Kapitel 6.5.4 thematisiert. Darauf reagierend sind einige der folgenden Workshops mit einer abstrakteren Schwarmagentengrafik durchgeführt worden. Die Kinder, so die These, sehen keine Darstellungen von ihnen bekannten Lebewesen und entwickeln damit keine mit diesen Lebewesen verbundenen Erwartungen an das Verhalten des Schwarms. Sie könnten dadurch freier in ihren Gedanken und Überlegungen werden, sich von der Grafik lösen. So ist der Schwarm in einigen Workshops als abstrakte punktähnliche Form (siehe Abbildungen 5.8(a)-(f)) angezeigt worden. Die These konnte nicht bestätigt werden, vielmehr zeigten Teilnehmer dieser Pilot-Workshops eine geringere Handlungsbereitschaft auf der Aktionsfläche sowie eine geringere Neugier an den dahinterliegenden Gesetzmäßigkeiten. Deshalb sind die Workshops zur Auswertung mit der Bildserie *Käferspinne* durchgeführt worden.

Eine weitere Beobachtung betrifft die Verwendung des Controllers Wii-Remote. Der Controller dient in den Pilot-Workshopreihen der Normalisierung des Schwarms, wenn ein Kind die Aktionsfläche verlässt und ein anderes sie daraufhin betritt. So wird für jedes Kind dieselbe Ausgangssituation des Schwarms, nämlich der Zustand *Beobachtung*, sichergestellt. Die Kinder diverser Workshops haben auf ihrem Weg, die Zusammenhänge des Systems zu entdecken, den Controller in der Hand der Moderatorin gesehen. Sie vermuten die Steuerung des Schwarms über den Controller, auch mehrfache Versicherung der Moderatorin hat sie nicht überzeugt. Dies ist kontraproduktiv, sollen die Kinder doch ihren Einfluss auf den Schwarm, auf die Technologie entdecken und gestalten lernen. Daher ist auf die Verwendung der Wii-Remote in den Auswertungsworkshops verzichtet worden.

### 6.3.2 Workshopkonzept

Die Teilnehmer sollen in jeder der zuvor beschriebenen Phasen unterstützt und motiviert werden, sich mit dem System zu beschäftigen. Die Kommunikation in der Gruppe und als Einzelner auf der Aktionsfläche soll gefördert werden. Dazu ist in diesem Vorhaben ein Workshopkonzept entwickelt worden, das eine Struktur für Ablauf und Inhalte von Workshops mit technischen Systemen gemäß *Moving Algorithm* bereitstellt.

Das Konzept ist für Gruppen von 10-12 Kindern im Alter von 8-12 Jahren vorgesehen. Die Dauer des Workshops beträgt drei Stunden und beinhaltet zwei Pausen. Die Pilot-Workshops haben gezeigt, dass dieser Zeitrahmen ein guter Kompromiss zwischen dem Sammeln von Eindrücken, dem Erlangen von Erkenntnissen und der Aufmerksamkeitsspanne der Kinder ist. Als wichtiges Mittel zur Reflexion und Ideengenerierung sind freie Unterhaltungen der Teilnehmer während des Workshops erwünscht und werden nur dahingehend reglementiert, dass stets nur ein Kind zur Zeit spricht. Inhaltlich werden die Unterhaltungen nicht kommentiert oder bewertet. Mit dem im Folgenden geschilderten Ablauf eines Workshops wird das Konzept vorgestellt, eine Zusammenfassung zeigt Tabelle 6.1.

Nachdem die Kinder sich zu Beginn des Workshops um die Aktionsfläche platziert haben, werden sie willkommen geheißen, alle Moderatoren werden namentlich als Ansprechpartner vorgestellt, es wird ein Überblick über den Workshopinhalt gegeben, die Kinder nach dem Zufallsprinzip in vier Gruppen aufgeteilt. Dabei wird lediglich auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis sowie auf die Gruppengröße geachtet. Zur Kennzeichnung können farbige Aufkleber dienen. Um einem etwaigen Konkurrenzdenken während der anfänglichen Interaktion vorzubeugen, werden vier statt der nötigen zwei Farben benutzt und die Einteilung wird zu diesem Zeitpunkt nicht näher erklärt.

Dann gibt es Raum für freie Interaktion, die Kinder *begegnen* dem technischen System. Jedes Kind kann für wenige Minuten ohne Vorgaben einzeln mit dem System interagieren. Der Übergang zur nächsten Phase *Gestalten* ist fließend. Während die ersten Kinder sich noch

Tabelle 6.1: Zeitplanung für Workshop

| Aktivität           | Beschreibung   | Dauer |
|---------------------|--|-------|
| 1. Empfang          | Die Kinder setzen sich um die Projektionsfläche. Farbliche Kennzeichnung der Kinder in vier Gruppen (grün, gelb, rot, blau). Kurze Begrüßung, Vorstellung der Betreuer.  | 15min |
| 2. Kennenlernen     | Jedes Kind agiert einzeln auf der Aktionsfläche für 2-3 Minuten.   | 30min |
| 3. Pause            | Erste Pause.   | 15min |
| 4. Gruppenarbeit    | Entwicklung eines zu erforschenden Themas. Trennung der Kinder in eine Grün-Gelb- und eine Rot-Blau-Gruppe. Eine Gruppe (rot-blau) bleibt bei der Installation und die andere Gruppe (grün-gelb) geht in einen separaten Raum mit den Laptoparbeitsplätzen. Arbeit in den Gruppen. | 30min |
| 5. Gruppeninterview | Die Gruppen werden einzeln interviewt.   | 30min |
| 6. Pause            | Zweite Pause.  | 15min |
| 7. Besprechung      | Rückkehr zum technischen System. Besprechung der Eindrücke. Gemeinsame Abschlusstätigkeit auf der Aktionsfläche.   | 30min |
| 8. Verabschiedung   | Klärung letzter Fragen der Kinder. Abschlussrunde, Gruppenfoto mit dem Schwarm, Verteilung der Zertifikate.  | 15min |

willkürlich bewegen und den Schwarm beobachten, fordern die Kinder, die als letztes die Aktionsfläche betreten, das System heraus, indem sie durch gezielte Bewegungen Reaktionen des Schwarms hervorrufen. Das System kann sie dabei überraschen oder erwartungsgemäß reagieren, worauf die Kinder mit neuen Bewegungen antworten. Dieses Ausprobieren wird von den zuschauenden Kindern mit Kommentaren und Vorschlägen begleitet. Durch offene Fragen des Moderators kann ein gezieltes Erforschen der Zusammenhänge zwischen den Bewegungen des Akteurs und dem Schwarm motiviert werden.

Das kann die Teilnehmer dazu anreizen ihre allgemeinen Vorstellungen in der nächsten Phase *Experimentieren* zu konkretisieren und Testszenarien zur Überprüfung zu entwickeln und durchzuführen. Die Kinder überprüfen konkrete Fragestellungen gezielt und gehen zu diesem Zweck einzeln auf die Aktionsfläche. Ruhige Kinder schlagen eher Lösungsstrategien vor, während extrovertierte Teilnehmer diese auf der Aktionsfläche testen. In einer kurzen Pause nach der Phase *Experimentieren* können Kinder ihre bisherigen Erfahrungen verarbeiten. Die Aufmerksamkeitsspanne der Kinder in diesem Alter ist kurz und viele sind aus ihrem Alltag nach einer Stunde eine Pause gewohnt.

Danach gibt es Gelegenheit zur genaueren Auseinandersetzung, es beginnt die Phase *Implementieren*. Es wird ein konkretes Thema<sup>3</sup> vorgeschlagen, dem die Kinder in zwei Teilgruppen nachgehen können. Die Kinder explorieren das vorgeschlagene Thema in Gruppen, da dies eine vergleichende Untersuchung von körperbasierter und klassischer Mensch-Maschine-Kommunikation, eine Auswertung der Softwarekomponenten im Sinne der Fragestellung zulässt. Zudem lässt sie eine tiefere Auseinandersetzung der Kinder mit dem Thema und untereinander zu.

Eine Gruppe untersucht das vorgeschlagene Thema an der Aktionsfläche des technischen Systems und hat deren Funktionalität zur Verfügung. Die Kinder können durch gezielte körperliche Interaktion und Diskussion versuchen das Thema zu erforschen. Die Gruppe wird im Folgenden Gruppe *Installation* genannt. Die andere Gruppe, die Gruppe *Laptop*, arbeitet im Unterschied dazu an Bildschirmarbeitsplätzen mit der Software des Systems. Dieser Gruppe steht ein Laptop für jeweils zwei Kinder zur Verfügung, so dass bei Bedarf in Kleingruppen oder in der gesamten Gruppe diskutiert werden kann. Die Applikation erlaubt jeweils die Modifikation relevanter Parameter für die Erkundung des Themas. Wenn die Kinder die Phase *Implementieren* abgeschlossen haben, wird die Aufmerksamkeit von der Installation bzw. der Software abwendet und die Unterhaltungen sich auf andere Themenbereiche erstrecken, kann die nächste Phase beginnen.

Darin werden beide Gruppen separat interviewt. Während des Gesprächs haben die Kinder Gelegenheit zur erneuten Reflexion und können ihre Erfahrungen außerhalb des Benutzungskontexts verbalisieren. Das Interview bestärkt die Kinder in der Phase *Erfassen*, ihre Eindrücke auszutauschen und mit ihren Erfahrungen zu verknüpfen. Sobald sich die Unterhaltung erschöpft hat, können die Kinder eine weitere kurze Pause machen. Danach kommen beide Gruppen bei der Installation zusammen. Es folgt eine Besprechung der Eindrücke, beide Gruppen haben Gelegenheit zum Austausch ihrer Ergebnisse.

Erfahrungsgemäß haben die Kinder nun Bedarf an erneuter körperlicher Bewegung, die durch eine gemeinsame Tätigkeit ermöglicht wird, in der sie das Erlernte anwenden können. Die gemeinsame Abschlussaktivität deutet das baldige Ende des Workshops an. Die Kinder versuchen dabei, ihre Eindrücke konkret anzuwenden und als Gruppe zu agieren. Der Vorschlag für die Tätigkeit wird entsprechend der inhaltlichen Ausrichtung des Workshops gewählt und vom Moderator kommuniziert. In den durchgeführten Workshops besteht die Tätigkeit darin, einen Schwarm aus den sich bewegenden Teilnehmern bzw. aus Geräuschen nach den Regeln der aktuellen Zuordnung der Klanguisgabe zu bilden.

---

<sup>3</sup>Generell ist die Absicht dieses Vorhabens, Kindern eine Umgebung bereitzustellen, die ohne solche Vorschläge durch betreuende Personen auskommt und die Kinder anregt, interessante Aspekte selbstständig zu erforschen. Um die Kriterien für eine solche Umgebung bestimmen zu können, ist es unerlässlich, potentielle Themen zur Auseinandersetzung vorzuschlagen und zu evaluieren, ob diese sich eignen.

Am Ende des Workshops versammeln sich die Kinder erneut um die Aktionsfläche. Letzte Fragen können besprochen werden, ein Gruppenfoto wird gemeinsam mit dem Schwarm zur Erinnerung gemacht, es werden Zertifikate für jeden Teilnehmer verteilt.

Zur Durchführung eines Workshops werden zwei Personen benötigt. Ein Moderator ist erster Ansprechpartner für die Kinder, erklärt den Ablauf und unterstützt die Kinder gegebenenfalls durch offenes Nachfragen. Ein weiterer Moderator ist Ansprechpartner und moderiert eine Gruppe während der Gruppenarbeitsphase. Die Moderatoren können außerdem die Interviews durchführen, sofern sie als herkömmliche Gruppengespräche zur Reflexion des Erlebten und nicht zur späteren Auswertung gedacht sind. In diesem Vorhaben sind die Interviews deshalb von zwei weiteren Personen geleitet worden.

## 6.4 Konstruktion der Untersuchungsumgebung

Das im letzten Kapitel vorgestellte Workshopkonzept und die Methoden zur Datenerhebung und -analyse, werden in diesem Kapitel umgesetzt und ein Vorgehen entwickelt.

Zur Auswertung der entwickelten Softwarekomponenten wurde jeweils ein Workshop mit *Boids Regeln* und *Swarming Sounds* durchgeführt und ausgewertet. Generelle Anpassungen für jeden Workshops und Informationen zur Durchführung werden gegeben. Anschließend wird das empirische Vorgehen der Datenerhebungsmethoden in die Workshopstruktur eingebettet. Die in den Workshops erhobenen Daten werden mit der objektiven Hermeneutik ausgewertet, das dazu entwickelte empirische Vorgehen schließt dieses Kapitel.

### 6.4.1 Umsetzung des Workshopkonzepts

Die Umsetzung des Workshopkonzept (siehe Kapitel 6.3.2) in beiden Workshops wird im Folgenden beschrieben. Die Erläuterung der Workshops orientiert sich an dem in Tabelle 6.1 zusammengefassten Ablauf.

In einem Workshop explorieren die Kinder neben der Installation die Komponente *Boids Regeln*. Die inhaltlichen und strukturellen Merkmale dieses Workshops werden zuerst beschrieben. Es folgt das Vorgehen im zweiten Workshop, in dem die Kinder die Installation und die Komponente *Swarming Sounds* kennenlernen. Das Vorgehen und die Inhalte beider Workshops variieren durch deren thematische Ausrichtung und Schwerpunktsetzung, auf die in beiden Abschnitten jeweils zuerst eingegangen wird. Die Formulierung von zwei Themenvorschlägen folgt, die die Kinder zum Erforschen des technischen Systems *Der Schwarm* und schließlich zur Anwendung ihrer Eindrücke motivieren soll. Im Anschluss werden generelle Informationen zu jedem Workshop gegeben.

### Vorgehen im Workshop *Boids Regeln*

Die Komponente *Boids Regeln* implementiert den Aspekt Algorithmik von *Moving Algorithm*. Die in der Auswertung dieses Workshops interessante Frage bezieht sich darauf, ob die Teilnehmer ein Verständnis für das der Schwarmverhaltenssimulation zugrunde liegende Regelwerk entwickeln.

Die Formulierung des Themenvorschlags in der Gruppenarbeitsphase muss offen, neutral und dem Alter der Teilnehmer angemessen sein und lautet: *Ihr habt jetzt Zeit, Euch genauer mit dem Schwarm zu beschäftigen. Findet dabei heraus, welchen Regeln der Schwarm folgt.*

Bei der Vorbereitung des Workshops zur Auswertung der Komponente *Boids Regeln* (siehe Kapitel 5.5.2) war es wichtig, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Gruppen (*Installation* und *Laptop*) zu gewährleisten. Die Darstellung der Schwarmagenten als *Käferspinne* soll die bei der Installation verbleibende Gruppe während der Gruppenarbeitsphase nicht ablenken. Die Gruppe an den Laptoparbeitsplätzen hat eine neutrale, technisch anmutende Anzeige der Agenten. Für die Phase der selbstgesteuerten Gruppenarbeit (Punkt 4 in Tabelle 6.1) wird die Darstellung der Schwarmagenten deshalb für beide Gruppen vereinheitlicht. Abbildung 6.1(a) zeigt die Darstellung der Schwarmagenten in der Simulation von *Boids Regeln* für die Gruppe *Laptop* und Abbildung 6.1(b) die Darstellung auf der Aktionsfläche für die Gruppe *Installation*. Die inverse Farbgebung ist durch den unterschiedlichen Hintergrund zu erklären, der bei der Software weiß und bei der Projektion schwarz ist. Im Ergebnis sehen beide Gruppen eine schwarz-weiße Darstellung von Schwarmagenten und Hintergrund.

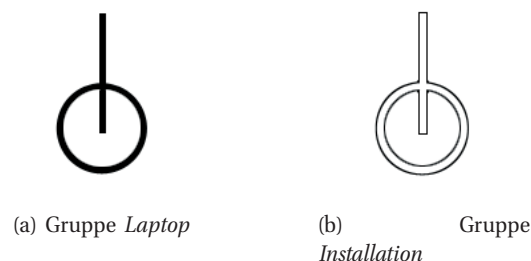


Abbildung 6.1: Schwarmagentengrafiken für *Boids Regeln*-Workshop

Nach der Gruppenarbeitsphase und den Interviews werden die Kinder dazu motiviert, ihre Erfahrungen zu teilen und im Anschluss über die Algorithmik der Schwarmsimulation und über Schwärme, die sie aus der Natur kennen, zu diskutieren. Sie können Verknüpfungen zu ihren bisherigen Erfahrungen herstellen.

Der Vorschlag zur gemeinsamen Abschlusstätigkeit baut auf die Anwendung ihrer Eindrücke während des Workshops: *Nun hattet Ihr fast zwei Stunden Zeit, Euch mit dem Verhalten von Schwärmen zu beschäftigen und Regeln dafür herauszufinden. Jetzt könnt Ihr hier versuchen, nach diesen Regeln einen eigenen Schwarm zu bilden.*

Am Workshop zur Auswertung der Softwarekomponente *Boids Regeln* nehmen 13 Kinder im Alter von 9 und 10 Jahren teil. Unter den Teilnehmern sind 5 Mädchen und 8 Jungen. Der Workshop fand im Januar 2009 im TAB-Gebäude der Universität Bremen statt, *Der Schwarm* ist im Foyer des Gebäudes aufgebaut. Die Teilnehmer besuchen zwei Klassen derselben Grundschule in Bremen und kennen sich teilweise untereinander, flüchtig sind alle miteinander bekannt. Die Kinder werden von der Schuldirektorin und zwei Lehrkräften begleitet, die während des Workshops zuschauen.

### **Vorgehen im Workshop *Swarming Sounds***

Die Softwarekomponente *Swarming Sounds* stellt eine weitere sensuelle Zugangsmöglichkeit zu *Der Schwarm* über Klänge zur Verfügung. Im Mittelpunkt der Auswertung steht die Untersuchung der Wirkung der Klängausgabe im Hinblick auf die Immersion der Teilnehmer.

Die Klängausgabe wird zu Beginn der Gruppenarbeitsphase aktiviert, nachdem die Kinder bereits einen ersten Eindruck vom Schwarm haben. Darin werden sie mit folgender Formulierung zur Auseinandersetzung motiviert: *Ihr habt jetzt Zeit, Euch genauer mit den Geräuschen des Schwarms zu beschäftigen. Findet heraus, welchen Regeln die Klängausgabe des Schwarms folgt.*

Nach den Interviews und der Diskussion mit den Teilnehmern über ihre Erfahrungen wird vom Moderator zur gemeinsamen Tätigkeit übergeleitet. Hier wird Raum eröffnet, das Gelernte anzuwenden und in der Gruppe darüber zu diskutieren. Im *Swarming Sounds*-Workshop lautet die Formulierung dazu: *Nun hattet Ihr fast zwei Stunden Zeit, Euch mit dem Schwarm und seinen Klängen zu beschäftigen und habt Regeln dazu herausgefunden. Jetzt könnt Ihr versuchen, nach diesen Regeln einen eigenen Schwarm aus Geräuschen zu bilden.*

Der Workshop unter Verwendung der Softwarekomponente *Swarming Sounds* hatte 9 Teilnehmer mit 3 Jungen und 6 Mädchen. Der Veranstaltungsort ist das Gebäude GW2 auf dem Campus der Universität Bremen gewesen, in dem *Der Schwarm* im ZIM<sup>4</sup> aufgebaut ist. Der Workshop hat im März 2010 stattgefunden. Die Kinder besuchten zu diesem Zeitpunkt die vierte Klasse einer Schule im Bremer Umland und wurden von zwei Lehrkräften begleitet, die nicht aktiv ins Geschehen eingegriffen haben. Dieser Workshop ist nach dem zuvor beschriebenen Konzept durchgeführt worden (siehe Tabelle 6.1).

### **6.4.2 Empirisches Vorgehen bei der Datenerhebung**

In allen Workshops werden zum Zwecke der Vergleichbarkeit dieselben Daten erhoben und ausgewertet. Für die Datenerhebung während der Workshops wird die Methode der

---

<sup>4</sup>Zentrum für Interaktion mit Digitalen Medien

teilnehmenden Beobachtung in Koppelung mit dem narrativen Interview eingesetzt (siehe Kapitel 6.2.1) und das empirische Vorgehen im Folgenden beschrieben.

Das narrative Interview wird in diesem Vorhaben mit einer Gruppe von Teilnehmern durchgeführt. Das sprachliche Ausdrucksvermögen der Kinder ist in diesem Alter unterschiedlich weit entwickelt. In Gruppeninterviews kann dies ausgeglichen werden, außerdem kann es während des Interviews zu ergebnisrelevanten Diskussionen über das Erlebte kommen. In jedem Workshop finden zwei zeitgleiche Interviews statt, die direkt im Anschluss an die Gruppenarbeitsphase geführt werden. Die zwischenzeitliche Aufteilung der Gruppe in zwei Untergruppen erfordert dieses Vorgehen. Primärer Gegenstand der Interviews sind die Eindrücke der Kinder während der Gruppenarbeitsphasen. Mit diesem Vorgehen werden die Erinnerungen der Kinder nicht durch weitere Erfahrungen überlagert. Mein empirisches Vorgehen basiert auf dem narrativen Interview. Im Unterschied zu einer vollständig ergebnisoffenen Herangehensweise wird das Thema des Interviews in meinem Vorhaben auf die eingehende Fragestellung eingegrenzt, was beispielsweise im fokussierten Interview wiederzufinden ist. Für beide Interviews im *Boids Regeln*- und *Swarming Sounds*-Workshop sind jeweils Leitfäden entwickelt worden (siehe Anhang A.1). Sie implementieren den Ablauf von narrativen Interviews und dienen den Interviewern als Orientierung. Die Leitfäden enthalten eine Eingangsfrage – im narrativen Interview die Erzählaufforderung darstellend –, die das Thema auf die untersuchungsrelevanten Inhalte lenkt. Das darauf folgende erzählgenerierende Nachfragen, insbesondere das externe Nachfragen, ist ebenfalls auf die inhaltliche Ausrichtung der Workshops und die in diesem Vorhaben eingehenden Fragen abgestimmt. Zum Abschluss wird die Frage gestellt, was den Kindern während des Workshops am besten gefallen habe. So gehen die Teilnehmer mit positiven Erinnerungen aus dem Interview.

Die Interviews werden von Personen durchgeführt, die im Workshop bisher nicht in Aktion getreten sind, genauer den teilnehmenden Beobachtern. Die Moderatoren haben bereits einen Eindruck hinterlassen und können als erklärende und weisungsbefugte Akteure durch ihre Präsenz das Verhalten der Interviewten beeinflussen. Zudem könnten sich die Kinder bei Anwesenheit der Moderatoren eventuell in einer Prüfungssituation empfinden. Die Dokumentation der Interviews erfolgt mit Diktiergeräten sowie handschriftlichen Notizen des Interviewers. Nach dem Workshop werden die Audiodaten in Anlehnung an die von Bergmann (1988) formulierten Regeln transkribiert. Die Regeln sind auch bei Rosenthal (2005, S. 95) zu finden. Die verwendeten Transkriptionszeichen sind in Anhang A.2 aufgeführt.

Bei dem empirischen Vorgehen für die Methode der teilnehmenden Beobachtung wird die Variante der passiv teilnehmenden Beobachtung angewendet. Der Beobachter ist im Untersuchungsraum und greift im Unterschied zur Variante der aktiv teilnehmenden Beobachtung nicht ins Geschehen ein. Bei den Workshops werden zwei Beobachter eingesetzt, um eine Beobachtung beider Teilgruppen während der Gruppenarbeitsphase zu gewährleisten. Die Beobachter nehmen zu Beginn der Workshops neben dem Aktionsfeld Platz und



protokollieren das Geschehen. Nach der Gruppenarbeitsphase führen sie als bisher neutrale, nicht in Aktion getretene Teilnehmer die Interviews durch. Sobald die Gruppen sich im weiteren Workshopverlauf wieder bei der Installation versammelt haben, nehmen sie die teilnehmende Beobachtung wieder auf. Das ermöglicht eine vollständige Datenerhebung während der Arbeitsphasen, in denen die Teilnehmer mit der Installation agieren.

### 6.4.3 Empirisches Vorgehen bei der Datenanalyse

Das in beiden Workshops erhobene Datenmaterial wird mit der Feinanalyse aus der objektiven Hermeneutik (siehe Kapitel 6.2.2) ausgewertet. Das dazu entwickelte Vorgehen wird im Folgenden beschrieben.

Um Textstellen für die Auswertung mit der Feinanalyse zu gewinnen, geht dieser eine sequentielle Betrachtung des gesamten Datenmaterials voraus. Dieser Schritt dient der ersten Orientierung und Bewertung der Texte und ist in einer Gruppe von drei Personen durchgeführt worden. Der Text wird bei dieser sequentiellen Analyse in Segmente aufgespalten. Das Ergebnis sind Textstellen, die zur weiteren Untersuchung mit dem Verfahren der Feinanalyse vorgesehen sind. Die Auswahlkriterien liegen einerseits in der Vermutung, eine Textstelle könne mehr als die bisher erzielten Ergebnisse enthalten. Andererseits muss die Textstelle lang genug für eine Feinanalyse sein, sich in Segmente unterteilen lassen. Die Kinder haben in den Interviews selten Äußerungen gemacht, die mehr als die Länge eines Halbsatzes haben. Die längeren Äußerungen sind deshalb fast alle feinanalysiert worden. Die für die anschließende Feinanalyse vorgesehenen Textstellen sind von einer Person segmentiert und in einer Gruppe wechselnder Mitglieder interpretiert worden. Die Zusammensetzung der Gruppe hat sich während der Auswertung einer Sequenz nicht geändert, wohl aber über den Zeitraum der Analyse sämtlicher Sequenzen. Sie besteht aus drei bis sechs Personen mit Hintergrund in unterschiedlichen Fachgebieten. Zu jeder Gruppe gehören wenigstens eine Person mit technischem Hintergrund und eine Person aus der Soziologie mit mehrjähriger Erfahrung in der objektiven Hermeneutik.

## 6.5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse<sup>5</sup> der Evaluation beschrieben. Die Darstellung umfasst, anders als in den Sozialwissenschaften üblich, nicht den Vorgang der Analyse. Dieser

<sup>5</sup>Die Transkripte der Interviews und Beobachtungsprotokolle sind in Anhang B zu finden. Da für meinen Ansatz vor allem einzelne Aussagen und gruppenspezifische Entwicklungen interessant sind, wird auf die Kennzeichnung der einzelnen Kinder verzichtet. Im Material kann eine Äußerung daher zwar auf das Geschlecht des Kindes, aber nicht auf das jeweilige Kind selbst zurückgeführt werden. In der Darstellung der Ergebnisse werden wiederum Pseudonyme verwendet, um die Lesbarkeit zu erhöhen und einen Bezug zur Untersuchungsumgebung herzustellen.

dient der Nachvollziehbarkeit des empirischen Vorgehens und des Erkenntnisprozesses der Auswertenden, um Aussagen über die Methoden selbst treffen zu können. Dieses Vorhaben fokussiert stattdessen die Beschreibung der Ergebnisse gemäß der inhaltlichen Ausrichtung der Workshops und der Fragestellungen. Dadurch werden die Zwischenergebnisse im Analyseverfahren nicht in jedem Detail transparent, es wird jedoch ein detaillierter Überblick über die in diesem Vorhaben relevanten Ergebnisse erzielt. Die Struktur der Ergebnisbeschreibung orientiert sich dabei nicht an den Workshops, in denen die Daten erhoben wurden. Vielmehr sind die Ergebnisse anhand ihrer Inhalte strukturiert, die oftmals durch Daten beider Workshops belegt werden. Einzelne Ergebnisse, die auf der Auswertung eines einzelnen Workshops beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bevor die Struktur für dieses Kapitel dargelegt wird, rufen wir uns noch einmal ins Gedächtnis, wo wir in unserem Vorhaben stehen und welche Methoden zur Auswertung benutzt werden. Abbildung 6.2 zeigt, wie *Moving Algorithm* mit *Der Schwarm* umgesetzt worden ist und die Daten in Workshops erhoben und schließlich ausgewertet worden sind.

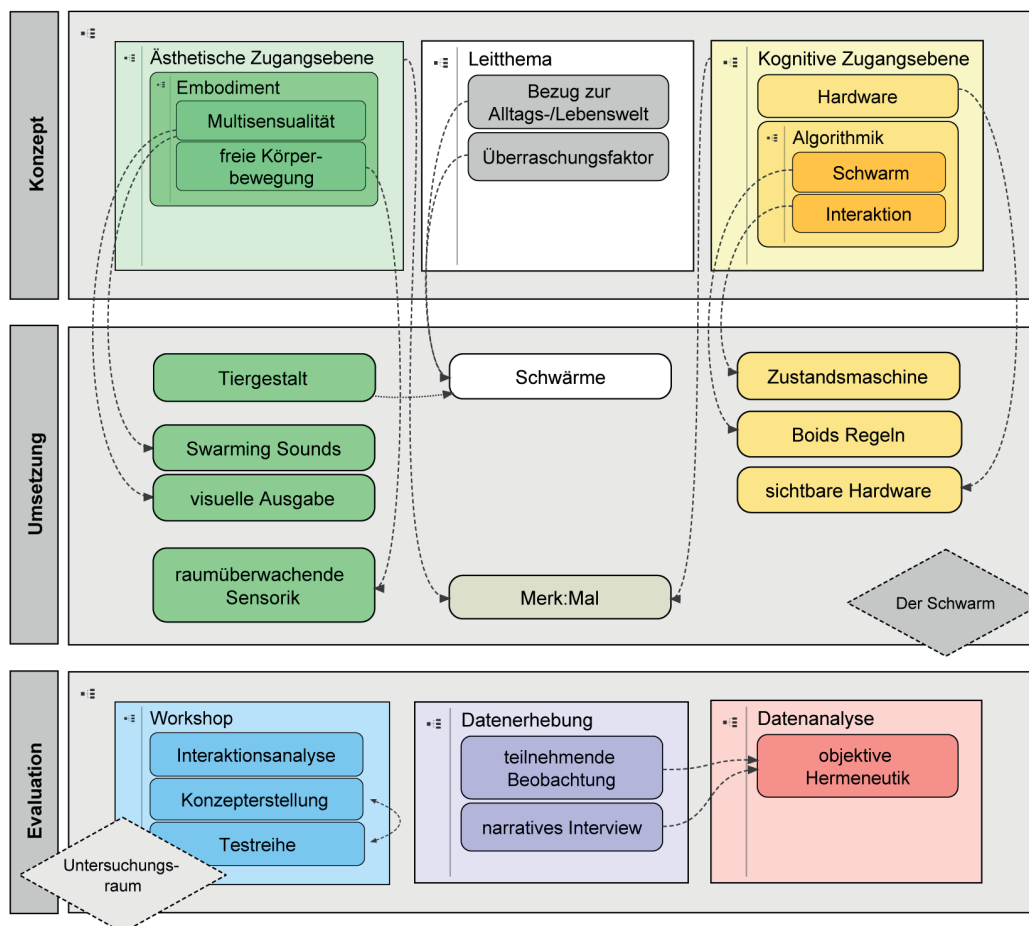


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung von Konzept, Umsetzung und Evaluation des Vorhabens

Nach einer kurzen Beurteilung des Workshopkonzepts wird bei der Darstellung der Ergebnisse auf die Resultate aus den Interviews und der teilnehmenden Beobachtung im Hinblick auf die Eignung der Softwarekomponente für die Einordnung zu den Phasen Diving-in und Stepping-out nach Ackermann (siehe Kapitel 3.1.2) eingegangen. Die Daten werden dahingehend überprüft, ob gemäß der Zuordnung bei den Teilnehmern eine Immersion bzw. Reflexion und inwieweit der Wechsel zwischen beidem stattgefunden hat. Weitere Resultate wie die Bedeutung der Schwarmagentengestaltung oder geschlechtsspezifische Beobachtungen werden im Anschluss vorgestellt. Die Darstellung der Zitate aus den Beobachtungsprotokollen und Interviewtranskripten erfolgt nach den in Anhang A.2, Tabelle 1 aufgeführten Regeln, nach denen beispielsweise ein Komma ein kurzes Innehalten im Sprachfluss markiert.

Zunächst hat sich das entwickelte Workshopkonzept (siehe Kapitel 6.3.2) bewährt. Es hat die Kinder in ihren Interaktionsphasen unterstützt und in Dauer und Inhalt den Erwartungen standgehalten. Die Interaktionsphasen der Kinder sind in den einzelnen Programmpunkten einschließlich der Pausen aufgegriffen worden, so dass die Aufnahmefähigkeit und die Bedürfnisse der Kinder berücksichtigt sind und sie sich auf die Geschehnisse im Workshop einlassen können. Die Kinder zeigen in allen Workshops Neugier an dem System *Der Schwarm* und Motivation, es genau zu erforschen. Bis zum Ende des Workshops haben die Kinder Interesse am Thema und beteiligen sich aktiv. Die Aufmerksamkeit der Kinder richtet sich während des Workshops auf die Inhalte, in den letzten Augenblicken fiel es den Kindern jedoch zunehmend schwer, sich zu konzentrieren. Die Dauer des Workshops ist ohne weitere Pausen nicht zu verlängern. Der Einbeziehung unvorhergesehener Unterbrechungen in die zeitliche Planung kann noch größere Bedeutung zugesprochen werden. In allen Workshops lassen sich die verschiedenen Interaktionsphasen identifizieren, die bereits als Ergebnis aus den Pilot-Workshopreihen hervorgingen (siehe Kapitel 6.3.1).

### 6.5.1 Erkennen immersiver Handlungen

Die Ergebnisse zur Immersion der Teilnehmer sind aus der Analyse der Beobachtungsprotokolle gewonnen worden, da die Kinder in den Interviews altersbedingt nur in geringem Umfang Aussagen zu ihrem eigenen Erleben machen konnten. Die Analyse der Beobachtungsprotokolle weist eine hohe Immersion bei den Teilnehmern der Workshops nach, wie im Folgenden gezeigt werden soll.

Vor Beginn aller Workshops, wenn die Kinder sich um die Aktionsfläche versammeln, richten sich ihre Blicke auf die Lichtpunkte, und einzelne Kinder versuchen sie mit Händen oder Füßen zu berühren. Die Konzentration auf die Lichtpunkte setzt sich während der freien Interaktion mit dem Schwarm fort. In allen Workshops haben die sich bewegenden Lichtpunkte zunächst eine große Faszination auf die Teilnehmer ausgeübt.

Die Teilnehmer haben die höchste Immersion gezeigt, wenn sie frei mit dem Schwarm interagieren konnten. Zwei Situationsbeschreibungen aus dem Protokoll machen deutlich wie stark Kinder, in diesem Fall Paul<sup>6</sup> und Lisa, auf der Aktionsfläche in die Situation eintauchen:

„Paul [...] rennt über die Fläche. Dann bleibt er stehen und beobachtet. Er rennt abrupt los und versucht, mit den Füßen auf die Lichtpunkte zu treten. Der Schwarm ist rot. Der Junge dreht sich im Kreis und wedelt schnell mit den Armen. Er wirft sich auf den Boden und tritt einen Lichtpunkt mehrmals an einer Stelle. Er redet nicht, hat den Mund geöffnet und wirkt angestrengt damit beschäftigt, auf die Lichtpunkte zu treten.“

*(Beobachtungsprotokoll Boids Regeln Workshop, Zeile 7)*

„Lisa nähert sich dem Schwarm langsam und läuft um ihn herum. Sie verfolgt ihn, lacht und fängt dann an zu stampfen und tritt auf die Lichtpunkte. Sie läuft dem Schwarm hinterher und dann vor ihm weg. Sie redet nicht und fixiert den Schwarm mit ihren Blicken. Die anderen Kinder reden vereinzelt: 'sie wollen dich umzingeln'.“

*(Beobachtungsprotokoll Boids Regeln Workshop, Zeile 5)*

In beiden Situationen ist neben der körperlichen Aktivität die Mimik das deutlichste Zeichen für die Immersion der Kinder. Lisa und Paul blicken auf den Schwarm und sprechen beide nicht, ihre volle Konzentration liegt auf dem Schwarm und ihrer eigenen Bewegung. Beide Kinder sind fixiert auf die Geschehnisse beim Schwarm, der Blick fokussiert die Lichtpunkte. Sie konzentrieren sich auf die Interaktion, die Welt außerhalb der Projektionsfläche ist nicht existent. Die Immersion ist bei beiden Kindern hoch und konnte in ähnlichen Situationen auch bei anderen Teilnehmern festgestellt werden.

Insbesondere freie Körperbewegung hat eine zentrale Bedeutung zur Steigerung der Immersion, wie das Foto<sup>7</sup> in Abbildung 6.3 zeigt. Der mit dem Schwarm interagierende Junge auf der Aktionsfläche bewegt sich schnell, sein Blick ist auf den Boden, also auf den Schwarm gerichtet. Er wirkt vertieft in die Interaktion mit dem Schwarm.

Die zuschauenden Kinder, insbesondere die, die bereits mit dem Schwarm interagiert haben, beteiligen sich aktiv und zeigen ebenfalls ein immersives Verhalten. Das äußert sich in Zurufen an das Kind auf der Aktionsfläche, wie „Die mögen dich Petra“ und „Das sind Ameisen“. Die Aussage bezieht sich auf den vermeintlich eigenständigen Charakter des Schwarms und kennzeichnet das Eintauchen der Zuschauer in die Situation. Dem Schwarm werden menschen- oder tierähnliche Eigenschaften, Empfindungsvermögen zugeschrieben. Die Feststellung wird häufig mit einer Handlungsaufforderung an den Akteur gekoppelt, die aus der eigenen Beobachtung oder eigenen Erfahrung aus der Interaktion mit dem Schwarm

<sup>6</sup>Alle Namen von Workshopteilnehmern wurden anonymisiert, das Geschlecht wurde beibehalten. Der geänderte Name ist kein Hinweis auf die Herkunft oder das Milieu des Kinds.

<sup>7</sup>Bei der Auswahl der Fotos wurde darauf geachtet, dass die Teilnehmer nicht von vorne gezeigt oder unkenntlich gemacht sind.



Abbildung 6.3: Workshopteilnehmer interagiert mit *Der Schwarm*

motiviert sein kann. Die Ausrufe „Du musst sie mal anfassen, das fühlt sich richtig komisch an“ und „Die eine hängt fest, Simon du musst sie retten“, sind Beispiele. Sie zeigen, dass die Kinder in die Situation eintauchen und sich durch ihre Emotionen leiten lassen. Die Situation ist für die Kinder wichtig und hat Bedeutung. Das belegt die Feststellung, der Schwarm bedürfe Hilfe, gekoppelt mit der Aufforderung, ihn zu retten.

Die Beobachtungen der zuschauenden Kinder beeinflussen die Handlungen der Akteure auf der Aktionsfläche. Es werden Pläne entwickelt, ein Mädchen sagt, es wolle einen Käfer auf die Hand nehmen und ihm einen Namen geben, sobald es die Aktionsfläche betritt. Dies macht deutlich, dass die Kinder dem Schwarm ein Eigenleben zuschreiben. Die Lichtpunkte sollen in der Konsequenz Namen tragen, wie Menschen oder Haustiere. Auch hier wird, wie im vorhergehenden Beispiel, die Bedeutung des Schwarms für die Kinder deutlich.

Bezugnehmend auf die Fragestellungen, die in Kapitel 6.1 beschrieben sind, ist die hohe Immersion der Kinder insbesondere auf zwei Aspekte zurückzuführen. In *Moving Algorithm* ist freie Körperbewegung mit der Annahme herangezogen worden, dass sie die Immersion fördert (siehe Kapitel 4.2 und 4.3). Die ganzkörperliche Bewegung der Kinder auf der Aktionsfläche wirkt sich, so hat die Auswertung gezeigt, förderlich auf eine Immersion und damit ein Diving-in aus. Die Teilnehmer erleben das technische System mit ihrem ganzen Körper. Freie Körperbewegung ist ein geeignetes Mittel zur Steigerung der Immersion, zur Generierung von User Experiences (siehe Kapitel 3.3).

Der Aspekt der Multisensualität wurde in *Moving Algorithm* neben der freien Körperbewegung als adäquate Implementierung einer sinnlich-ästhetischen Zugangsebene betrachtet. Dies konnte durch die Auswertung bestätigt werden. Die Komponente *Swarming Sounds* hat

die emotionalen Reaktionen auf die visuelle Ausgabe und damit die Immersion verstärkt. Die Visualität spielt gegenüber der Hörbarkeit jedoch eine übergeordnete Rolle, die die Klangausgabe steigern, aber in *Der Schwarm* nach unseren Ergebnissen nicht ersetzen kann.

Dem Aussehen der Agenten ist eine hohe Bedeutung für die Erfahrung der Kinder zuzuschreiben. Die visuelle Ausgabe auf der Projektionsfläche als Käfer hat zu emotionalen Reaktionen – Zuneigung wie Ablehnung – seitens der Kinder geführt, was die Immersion fördert. Die tierähnliche Gestalt der visuellen Ausgabe eignet sich zur Hervorlockung von Emotionen. Die Verwendung von Schwärmen – als Umsetzung des Leitthemas in *Moving Algorithm* (siehe Kapitel 4.3.1) – ruft zusätzliche Assoziationen hervor und scheint die Reaktion noch zu verstärken. Die dauerhafte Motivation zur Auseinandersetzung soll nach *Moving Algorithm* der Überraschungsfaktor gewährleisten, der in der Beispielapplikation mit Schwarmverhalten realisiert ist (siehe Kapitel 4.3.1). Die Kinder zeigen sich während des gesamten Workshops interessiert an dem technischen System. Ob dies auf die Verwendung von Schwarmverhalten zurückzuführen ist, kann nicht mit Sicherheit belegt werden, weil die Mitwirkung anderer Faktoren, wie das Workshopkonzept und die visuelle Darstellung der Agenten, nicht ausgeschlossen werden kann. Die Reaktionen der Kinder auf den Schwarm, vor allem dessen Zustandsmaschine (siehe Kapitel 4.3.2), beinhalten zahlreiche Momente der Überraschung. Sie geben Anlass zu der These, dass sich Schwarmverhalten zur Implementierung von überraschenden Momenten in *Moving Algorithm* eignet.

### 6.5.2 Indikatoren reflexiver Denkprozesse

Die Ergebnisse zur Reflexion beruhen hauptsächlich auf der Analyse der Gruppeninterviews. Erkenntnisprozesse können, anders als das Eintauchen in eine Situation, mithilfe von Interviews ermittelt werden. Die Entwicklung einer Distanz zum eigenen Handeln und die Reflexion der Erfahrung konnten bei beiden Workshops gleichermaßen festgestellt werden.

Im *Boids Regeln* Workshop haben die Kinder der Gruppe *Laptop* und der Gruppe *Installation* trotz gleichen Themenvorschlags zur Erkundung unterschiedliche Interessen gezeigt. Während die Gruppe *Laptop* den Algorithmus zur Simulation des Schwarmverhaltens erforschte und ihre Beobachtungen mit bisherigem Wissen über die Tierwelt verglich, hat die Gruppe *Installation* sich auf die Erforschung des Regelwerks der Interaktion zwischen Akteur und Schwarm sowie den Aufbau und das Zusammenspiel der technischen Geräte konzentriert. Der Unterschied ist interessant: Die Gruppe *Installation* scheint sich selbst als Teil des Schwarms bzw. der gesamten Installation zu begreifen. Die Gruppe *Laptop* nimmt sich durch die Handhabung der Software und die Trennung von Schwarm und Akteur, von Programmteil und Computerbenutzer, nicht als Teil des Schwarms wahr. Trotz der unterschiedlichen inhaltlichen Ausrichtung haben beide Gruppen ihre Handlungen reflektiert und einen Teil des Regelwerks von *Der Schwarm* erforscht.

Im Interview der Gruppe *Laptop* hat Emma das Verhalten des Schwarms mit ihren Beobachtungen aus einem Film verglichen:

„Bei unserer Erde, das ist halt so ein Film, dass-, bilden so Elefanten auch so eine Gruppe und dann können sie halt auch nicht von Löwen so angegriffen werden und bilden halt so einen Ring und nehmen die Jungtiere in die Mitte“

(Emma, *Boids Regeln Workshop, Gruppe Laptop, Zeile 81*)

Die Analyse der Sequenz hat ergeben, dass Emma einen Schwarm als Gruppe von Individuen sieht. In einer Gruppe besteht, so Lisa, die Notwendigkeit von Verhaltensregeln, von denen sie eine genaue Vorstellung hat. Eine Regel zum Verhalten von Schwärmen meint sie in einer Elefantenherde erkannt zu haben und erläutert diese. Emma beschäftigt sich mit den Zusammenhängen von Gruppenverhalten. Es hat eine Abstraktion der Erfahrungen mit *Der Schwarm* und eine Übertragung in die Lebenswelt stattgefunden. Das Kind verknüpft die neuen Eindrücke mit älteren Erfahrungen. Der virtuelle Schwarm wird mit der realen Tierwelt gleichgesetzt.

Eine weitere Sequenz von Neele aus derselben Gruppe zeugt ebenfalls von einer Vorstellung über die Regeln eines Schwarms:

„Ja aber, wenn man in die Mitte macht ganz wenig, dann gehen die ja alle auseinander, ist auch kein Schwarm mehr, und es ist ja auch kein Schwarm mehr wenn alle ganz in die Mitte gehen“

(Neele, *Boids Regeln Workshop, Gruppe Laptop, Zeile 159*)

Das erste Nennung von „in die Mitte“ referenziert einen Bereich der Software *Boids Regeln*, in dem die Schwarmregel *Kohäsion* erforscht werden kann. Die Tätigkeit 'ganz wenig machen' im selben Teilsatz beschreibt die Einstellung einer geringen Priorität für die Regel Kohäsion im Verhältnis zu den anderen beiden Schwarmregeln. Neele beschreibt die Wirkung, die Schwarmagenten verteilen sich und seien kein Schwarm. Die Wirkung des anderen Extrems erklärt sie anschließend. Nach der Feinanalyse hat Neele eine genaue Vorstellung von der Kohäsion-Regel, das Prinzip von Ursache und Wirkung ist ihr bewusst. Sie beschreibt die Auswirkungen der Regel sehr präzise, indem sie die Reaktion des Schwarms benennt. Neele hat die Existenz weiterer Regeln erkannt, auch wenn sie dazu keine Aussage treffen kann. Die Einstellung beider Extrema erzeugt, so Neele, keinen Schwarm. Sie impliziert damit, es müsse noch andere Regeln geben, damit ein Schwarm gebildet werden könne, da die alleinige Einstellung der Kohäsion nicht ausreiche. Es hat ein Abstraktionsprozess stattgefunden, da Neele einerseits die Funktion der Software *Boids Regeln* und das Verhalten der abstrakt aussehenden Agenten beschreibt und andererseits Bezüge zu einem Schwarm herstellt. Die Verwendung von Füllwörtern wie „ja“, „aber“ und „ganz“ ist ein Indiz für die Selbstverständlichkeit, mit der Neele die Zusammenhänge beschreibt und sie verstanden hat.

Die Aussage von Sarah aus der Gruppe *Installation* des *Boids Regeln* Workshops macht das anders gerichtete Interesse dieser Gruppe im Unterschied zur Gruppe *Laptop* deutlich:

„Da ist ja auch so ein **Kasten** und daneben ist da ein Spiegel und dann, vielleicht wird das 'dann ja', hmm also diese Punkte werden von diesem **Kasten** dahin gesetzt und dann werden die, irgendwie, 'so halt' wieder **abgeprallt** und 'so was'“  
(Sarah, *Boids Regeln-Workshop*, Gruppe *Installation*, Zeile 147)

Sarah spricht zunächst von sichtbaren Dingen, dem Projektor, Spiegel und den Lichtpunkten. Sie sieht den Aufbau von Beamer und Spiegel verantwortlich für die Lichtpunkte. Die Bedeutung des letzten Teilsatzes lässt sich aus dem Beobachtungsprotokoll ableiten, die Lichtpunkte ändern bei Anwendung der Regel *Separation* ihre Bewegungsrichtung um 180°. Diese Bewegung beschreibt Sarah mit 'abprallen' und benennt damit eine Regel des Schwarmalgorithmus. Sie erkennt die Bedeutung der Hardware für die Installation, wo ihr Hauptinteresse liegt, und sie zeigt eine hohe Motivation, die Zusammenhänge zu begreifen. Mit ihren Schlussfolgerungen, die auf die sichtbaren Elemente der Installation Bezug nehmen, hat Sarah recht, sie scheitert jedoch bei der anschließenden Entschlüsselung des Schwarmverhaltens. Sarah muss das Zusammenspiel der konkreten Hardware nachvollziehen, um auf den abstrakten Schwarmalgorithmus zu stoßen. Der Gedanke scheint während der Aussage entwickelt zu werden, worauf die zahlreichen Pausen und Phrasen wie „dann ja“, „hm“ und „so halt“ hindeuten. Erst im Interview scheint sie Gelegenheit zu haben, sich von dem Aufbau der Installation zu lösen und Thesen zum Verhalten des Schwarms aufzustellen.

Charlotte aus derselben Gruppe stellt im Interview Thesen zur Funktionsweise der Sensorik auf:

„Also ich glaube auch, dass die auf, **Bewegung** reagieren und auch auf **Lautes** (l) zum Beispiel wenn man jetzt nen Laut macht, dann drehen die sich im Kreis 'oder so'“  
(Charlotte, *Boids Regeln Workshop*, Gruppe *Installation*, Zeile 58)

Die Interaktion steht im Mittelpunkt des Interesses, die zwei formulierten Thesen werden in dieser Sequenz nicht hinterfragt. Die Kausalbeziehung zwischen dem Verhalten des Akteurs und dem Schwarm ist Gegenstand des Kommentars und nicht der Algorithmus zur Schwarmverhaltenssimulation. Die Existenz eines Regelwerks zur Gestaltung der Interaktion ist für Charlotte klar, ihre Argumentation basiert darauf. Sie zieht die falsche Schlussfolgerung, der Schwarm reagiere auf Geräusche. Dies war eine Schlussfolgerung aus einem Test während der Gruppenarbeitsphase. Die Kinder aus der Installationsgruppe haben über die Funktionsweise der Interaktion diskutiert. Um zu überprüfen, ob der Schwarm auf Geräusche reagiert, haben die Kinder hoch motiviert ein Testszenario entwickelt und sich abgesprochen, auf ein Zeichen hin gemeinsam laut zu klatschen und zu rufen. Der Schwarm reagierte mit Fluchtverhalten, wodurch die Kinder ihre These bestätigt sahen. Die Reaktion war jedoch Folge der ambitionierten *Klatschbewegungen* des Kindes auf der Aktionsfläche.



Das Testszenario war also nicht bis zum Ende durchdacht und hat dadurch ein missverständliches Ergebnis geliefert. Insgesamt haben sich die Kinder bei ihrem Versuchsaufbau darauf konzentriert, die Funktionsweise der Interaktion zu erforschen.



(a) Bildung eines Schwarms aus sich bewegenden Menschen



(b) Bildung eines Schwarms aus Geräuschen

Abbildung 6.4: Workshopteilnehmer bilden einen menschlichen Schwarm

Bei den Versuchen, einen Schwarm zu bilden, waren die Kinder in beiden Workshops sehr konzentriert. Abbildung 6.4(a) zeigt, dass die Kinder sich in kreisähnlicher Form positionieren und den Schwarm beobachten. Sie besprechen dabei die Umsetzung des Algorithmus auf ihren Schwarm aus Menschen. Die Kinder machen ihre Überlegungen durch Gesten deutlich, sie diskutieren die Regel *Separation* und nehmen ihre Arme als Maß, um Abstand zu ihren Nachbarn zu halten. Die Kinder in Abbildung 6.4(b) versuchen hingegen, einen Schwarm aus Geräuschen zu bilden und sitzen auf der Fläche. Sie beobachten den Schwarm und machen in Abhängigkeit vom Schwarmstatus und der Distanz zu ihnen Geräusche, die sie in Tonhöhe und Lautstärke variieren.

Die Ergebnisse zeigen eine große Neugier der Kinder, die Phänomene des Schwarms zu erforschen und zugrunde liegende Regeln aufzudecken. Die Gruppen, die ausschließlich mit der Installation gearbeitet haben, haben ihr Augenmerk auf die Regeln der Interaktion zwischen Mensch und Schwarm sowie die Zusammenhänge des Hardware-Aufbaus gelegt. Die Gruppen, denen eine Software zur Verfügung gestellt wurde, haben sich durch die andere Umgebung gedanklich von der Installation lösen können und andere Algorithmen von *Der Schwarm* erforscht.

Die Erforschung der Regeln von *Der Schwarm* hat eine hohe Faszination auf die Teilnehmer ausgeübt. Im Bezug auf unsere Fragestellungen können zwei Kriterien als förderlich für die Reflexion während des Stepping-out genannt werden. Die Komponente *Boids Regeln* hat die Teilnehmer in ihrer Reflexion und Erkundung des Schwarmalgorithmus unterstützt. Sie fördert die Kinder darin, ein abstrahiertes Verständnis von Schwärmen zu erlangen. Die Algorithmik des Schwarmverhaltens hat sich als für die Kinder gut nachvollziehbar herausgestellt. Ein Bezug zur Alltagswelt und die Zurückführung der Simulation auf einfache

Regeln sind wichtige Eigenschaften des Systems. Die Ergebnisse bestätigen die Eignung von Schwarmverhalten in *Moving Algorithm*. Für die Teilnehmer ist die Erforschung der Regeln der Akteur-Schwarm-Interaktion noch verlockender als die des Schwarmalgorithmus. Die Kinder möchten den Algorithmus aufschlüsseln, der die Reaktion des Schwarms auf die eigenen Bewegungen auslöst. Die transparente Gestaltung der Interaktionsregeln ist damit neben den Softwareregeln ein weiterer Baustein der kognitiven Zugangsebene zur Förderung der Reflexion in unserem Konzept (siehe Kapitel 4.3.2). In beiden Fällen bestätigt die Untersuchung die Rolle von Algorithmik in *Moving Algorithm*. Aufgrund der Ergebnisse ist die Hardware des Systems nachträglich in das Konzept aufgenommen worden. Die Hardware hat die Kinder zu Überlegungen über die Systemstruktur motiviert und zeigt sich als weiteres Mittel zur Reflexion.

### 6.5.3 Wechselspiel immersiv-reflexiver Auseinandersetzung

Die Ergebnisse legen Phasen der Reflexion und Immersion während der Workshops offen. Im Folgenden soll anhand von weiteren Ergebnissen der Datenanalyse gezeigt werden, dass ein fließender Wechsel zwischen beiden Phasen stattgefunden hat, und wodurch dieser Wechsel gefördert wurde.

In einem Beobachtungsprotokoll wird eine Situation beschrieben, die einen Wechsel von Immersion zu Reflexion zeigt, der aus dem Zusammenwirken der Gruppe entsteht. Hier ist neben der Immersion auch der Beginn eines Erkenntnisprozesses zu beobachten, der mit der Feststellung, der interagierende Junge sei in den Ecken nicht vom Schwarm erreichbar, eingeleitet wird.

Jonas geht in gebeugter Haltung mit den Armen über den Boden wedelnd dem Schwarm hinterher. „Der war eben auf deinem Kopf“, sagt ein Junge aus dem Kreis. Jonas fasst sich auf den Kopf. „Ah nein“, sagt er und rennt vor dem Schwarm weg. Danach geht er in die Knie und springt in die Luft. „Lass dich mal gar nicht von dem berühren“, sagt ein Mädchen. Jonas versucht daraufhin, vor dem Schwarm wegzurennen. „Pass auf sie kommen“, „Du musst in die Ecke gehen, da kriegen die dich auf keinen Fall“, argumentiert man aus dem Sitzkreis. *(Beobachtungsprotokoll Boids Regeln Workshop, Zeile 9)*

Die Impulse für den Erkenntnisprozess kommen von den zuschauenden Kindern. Ein Mädchen schlägt ein Spiel vor, sich nicht vom Schwarm berühren zu lassen. Andere Zuschauer haben Lösungsvorschläge, wie der Akteur das Spiel erfolgreich bestreiten kann. Jonas signalisiert durch seine Handlung auf der Aktionsfläche sein Einverständnis mit dem Spiel. Diese Situation macht deutlich, dass die Zuschauer durch ihre außenstehende Perspektive neue Ideen einbringen und Eindrücke reflektieren, während der Akteur mit dem Schwarm interagiert und in die Situation eintaucht.

Ein weiteres Beispiel zeigt das Foto in Abbildung 6.5. Ein Mädchen streckt nach Zurufen der zuschauenden Kinder den Arm in die Höhe. Die Gruppe möchte herausfinden, wann der Schwarm den Akteur „sieht“ und hat die These, dass eine bestimmte Größe des Akteurs nötig ist. Im Sitzen war das Kind auf der Aktionsfläche in der Tat zu klein, um vom Laserscanner erfasst zu werden. Mit dem ausgestreckten Arm ist es größer und der Schwarm reagiert, indem er sich zum Mädchen bewegt und es umkreist. Die Kinder haben eine positive Rückmeldung und sehen ihre These bestätigt. Die Gruppe gestaltet ihren eigenen Lernprozess, ihr forschendes Lernen durch Thesenbildung und -überprüfung.

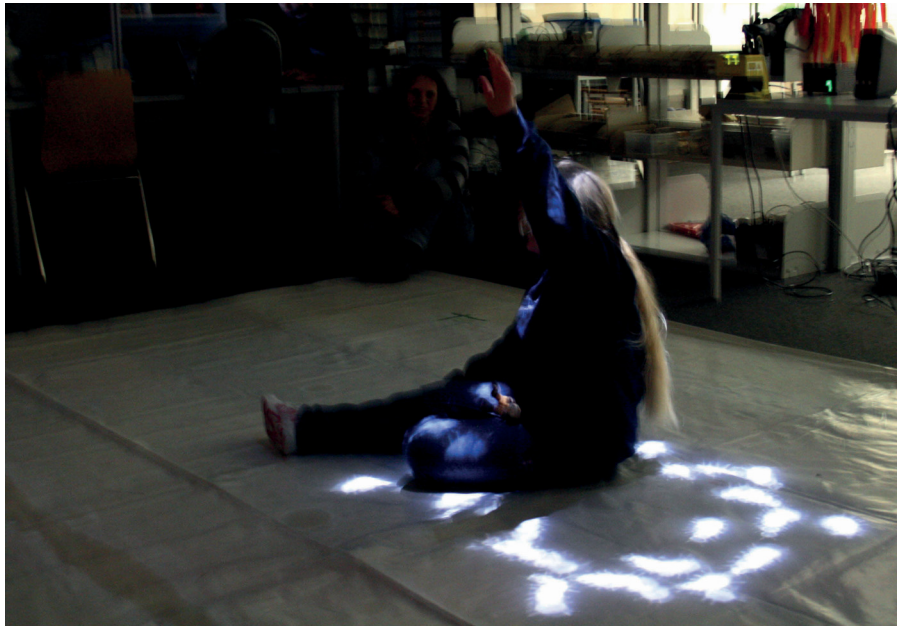


Abbildung 6.5: Workshopteilnehmerin erforscht die Positionserkennung des Laserscanners

Die Bedeutung der Gruppe und den Perspektivenwechsel der Kinder macht auch der Kommentar von Antonia aus dem *Swarming Sounds*-Workshop deutlich:

„Ja hatte ich auch nicht, aber so dann wo ich das gesehen hab bei den anderen hab ich gesagt ja, die probieren ja gar nichts richtig aus, die **fühlen** ja nicht mal wie sich das überhaupt anfühlt und so und daher hab ich auch gesagt ich möchte das gerne wissen und deswegen bin ich auch raufgegangen“

(Antonia, *Swarming Sounds-Workshop*, Zeile 179)

Der erste Teilsatz bezieht sich auf die vorherige Aussage eines anderen Kinds im Interview, das aus Scheu oder fehlender Lust zuerst nicht auf die Aktionsfläche gehen möchte. In der Position als Zuschauer beobachtet das Kind den jeweiligen Akteur und kritisiert dessen Handlung als unvollständig, weil dieser den Schwarm nicht zufriedenstellend fühlt. Das Fühlen des Schwarms ist für das Kind essentieller Bestandteil des Erforschens. Aus der Abgrenzung zu den anderen Akteuren hat das Kind seine Meinung geändert und hat mit dem Schwarm auf der Aktionsfläche interagiert. Das Kind reflektiert die Handlungen des jewei-

ligen Akteurs und möchte schließlich selber eintauchen, um etwas Neues auszuprobieren und sinnlich zu erfahren.

Der selbst bestimmte Perspektivenwechsel wird in einem Gruppeninterview des *Boids Regeln* Workshops diskutiert. Aus der abschließenden Frage, was den Teilnehmern im Workshop am besten gefallen habe, entwickelt sich eine Diskussion, in der die Interaktion auf der Aktionsfläche mit der am Laptop verglichen wird, hier einige Aussagen daraus:

1. „Ich glaub dadurch <bei der Verwendung der Software> kriege ich mehr über den Schwarm raus“
2. „Also ich finde aber unten <bei der Installation> macht das aber mehr Spaß als, am **Computer**“
3. „Hier <bei den Laptops> hat das auch Spaß gemacht, oben, aber unten <bei der Installation> war besser“

Wie die Aussagen zeigen, sagen die meisten Kinder, es habe ihnen beides Spaß gemacht, aber am besten habe ihnen die Interaktion auf der Aktionsfläche gefallen. Die Begründung dafür ist unterschiedlich, meist wird die freie Körperbewegung genannt oder die Möglichkeit, den Schwarm in „echt“ zu sehen. Gleichzeitig sagen die Kinder, dass sie am Computer mehr über den Schwarm lernen. Die Kinder selbst bewerten den Wechsel der Perspektive und damit die Möglichkeit zur immersiven Interaktion sowie der Reflexion als gut.

Zur Beantwortung der eingehenden Fragestellung kann Kollaboration als Faktor zur Förderung des Immersion-Reflexion-Wechsels genannt werden. Das Lernen in der Gruppe ist in mehreren Lernansätzen wie Playful Learning (siehe Kapitel 3.1.3) essentieller Bestandteil der Lernumgebung und wird als Motivationsfaktor zur Auseinandersetzung von Kindern mit einer Thematik betrachtet (siehe Kapitel 3.1.4). Aus der Informatik können hier nur erste Thesen aufgestellt werden, die in weiteren Evaluationen zu untersuchen sind. Der Grundgedanke, *eine* Idee in das Zentrum des technischen Systems zu stellen, das aus unterschiedlichen Perspektiven – auf kognitiver und sinnlich-ästhetischer Ebene – erkundet wird, scheint vielversprechend. Die Umsetzung im technischen System *Der Schwarm* setzt Schwarmverhalten in den Fokus, das sich für diesen Zweck und auch als Überraschungsfaktor geeignet zeigt. Die Komponente *Merk:Mal* als lernfähiges System ist unter diesem Aspekt eine Weiterentwicklung. *Merk:Mal* kann das Wechselspiel immersiv-reflexiver Auseinandersetzung fördern. Die Erfahrungen auf der Aktionsfläche können am Bildschirm direkt eingebracht werden, was wiederum auf der Aktionsfläche ausprobiert werden kann. Die Entwicklung von *Merk:Mal* ist abgeschlossen, die Komponente aber noch nicht in Workshops evaluiert worden. In Kapitel 7 werden wir darauf zu sprechen kommen.

### 6.5.4 Weitere Ergebnisse

Das Augenmerk unserer Untersuchung liegt auf einer immersiv-reflexiven Auseinandersetzung von Kindern mit Digitalen Medien. Uns hat interessiert, welchen Beitrag die Informatik dazu leisten kann und wie technische Systeme gestaltet sein müssen, um eine Experience bei den Kindern auszulösen. Die Auswertung der Daten hat noch weitere Erkenntnisse offengelegt, die nun vorgestellt und diskutiert werden.

#### Geschlechts- und altersspezifische Beobachtungen

Während der Workshops sind Mädchen und Jungen gleichermaßen auf das Thema konzentriert, als Akteur, Zuschauer bei der Installation und als Benutzer der Software. Es konnten Unterschiede in den Äußerungen und Bewegungen von Jungen und Mädchen festgestellt werden<sup>8</sup>. Während die Jungen als erstes auf der Aktionsfläche agieren möchten, bevorzugen die Mädchen die Beobachtung der Anderen als Zuschauer, bevor sie selbst aktiv werden. Dies setzt sich in der Interaktion fort, bei der Mädchen zunächst beobachtend, ruhig sind und dann zögerlich ausprobieren, während Jungen sich erst schnell und viel bewegen, bevor sie beobachten und daraufhin wieder toben.

Dies wird durch ein Beobachtungsprotokoll aus dem *Boids Regeln* Workshop gestützt. Dort wird ein Mädchen beschrieben, das ängstlich auf den Schwarm reagiert und sich am Rand der Fläche aufhält. Es bewegt sich ruhig, so dass der Schwarm hauptsächlich gelb und grün dargestellt wird. Ein Junge desselben Workshops dagegen rennt zunächst über die Fläche. Anschließend bleibt er stehen und beobachtet den Schwarm, bevor er losrennt und auf die Lichtpunkte zu treten versucht. Die weitere Interaktion ist geprägt von dem sich wild bewegenden Jungen, der sich im Kreis dreht, auf den Boden wirft und mit geöffnetem Mund angestrengt nach dem Schwarm tritt.

Bei der Laptoparbeit des *Boids Regeln* Workshops experimentieren die Jungen mehr und unabhängiger, sie fragen den Moderator nicht. Die Jungen arbeiten selbstständiger als die Mädchen. Die Mädchen fragen den Moderator um Rat, wenn sie Probleme bei der Handhabung der Software haben. Sie fordern Unterstützung vom Moderator zusätzlich ein, wenn sie eine These zu Schwarmverhalten entwickelt haben und diese bestätigt wissen möchten. In einer geschlechtergemischten Arbeitsgruppe klopft das Mädchen auf den Tisch, um nach Unterstützung zu fragen. Ein Junge geht herum und schaut bei den anderen.

Im *Swarming Sounds*-Workshop konnten diese nach Geschlecht unterschiedlichen Beobachtungen nicht gemacht werden. Vielmehr ist hier eine weitere Komponente zu nennen, die

<sup>8</sup>Die Aussagen beziehen sich ausschließlich auf den Untersuchungsraum der Workshops in diesem Vorhaben und bieten keine Grundlage für Generalisierungen, wofür weitere, auf diese Fragestellung ausgerichteten Untersuchungen nötig sind.

Einfluss auf das Verhalten der Kinder hat. In der Gruppe gab es ein Mädchen, das deutlich älter war als die anderen und einen großen Einfluss auf die Gruppe hatte. Das Mädchen war nicht dominant aber selbstsicher. Die anderen Kinder, Jungen und Mädchen gleichermaßen, behandelten sie wie eine Anführerin und fragten oft nach ihrer Meinung bzw. warteten auf ihre Reaktion und reagierten ihrerseits entsprechend.

### Artikulationsschwierigkeiten

In den Gruppeninterviews können die Kinder sich nicht für sich selbst zufriedenstellend verbal ausdrücken. Einmal fehlt es den Kindern an Fachvokabular und an Möglichkeiten die Begriffe zu umschreiben. Die Aussage „Und= und da oben ist auch noch dieses komische, ähm dieses komische, Quadrat so“ macht deutlich, dass dem Kind ein Wort fehlt und es außerdem Schwierigkeiten hat, den zu benennenden Gegenstand zu beschreiben. Im weiteren Gesprächsverlauf stellt sich heraus, dass das Kind den Beamer meinte. Nachdem das Kind den Gegenstand über Ausdrücke wie „fett“, „Quader“ und „spiegeln“ zu beschreiben versucht, erkennt ein anderes Kind den gesuchten Begriff und benennt ihn.

Weiterhin haben viele Kinder Schwierigkeiten, Zusammenhänge und Vorgänge zu beschreiben. Im Interview der Gruppe *Laptop* aus dem *Boids Regeln*-Workshop beschreibt ein Kind das Experimentieren mit der Gewichtung der drei Regeln zum Schwarmalgorithmus: „indem wir da rumfummeln“. Die Schwierigkeiten betreffen Schilderungen von Erfahrungen auf der Aktionsfläche und während der Bedienung der Software gleichermaßen. Weitere Beispiele für Aussagen, in denen Kinder Artikulationsschwierigkeiten haben, zeigt die folgende Liste.

1. „Weiß ich jetzt nicht so richtig erklären, wenn da so ein Schwarm oben klebt“
2. „Man kann das jetzt nicht so richtig erklären“
3. „Wir hatten das auch schon die ganze Zeit schon **herausgefunden**, aber ich wusste irgendwie nicht so richtig wie man das **sagen** sollte, halt wie man das **beschreiben** sollte“
4. „Ähm also es war ein bisschen komisch, zum Beispiel wenn wir stehen geblieben sind haben sie uns umkreist das war so ein komisches Geräusch das war nicht so schön, Und da wo wir ähm uns bewegt haben, und immer schneller ähm, war des so ein dunkles Geräusch das war irgendwie schöner“
5. „Die sehen einen eben nicht, die sehen den Menschen nicht (3) ich kann das nicht erklären“

Insbesondere die dritte Aussage zeigt die Frustration des Kindes, seine Erfahrungen und Erkenntnisse nicht verbalisieren zu können. Die Umgebung des Gruppeninterviews kann

offenkundig nur einige Artikulationsschwierigkeiten aufheben, indem andere Kinder aus-helfen und ihre Kenntnisse einbringen. Eine Diskussion der Datenerhebungsmethoden wird in Kapitel 7.3 geführt.

### Sprechen in Vergleichen

Neben der direkten Ansprache, wie sie in Kapitel 6.5.4 beschrieben ist, sprechen die Kinder in Vergleichen zu ihnen bekannten Tieren. Ein Kind erklärt im Interview, der Akteur „ist einer von- (I) also zum Beispiel von den Bienen“. Es gibt ein Beispiel mit Tieren, die es mit Schwärmen assoziiert und sieht den Akteur als Teil des Schwarms. Die Aussage „Da wenn sie wütend aussehen also wenn sie rot sind sehen sie aus wie Spinnen“ ist ein weiteres Beispiel für einen Vergleich mit existierenden Tierarten, der eine Situationsbeschreibung beinhaltet.

Der jeweilige Vergleich beeinflusst die weiteren Gedanken und Handlungen der Kinder. Nach der Erklärung eines Kindes „Im **Gänseschwarm**, da fliegen die auch ganz oft im **Dreieck**, also einer fliegt vorne weg und die anderen fliegen dann in so einem Dreieck hinterher“, versucht sich die Gruppe zu erschließen, wie ein Gänseschwarm Routenänderungen kommuniziert. Es werden die Prinzipien von Schwarmverhalten diskutiert. Ein Erklärungsversuch beinhaltet das kurze Zupfen am Flügel der benachbarten Gans, die das Signal wiederum an den nächsten Nachbarn weitergibt. Weitere Spekulationen schließen eine zeitliche Komponente an, bei der jeder Vogel, abhängig von seiner Position, unterschiedlich lange wartet, bis er die Flugrichtung ändert. Die Grenze zur Betrachtung des algorithmischen Schwarms als Lebewesen ist hier fließend und wird in Kapitel 6.5.4 diskutiert. Im folgenden Kommentar wird der Schwarm direkt als Tierschwarm bezeichnet: „Und es gibt einen **Bienenschwarm** und eine **Königin** und die anderen müssen für die arbeiten-“.

Es wird deutlich, dass Kinder sichtbare Effekte oder Phänomene benötigen, um sich abstrakte Zusammenhänge zu erschließen. Zur Veranschaulichung ziehen sie vornehmlich Dinge aus ihrer Alltagswelt heran, zu denen sie Vergleiche und Unterschiede suchen. Die Verwendung von Schwarmverhalten hat sich als tauglich für diesen Zweck herausgestellt.

### Der Lichtpunkteschwarm als Lebewesen

Ein interessantes Phänomen ist die Beschreibung einiger auf dem Boden liegender Kinder. Trotz der vorherigen Erkenntnis über die Hardware beschreiben einige Kinder, ein Kribbeln zu spüren, wenn ein sich bewegender Lichtpunkt auf ihren Körper projiziert wird. Dieses Gefühl wird von den zusehenden Kindern auch nicht sofort in Frage gestellt. Die Lichtpunkte werden von den Kindern als real agierende Lebewesen empfunden, was wir

bereits in Kapitel 6.5.1 über Immersion gesehen haben. In dem Workshop mit der Softwarekomponente *Swarming Sounds* ruft Malte im Gruppeninterview „DAS WAR EKLIG“ und „Das **KITZELT**“. Auf die Nachfrage des Interviewers, wie das kitzeln könne, antwortet er „Weiß ich nicht, auf jeden Fall hat das gekitzelt“. Direkt vor dieser Aussage argumentiert Malte, dass er gelegen und im Spiegel gesehen habe, wie ein Lichtpunkt auf seinem Gesicht gewesen sei. Die Unterhaltung legt eine Diskrepanz zwischen dem Empfinden und der logisch operierenden Maschine offen. Obwohl Malte zum Zeitpunkt des Interviews um die künstliche Herkunft der Schwarmagenten weiß und dies ein Kitzeln der Lichtpunkte ausschließt, beharrt er auf der Richtigkeit seiner Empfindung. Eine ähnliche Konversation können wir beobachten, als ein Zuschauer die Akteurin auffordert: „Sophie leg dich mal hin. Versuch mal wie sich das anfühlt. Das ist kribbelig irgendwie“, der Folge geleistet und mit der Feststellung kommentiert wird: „Ey das kitzelt wirklich“. Die Reaktion von Sophie zeigt ihren zunächst vorhandenen Zweifel an der Richtigkeit der Aussage des Zuschauers. Sie revidiert diesen jedoch, als sie sich hinlegt. Dieselbe Feststellung, dass die Lichtpunkte kitzeln – auch wenn erkannt wurde, dass diese mit technologischen Mitteln erzeugt werden –, gab es in verschiedenen Workshops.

Die Empfindung der Kinder, die Technologie stehe nicht im Widerspruch zu ihren sensuellen Erfahrungen, kann durch andere Aussagen gestützt werden. Pascal aus dem Workshop mit *Boids Regeln* weiß auf die Frage, welchen Regeln der Schwarm folge, keine Antwort. Er stellt die Lösbarkeit selbst in Frage, indem er sagt „Das ist ja irgendwie komisch wie soll man denn herausfinden, also was die denken, das kann man doch eigentlich gar nicht“ und begründet die Vermutung damit, dass man nicht in die Schwarmagenten hineinschauen könne, um zu wissen, was die denken. Im selben Gruppeninterview wurde zuvor bereits der technische Aufbau, genauer die Existenz von Beamer und Spiegel erkannt und mit der Herkunft der Lichtpunkte in Verbindung gebracht. Das Wissen um die Hardware und die Software steht für die Teilnehmer in keinem Widerspruch zu ihren Wahrnehmungen. Der Schwarm wird als eigenständig handelndes Wesen betrachtet. Gleichzeitig wird ein kausaler Zusammenhang zwischen dem eigenen Handeln und den Bewegungen bzw. der Gestalt und Farbe der Lichtpunkte gesehen, den es herauszufinden gilt. „Hanna greifen sie nicht an. Bei Mädchen bleiben sie blau“ mutmaßt ein zuschauendes Kind während der freien Interaktion einer anderen Teilnehmerin. Die Koexistenz beider zeigen auch zwei im Gruppeninterview aufeinander folgende Aussagen: „Der Scanner sieht uns und gibt das dann weiter an die, ja“, „Wie Papa immer sagt an die Viecher“. Das Kind benennt Hardware und schreibt ihr sinnliche Fähigkeiten zu bzw. kann sich sprachlich nicht anders als mit „sehen“ ausdrücken. Weiter beschreibt es die Prozesshaftigkeit der Vorgänge, wie sie in der Technologie gegeben ist, und bezeichnet dann die Schwarmagenten als „Viecher“, seinen Vater zitierend.

Fast alle Kinder verstehen den Schwarm zunächst als Lebewesen. Viele Kinder vermuten, dass sich tatsächliche Käfer im Projektor befinden, die durch die Projektion auf dem Boden größer erscheinen. Sehr oft fallen Aussagen wie „Das sind Ameisen“. Hier werden haupt-



sächlich Tiere wie Ameisen oder Spinnen genannt. In den Interviews werden auch Bienen, Vögel und Elefanten herangezogen.

Kennzeichnend ist auch das Adressieren von Emotionen und Absichten. Ein Beispiel ist der Kommentar eines zuschauenden Kinds, die Lichtpunkte würden den Akteur lieben, als diese ihn weiß gefärbt umkreisen. Ähnliche Aussagen wie „Die mögen dich“ und „Du wirst geehrt“ sind in jedem Workshop mehrfach zu beobachten. Der Akteur wird verschiedentlich als 'König' oder 'Anführer' bezeichnet, wenn der Schwarm seinen Bewegungen folgt. Auf diese Zuschreibung hat der Akteur immer mit Stolz reagiert. In beiden Gruppen riefen Kinder beim Betreten des Workshopraums unmittelbar: „Ihhh da sind Käfer auf dem Fußboden“.

Das Aussehen des Schwarms scheint für die Kinder eine wichtige Rolle zu spielen, wir haben bereits in Kapitel 6.5.1 darüber gesprochen. Die Gestalt und die Bewegungen der Lichtpunkte lösen bei den Kindern Assoziationen aus, die zusammen mit ihren bisherigen Erfahrungen ihren Umgang mit dem Schwarm beeinflussen. Die Verwendung von den Kindern bekannten Phänomenen ist sinnvoll. Die Assoziation zur Tierwelt lässt Vergleiche zu bisherigen Erfahrungen und Kenntnissen zu und kann eine motivierende Wirkung auf die Kinder haben, da sie bereits etwas zu dem Thema beitragen können. Alle Kinder aus den Workshops kannten Tierschwärme und konnten zahlreiche Beispiele von Tierarten nennen und in Diskussionen Verhalten und Aussehen vergleichen. Der gewünschte Anschluss an die Alltagswelt der Kinder ist mit Schwarmverhalten gelungen (siehe Kapitel 4.3.1). Der Vergleich zu existierenden Tierarten kann andererseits aber auch Probleme bergen. Eine Schwierigkeit liegt in der Vermittlung der in den Workshops verfolgten Ziele, die weniger im biologischen Verständnis von Schwarmverhalten oder Umweltbildung, sondern in der Medienkompetenz liegen. Ein Kind aus einem Pilot-Workshop sagte bei der den Workshop schließenden offenen Diskussionsrunde, es wisse jetzt, wie es sich im Wald verhalten müsse, wenn es einem Schwarm Käfer oder Ameisen begegnete. Diese Aussage zeigt einen möglichen und wenig sinnvollen Effekt der tierähnlich gestalteten Schwarmagenten bzw. der Verwendung von Schwärmen. Auf die Potentiale von *Der Schwarm* für andere thematischen Ausrichtungen wird in Kapitel 7.3 eingegangen.

Diese Beobachtungen können für die Weiterentwicklung der visuellen Gestalt des Schwarms genutzt werden, um bestimmte Assoziationen bei Kindern zu evozieren. Die Veränderung der Agentengestalt unter diesen Gesichtspunkten und mit dem Ziel einer intensiveren Beschäftigung der Kinder mit dem Verhalten des Schwarms und dann mit der Algorithmik scheint verschiedene Möglichkeiten zu beinhalten. Wenn die Agenten des Schwarms nicht als Käfer, sondern als Fische oder Libellen dargestellt werden, könnten die Kinder andere Assoziationen entwickeln. Dadurch gehen sie vielleicht mit einer anderen Grundeinstellung in die Interaktion mit dem Schwarm und zeigen ein unterschiedliches Interesse an der Auseinandersetzung. Die Neugier der Kinder auf eine intensive Beschäftigung und die Erzeugung einer anderen User Experience (siehe Kapitel 3.3) könnten gefördert werden.

### Selbst- und Technikwahrnehmung

Die Kinder haben ein Bedürfnis, sich selbst in Bezug zur Technik und zum Schwarm zu setzen, wenn sie ganzkörperlich interagieren. In der Gruppenarbeitsphase während des *Boids Regeln* Workshops haben die Kinder bei der Installation *Der Schwarm* nicht direkt an dem vorgeschlagenen Thema gearbeitet. Obwohl sie im Interview und während der Interaktion beiläufig die algorithmischen Regeln zur Simulation von Schwarmverhalten erwähnt haben, standen sie nicht im Fokus des Interesses. Sie waren stattdessen motiviert, die Regeln der Interaktion zu erforschen. Die Diskussion der Kinder bei der Installation drehte sich um die Frage, worauf der Schwarm bei dem agierenden Kind reagiere, wann der Schwarm den Status wechsle und wie man sich vor ihm verstecken könne. Sie entwickelten Thesen wie die Reaktion auf Bewegung oder Geräusche und testeten die Vermutungen anschließend, indem sie laut und leise wurden und die Reaktion des Schwarms beobachteten. Auch nach einem Hinweis des Moderators auf die ursprüngliche Fragestellung richtete sich ihre Aufmerksamkeit nach kurzem wieder auf die Akteur-Schwarm-Interaktion. Auf die Erforschung dieser Regeln waren sie stark fokussiert und motiviert ein Ergebnis zu erlangen.

Im Gruppeninterview fand eine Unterhaltung von drei Kindern statt, bei der sie die Regeln der Schwarmsimulation und die Regeln der Interaktion miteinander in Bezug zu setzen versuchten: „Der Größte ist der Anführer von denen, und die müssen, das machen was der Größte macht“, „Aber da ist ja gar kein Großer außer wir“, „Ja dann ist man ja selber der Anführer“. Die Kinder konnten die Unterscheidung zwischen dem zu erforschenden Schwarmverhalten und den Regeln der Interaktion zwischen Akteur und dem Schwarm als Ganzem nicht nachvollziehen. Sie haben sich selbst als Akteur ausnahmslos als Teil des Geschehens betrachtet und sahen das Schwarmverhalten in Bezug zur eigenen Person bzw. zum Akteur. Die Kinder der anderen Gruppe, die am Laptop mit der Komponente *Boids Regeln* gearbeitet hat, haben sich auf das vorgeschlagene Thema konzentriert. Sie haben sich am Bildschirm als abgekoppelt vom Geschehen empfunden. Die ganzkörperliche Interaktion der anderen Gruppe und die hier körperliche Distanz zum Schwarm durch andere Ein-/Ausgabetechniken können Gründe dafür sein.

## 6.6 Vergleichstudie von Wii-Remote und Maus

Die Wii-Remote-Anbindung an *Der Schwarm* ist in Kapitel 5.5.5 beschrieben und in einer Vergleichsstudie getestet worden. Die Untersuchung gibt Aufschlüsse über die Eignung der Wii-Remote zur Förderung der Motivation von Kindern, im Unterschied zu einer Computermouse. Es wird untersucht, wie Kinder anhand der Wii-Remote, die recht freie Körperbewegung zulässt, und einer Maus mit dem technischen System *Der Schwarm* interagieren. Mögliche Unterschiede in der Interaktion und der Motivation von Kindern, das System

immersiv zu erleben und auch zu erforschen, sollen aufgedeckt werden. Die Studie zielt dahingehend auf Hinweise zur Gestaltung der Kind-Computer-Interaktion bei Systemen, die ganzkörperliche Eingabemöglichkeiten implementieren. Da die Ergebnisse keinen direkten Einfluss auf die eigentliche Fragestellung haben, sind sie als Exkurs zu betrachten, ein Nebenprodukt dieses Vorhabens. Bevor die Ergebnisse erläutert werden, wird die Testumgebung der Studie, der Ablauf des Workshops und die Datenerhebungsmethoden vorgestellt.

### 6.6.1 Untersuchungsraum Workshop

Die Studie ist an der Darunsikkhalai School of Innovative Learning (DSIL) in Bangkok, Thailand, durchgeführt worden. Die Schule ist an eine örtliche Universität, die King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), angegliedert und ist u. a. von Papert aufgebaut worden und orientiert sich an den Prinzipien des Konstruktivismus (siehe Kapitel 3.1.1). Der Unterricht ist nach Projekten organisiert, die jeder Schüler bzw. kleine Gruppen von Schülern bearbeitet/n, der Lehrer fungiert als Mentor. Die zur Realisierung des Projekts nötigen Kenntnisse erwerben die Schüler selbstständig mit Unterstützung des Mentors, die entsprechende Umgebung schafft die Schule. Die Unterrichtssprache an der DSIL ist Englisch. Das Unterrichtskonzept geht einher mit unserer Vorstellung eines selbstgesteuerten Lernens und ist deshalb interessant für eine Kooperation.

Während eines Gastaufenthalts an der KMUTT habe ich zwei einstündige Workshops organisiert, in denen jeweils fünf Kinder im Alter von 7-13 Jahren mit *Der Schwarm* interagierten. Beide Gruppen wurden dazu motiviert, den Schwarm frei zu erforschen. Die erste Gruppe, bestehend aus vier Mädchen und einem Jungen, haben mit dem Schwarm über die Wii-Remote interagiert. Die Reaktion des Schwarms wird über eine Projektion der Beamer-Grafik auf eine vertikale Fläche sowie die Simulation im Arbeitsbereich des Portals (siehe Kapitel 5.5.1) ausgegeben. In der Gruppe im zweiten Workshop waren zwei Jungen und drei Mädchen. Sie haben während des Workshops mit dem Schwarm am Computer interagiert. Das Eingabegerät zur Positionserkennung ist die Maus, die im Arbeitsbereich des Portals bewegt wird. Die Ausgabe ist die Simulation am Bildschirm und die projizierte Beamer-Grafik.

Bei beiden Workshops waren eine Moderatorin und eine Lehrkraft zugegen. Eine weitere Person hat Videos aufgezeichnet. Die Lehrkraft verhielt sich vornehmlich passiv und unterstützte bei Verständigungsschwierigkeiten.

### 6.6.2 Workshopablauf und Datenerhebung

Zu Beginn und Ende jedes Workshops haben die Kinder jeweils einen Fragebogen ausgefüllt, der ihre Einschätzung und Nutzung von bzw. zu Technologie offenlegen soll. Die Fragebögen sind in Anhang A.3 einsehbar. Während des Workshops wurde die Methode

*Active Intervention* angewendet, bei der die Schüler Fragen zu ihren derzeitigen Aktivitäten, Vorhaben, ihrer Wahrnehmung und Verständnisses bekommen. Diese Methode ruft im Gegensatz zu anderen Methoden nach Untersuchungen von van Kesteren et al. (2003) und Edwards und Benedyk (2007) bei jüngeren Kindern viele Kommentare hervor. Zaman (2005) hat Active Intervention beispielsweise mit der *Think-Aloud*-Methode nach Duncker (1945) sowie Ericsson und Simon (1984) kombiniert. Die Eignung von Think Aloud wird trotz der Popularität speziell für den Einsatz mit jüngeren Kindern kritisch betrachtet. Karentsy (2001) hat zu dem Einfluss der Methode auf die eigentlichen Aktivitäten Untersuchungen gemacht. Sie kann die Kinder ablenken und kognitiv überlasten. Daher wird sie hier nicht verwendet.

Nach dem Workshop bieten Interviews die Möglichkeit für die Kinder, ihre Eindrücke aus der Retrospektive zu resümieren und in einen Zusammenhang zu ihrem Alltag zu stellen. Die Kinder werden, in diesem Fall ohne Leitfragen, zu ihren Erfahrungen während des Workshops befragt. Dabei wird offenkundig, welche Erlebnisse und Erkenntnisse ihnen wichtig sind und wie sie diese in ihrem Alltag sehen. Retrospektive Beschreibungen des Benutzers sind im Usability Engineering und (User) Experience Design verbreitet und werden zur Auswertung vieler Produkte eingesetzt. Hier betreiben beispielsweise Nielsen et al. (2002) Methodenforschung, wobei jener außerdem die Think-Aloud-Methode untersucht.

### 6.6.3 Ergebnisse

Die zu erforschenden Themen und die Lernumgebung mit dem technischen System haben zur dauerhaften Motivation der Kinder während des Workshops ausgereicht. Mit Ausnahme von zwei Kindern zeigten alle große Begeisterung bei der Interaktion. Die beiden Teilnehmer haben sich an dem Workshop nicht beteiligt. Auf Nachfrage kichern und tuscheln sie viel und geben an, alles kindisch zu finden. Beide sind mit 13 Jahren die ältesten Teilnehmer des Workshops. Da unsere Kerngruppe Kinder bis 12 Jahre einschließt, sind wir den Gründen nicht weiter nachgegangen.

Die Mehrheit der Kinder hat in den Fragebögen nach dem Workshop angegeben, dass sie viel Spaß bei der Beschäftigung mit *Der Schwarm* und ein grundlegendes Verständnis des Systems haben. Die Neugier auf technische Prozesse ist gestiegen, nach dem Workshop können sich mehr Kinder vorstellen einen technologischen Beruf auszuüben als vor dem Workshop. Als voraussehbar und tatsächlich problematisch hat sich die Sprachbarriere gezeigt. Untereinander haben sich die Kinder auf Thai unterhalten, diese Passagen sind nicht ausgewertet. Die Befragung während des Workshops nach Active Intervention ist wenig angenommen worden und wirkte teilweise sogar hinderlich. Die Kinder antworteten oft nicht oder erst nach mehrmaliger Wiederholung. Dies kann neben Sprachkenntnissen auch kulturelle oder altersbedingte Gründe haben. Hier ist jedoch unklar, ob die Ursache die Methode selbst, die sprachlichen Barrieren oder eine Kombination aus beidem ist. Die Kinder

kommunizierten während des Workshops viel untereinander, kommentierten die Aktivitäten von Mitschülern, gaben Handlungsanweisungen und zogen Rückschlüsse. Dies wurde teilweise durch die Lehrkraft übersetzt. Die Schüler experimentierten mit dem Schwarm, evozierten die unterschiedlichen Zustände. Die Möglichkeit, Kontrolle über den Schwarm auszuüben, ist sehr reizvoll für die Schüler. Die Interaktion mit der Wii-Remote hat den Kindern viel Spaß gemacht, eine größere Genauigkeit der Eingabe konnte mit der Maus erzielt werden. Die Kinder haben nach erstem Ausprobieren festgestellt, dass die Bedienung der Wii-Remote keine Bewegung im Sinne der Ortsveränderung voraussetzt. Danach haben sie den Controller interessanterweise ausschließlich im Sitzen verwendet. Die Wii-Remote hat dennoch eine größere Handlungsbereitschaft als die Maus hervorgerufen. Das Potential der Wii-Remote innerhalb von *Der Schwarm* ist sicher gegeben und bedarf weiterer Untersuchungen im Anschluss an unser Vorhaben.

Nach dieser kleinen Studie – in 2010 – ist die Kinect erschienen. Die Erweiterung der Spielekonsole Xbox 360<sup>9</sup> ermöglicht eine controllerfreie Interaktion. Das Gerät erkennt ganzkörperliche Bewegungen. Typische Spielanwendungen sind wie bei der Wii im Genre Sportunterhaltung und Fitness zu finden, wobei auch andere Genres und Home Entertainment-Steuerung zu finden sind. Inzwischen gibt es eine Schnittstelle zu Windows. Die Interaktion ähnelt der ganzkörperlichen Interaktion beim System *Der Schwarm*. Die Untersuchung der Interaktion mit der Kinect im Rahmen einer Folgestudie ist im Hinblick auf die Motivation von Kindern interessant.

## 6.7 Zusammenfassung

Nachdem wir im letzten Kapitel die Beispielapplikation *Der Schwarm* gemäß unseren Überlegungen entwickelt haben, widmeten wir uns in diesem Kapitel der Auswertung im Rahmen von Workshops mit Kindern. In mehreren Pilot-Workshopreihen haben wir überprüft, welchen technischen, strukturellen und inhaltlichen Anforderungen die Workshops, unsere Auswertungsumgebung, gerecht werden müssen. Wir konnten fünf Phasen beobachten, die Kinder während der Pilot-Workshops durchlaufen, die wir *Begegnen*, *Gestalten*, *Experimentieren*, *Implementieren* und *Erfassen* nennen. Auf dieser Grundlage haben wir ein Workshopkonzept entwickelt, das die einzelnen Phasen der Kinder unterstützt.

Die Evaluation wird mit qualitativen Methoden aus der empirischen Sozialforschung durchgeführt, was uns tiefere Einblicke in den Erfahrungs- und Erkenntnisprozess der Kinder während des Workshops ermöglicht. Zur Erhebung der Daten verwenden wir die Methoden des narrativen Interviews und der teilnehmenden Beobachtung. Die Datenanalyse erfolgt mit der objektiven Hermeneutik. Für zwei der entwickelten Softwarekomponenten für *Der*

<sup>9</sup>Microsoft, <http://www.xbox.com/Kinect>

*Schwarm* – genauer *Boids Regeln* und *Swarming Sounds* – haben wir jeweils einen Workshop durchgeführt und ausgewertet. Die unterschiedliche inhaltliche Ausrichtung der Komponenten und damit auch der Fokus beim Workshop werden durch angepasste Handlungsmotivationen für die Teilnehmer und Fragestellungen beim Interview gewährleistet.

Die Ergebnisse zeigen eine hohe Immersion der Kinder auf der Aktionsfläche, während sie mit dem Schwarm interagieren. Die zuschauenden Kinder tauchen auch in die Situation ein und nehmen aktiv am Geschehen teil. Sie kommentieren die Aktionen des Akteurs, geben Vorschläge, ziehen Rückschlüsse aus ihren Beobachtungen. Die Kinder sprechen vom Schwarm wie von einem lebendigen Wesen und zeigen Emotionen wie Ekel und Zuneigung. Von besonderem Interesse für die Kinder sind die Hardware des Systems und die Regeln der Interaktion zwischen Akteur und Schwarm. Die Unterscheidung zwischen Interaktionsregeln und Algorithmen zur Simulation von Schwarmverhalten war mitunter schwierig. Im Interview zeigten einige Kinder Schwierigkeiten, ihre Eindrücke zu verbalisieren.

Die hohe Immersion der Kinder führen wir größtenteils auf die Gestaltung der Interaktion, der ganzkörperlichen Bewegung als Kommunikationsmedium von Mensch zu Maschine zurück. Ganzkörperliche Bewegung eignet sich als Mittel, um Kinder in eine Diving-in-Phase zu versetzen. Diese Schlussfolgerung kann durch eine Vergleichsstudie gestützt werden, in der wir zwei Eingabegeräte, eine Wii-Remote und eine Computermaus, mit Kindern und *Der Schwarm* untersucht haben. Die Ergebnisse belegen eine größere Handlungsbereitschaft der Kinder bei der Verwendung der Wii-Remote als mit der Maus. Für ein Stepping-out haben sich in beiden durchgeführten Workshops die Untersuchung der Algorithmik und die Erkundung der Hardware als erfolgreich gezeigt. Die Kinder zeigen großes Interesse an zugrunde liegenden Regelwerken. Der Ansatz *Moving Algorithm* in Kapitel 4 erweist sich als geeigneter Leitfaden zur Konzeptionierung von technischen Systemen für eine immersiv-reflexive Auseinandersetzung von Kindern mit Digitalen Medien.



## Reflektieren

### Fazit

*Zum Abschluss fragt Frau Noll, was die Schüler gelernt haben. Yannick ist fasziniert, dass der Computer Bewegungen erfassen kann und die Lichtpunkte darauf reagieren. Galina findet das Verhalten des Schwarms interessanter: „Jetzt will ich mich eigentlich auf die Schwarmfläche legen und von den Tierchen massieren lassen“. „Nein, ich will wissen, wie ich den Schwarm umprogrammieren kann!“, ruft Yannick. „Zu was denn?“, fragt Moritz. „Die Lichtpunkte könnten wie kleine Pferde oder Elefanten aussehen. Und, ja, also das Verhalten stimmt schon fast“, Yannick war neulich mit einer Freundin bei einer Pferdekoppel. Als sie sich dem Zaun näherten, sind die Pferde davon galoppiert.*

*Franziska und Johanna kippeln unruhig mit ihren Stühlen. „Hey Leute, wir haben ja noch die Aufgabe zu machen, die wir am Dienstag besprochen haben“, wirft Franziska ein. „Haben wir doch schon gemacht, wir müssen nur noch überlegen, wie das ist, wenn die Lichtpunkte viele kleine Fischchen wären“, sagt Klara energisch, zeigt auf die Notizen der Gruppe und sagt: „Vorhin sah das schon so aus, wie ein Fischeschwarm im Korallenriff“. „Die Lichtpunkte sind doch wie kleine Fische, die umher schwimmen, und ihre Nasen haben wir auch entdeckt“, erklärt Galina und überlegt: „Seht her! Wenn die umher schwimmen, zeigen die Nasen immer in die gleiche Richtung“. Yannick, Batuhan und Amelie nicken. „Im Fischeschwarm achten die Fische auch darauf, wer in ihrer Nähe schwimmt. Im Biobuch gibt es ein Bild mit vielen kleinen, silbernen Fischen“, erinnert sich Moritz und erzählt weiter: „Darunter steht, dass die Fische immer Abstand zueinander halten“. Johanna überlegt und erwidert: „Klaro, damit sie nicht zusammenstoßen, aber die schwimmen irgendwie trotzdem immer zu anderen Fischen“. „Ja, sonst sind sie ja kein Schwarm mehr!“, bestätigt Franziska sie aufgeregt.*

*„Wie kommt das denn, dass die Lichtpunkte es genauso machen?“, möchte Galina wissen. Die Gruppe schaut auf die Schwarmsimulation am Bildschirm. Dann stellt Amelie fest: „Die sind so programmiert, dass sie sich so verhalten. Guckt mal, die können andere Lichtpunkte nur sehen, wenn die in der Nähe sind“. „Genau, deshalb sieht das aus wie bei den Fischen“, merkt Matthias an. Die Schüler freuen sich, dass sie herausfinden konnten, wie Schwärme programmiert werden. In der nächsten Unterrichtsstunde können sie sich in kleinen Teams überlegen, wie sie ihre Nachforschungen in der Klasse vorstellen. Die Lehrerin bedankt sich bei der Wissenschaftlerin, und die Schüler packen ihre Sachen und verabschieden sich.*

Der Workshop ist beendet und die Kinder reflektieren ihre Eindrücke und neuen Erkenntnisse. Besonderen Eindruck hat der Schwarm auf sie gemacht, der so lebendig scheint und doch nur aus Licht besteht und von Algorithmen gesteuert wird. Sie fassen ihr Verständnis über den Schwarmalgorithmus zusammen. Dass der Schwarm auf ihre Bewegungen mit dem ganzen Körper reagiert, hat den Kindern auch gut gefallen. Im abschließenden Kapitel reflektieren wir ebenfalls die gewonnenen Eindrücke, indem zunächst das Vorhaben, Vorgehen und die Ergebnisse resümiert werden. In einem Rückblick werden die initialen Fragestellungen in Erinnerung gerufen, und es wird eine Zusammenfassung des Vorgehens gegeben. Nach einer kurzen Diskussion der angewendeten Methoden, werden die Ergebnisse im Hinblick auf *Moving Algorithm* und *Der Schwarm* betrachtet. Auf Grundlage der Ergebnisse werden Hinweise zur Gestaltung und Entwicklung technischer Systeme in Bildungskontexten für Kinder gegeben, die als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen dienen mögen. Wir wollen auch einen Blick in die Zukunft wagen, wie unser Vorhaben weitergedacht werden und welchen Einfluss es auf andere Vorhaben haben kann.

## 7.1 Rückblick

Unsere zu Beginn gestellten Fragen waren, welche Modelle und Konzepte die Informatik für Anwendungen in der Medienbildung bereithalten kann. Es hat uns interessiert, wie ein technisches System aussehen muss, um Kinder zum selbstständigen Lernen über technologische Prozesse zu motivieren. Die Fragestellungen sind:

1. Welche Modelle und Konzepte kann die Informatik bereitstellen, um einen neuartigen Beitrag zur Vermittlung von Medienkompetenz in pädagogischen Kontexten zu leisten?
2. Wie müssen technische Systeme gestaltet sein, um die Medienkompetenz von Kindern im Alter von 8-12 Jahren zu fördern und welche Kriterien können hierfür festgelegt werden?

Zur Annäherung an die Fragen haben wir über die Herausforderung gesprochen, konkrete Zugänge zu abstrakten Inhalten zu schaffen. Die Begegnungen von Informatik und Kunst haben uns Beispiele und erste Anhaltspunkte geliefert. Die algorithmischen Bilder aus der digitalen Kunst können auf zweierlei Weise betrachtet werden und bieten eine kognitive und sinnlich-ästhetische Auseinandersetzung. Ein vom Künstler entwickelter Algorithmus berechnet Bilder, und Gestaltungselemente, wie Zufall in der Farb-, Linien-, Richtungsauswahl, lassen einen Algorithmus immer ähnlich, aber nie identisch aussehende Bilder produzieren. Aus dem Design und der Informatik gehen Konzepte, Methoden und Frameworks hervor, die den Designprozess von digitalen Produkten standardisieren sollen. Das Experience Design erlaubt uns einen ganzheitlichen Blick auf die Interaktion zwischen Mensch



und Produkt, in unserem Fall das digitale Produkt und möchte dies im Entwicklungsprozess aufgegriffen sehen. Wir ordnen unser Vorhaben in das Gebiet Interaction Design and Children ein. Zur Realisierung konkreter Zugänge sehen wir Potential in der Embodied Interaction und der Tangible Interaction, wir interpretieren die Körperlichkeit wörtlich und wollen die Rolle des Körpers, genauer die freie Körperbewegung, in der Benutzung von digitalen Produkten stärken. Für unser Vorhaben ziehen wir zudem das Reflexive Design heran, demzufolge ein digitales Produkt so gestaltet werden muss, dass den Lernenden Raum für Immersion und Reflexion gegeben wird, es ihnen be-greifbar macht.

Nach dem Ansatz dieser Arbeit dienen Zugänge auf kognitiver und auf sinnlich-ästhetischer Ebene dazu, immersive und reflexive Phasen während der Auseinandersetzung mit dem System zu fördern. Ganzkörperliche Bewegung und multimodale Schnittstellen sollen die Immersion fördern, sollen Digitale Medien greifbar, erfahrbar machen. Algorithmen und Hardware fungieren als Gegenstände der Auseinandersetzung, sollen begreifbar, zu verstehen sein. Ein Leitthema gibt eine inhaltliche Ausrichtung und überraschende Wendungen und Reaktionen vom System werden eingesetzt, um die Motivation der Kinder zu evozieren und aufrecht zu erhalten. Wir haben das technische System *Der Schwarm*, bei dem Schwärme die inhaltliche Ausrichtung darstellen, um drei Komponenten erweitert, die einerseits konkrete Zugänge und andererseits abstrakte Prinzipien Digitaler Medien implementieren und dadurch eine Auseinandersetzung auf kognitiver und sinnlich-ästhetischer Ebene zu lassen. Zwei weitere maßgebliche Änderungen erleichtern die Handhabung der Software bzw. erweitern die Mensch-Computer-Interaktion von *Der Schwarm*.

**Boids Regeln** ist ein Interface für Kinder zum Erforschen des Algorithmus zur Simulation von Schwarmverhalten. Der Algorithmus besteht vornehmlich aus der Kombination dreier Regeln: Kohäsion, Ausrichtung, Separation.

**Swarming Sounds** ist ein auditives Display, in dem Schwarmeigenschaften emotionalen Zuständen zugeordnet werden. Diese werden wiederum mit Klangmerkmalen gepaart, so dass jeder Schwarmagent während der Bewegung Klangfolgen erzeugt. *Swarming Sounds* kann statt oder neben der visuellen Ausgabe aktiviert werden.

**Merk:Mal** ist eine adaptive Bewegungsmustererkennung. Sie kann im Trainings- und Erkennungsmodus jeweils über die Aktionsfläche, anhand von Bewegungen oder über ein Interface am Bildschirm bedient werden. Das Interface erlaubt Kindern außerdem die Zuordnung von trainierten Bewegungsmustern zu Reaktionen des Schwarms.

**Das Portal** ist das zentrale Interface von *Der Schwarm* und ermöglicht die Einstellung von Hard- und Softwareeigenschaften und den Zugriff auf sämtliche Komponenten. Die Umgestaltung und Neustrukturierung realisieren eine individuelle Benutzungsoberfläche für die vier Benutzergruppen Besucher, Workshopteilnehmer, Workshopleiter und Administrator.

**Wii-Remote-Schnittstelle** ist eine Anbindung an den Controller Wii-Remote. Der Schwarm reagiert auf die Bewegungen des Controllers, ein auf die Aktionsfläche projiziertes, zuschaltbares Interface ermöglicht die Einstellung zentraler Schwarmigenschaften.

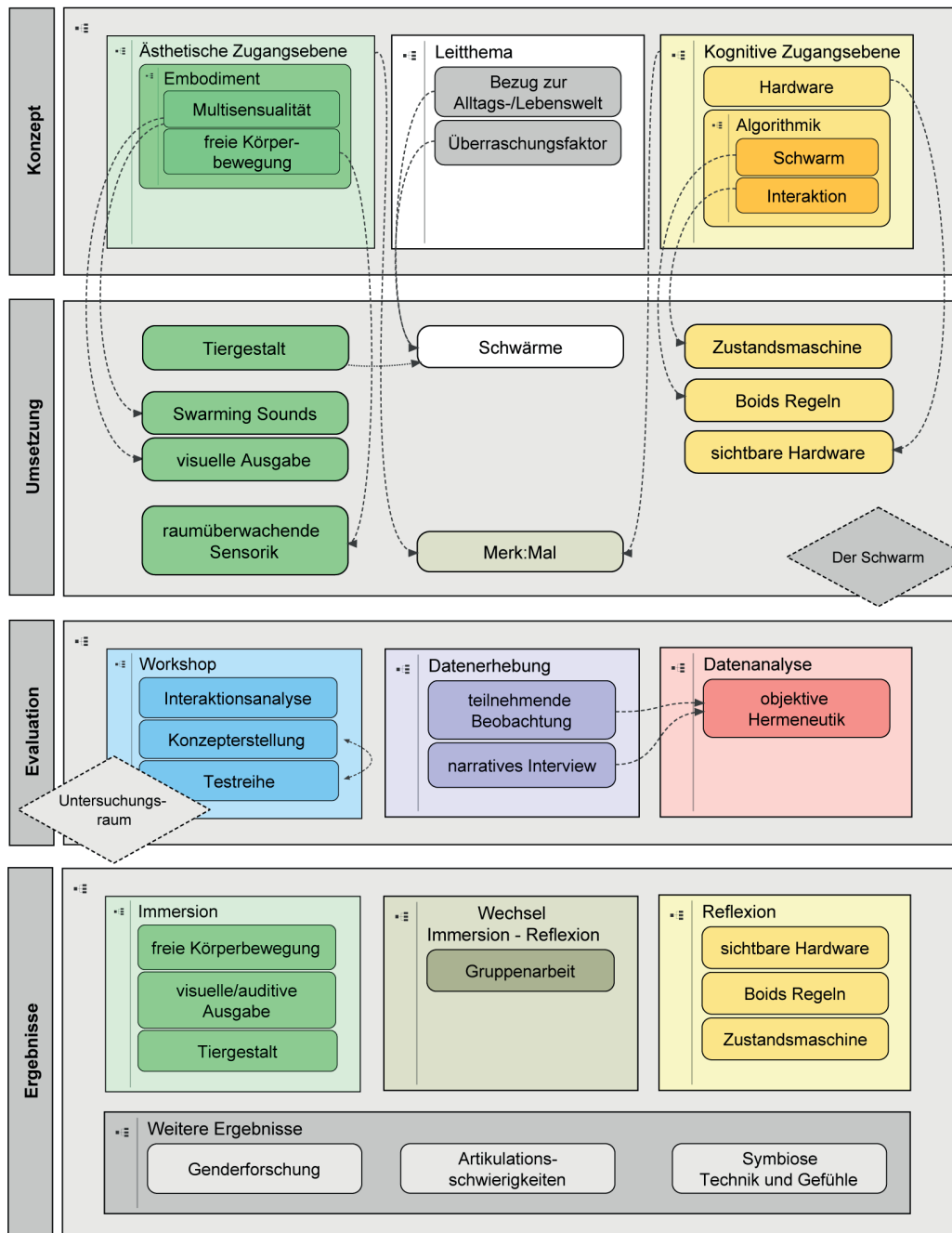


Abbildung 7.1: Schematische Darstellung von Konzept, Umsetzung, Evaluation und Ergebnissen

Die Auswertung der Komponenten *Boids Regeln* und *Swarming Sounds* ist in Workshops mit Kindern erfolgt. Die Daten zur qualitativen Evaluation wurden mit den Methoden des narrativen Interviews und der teilnehmenden Beobachtung erhoben und anhand der objektiven

Hermeneutik ausgewertet. Freie Körperbewegung hat die Immersion stark gefördert, die visuelle und auditive Ausgabe des Schwarms haben Emotionen der Kinder hervorgerufen. Diese haben sich für die Prinzipien des Systems interessiert. Schwerpunkt waren die Funktionsweise der Hardware und zweierlei Algorithmen, die Regeln der Interaktion zwischen Mensch und Schwarm und die Regeln zur Bildung von Schwarmverhalten. Ein Bedürfnis der Kinder war die Übertragung neuer Eindrücke und Kenntnisse auf ihren Alltag. Das entwickelte Konzept *Moving Algorithm* erwies sich als viel versprechend im Designprozess von Digitalen Medien für die Medienbildung von Kindern. Abbildung 7.1 zeigt einen zusammenfassenden Überblick über die in diesem Vorhaben durchgeführten Schritte von *Moving Algorithm*, *Der Schwarm*, der Auswertung und den Ergebnissen.

In einer Vergleichsstudie ist die Interaktion mit der Wii-Remote und der Maus zwischen Kindern und dem Schwarm im Hinblick auf die Motivation der Kinder untersucht worden. Mit der Wii-Remote zeigten Kinder eine größere Handlungsbereitschaft und mehr Spaß, wohingegen sie Eingaben mit der Maus mit größerer Präzision durchführen konnten.

## 7.2 Methodendiskussion

*Moving Algorithm* und die Beispielapplikation *Der Schwarm* sind iterativ entwickelt worden. Bei *Moving Algorithm* hat sich ein iteratives Vorgehen vor allem bewährt, weil durch die Entwicklung und Auswertung einer Beispielapplikation eine Rückkopplung stattfinden konnte, in der neue Aspekte generiert wurden, mit denen *Moving Algorithm* erweitert, konkretisiert und angepasst werden konnte. Im Entwicklungsprozess von *Der Schwarm* hat sich ein partizipativer Ansatz bewährt – der meist ein iteratives Vorgehen vorsieht –, der Kinder nach Druins Rollenverteilung als Informants beteiligt. Während der Entwicklung helfen regelmäßige Workshops mit der Zielgruppe, einzelne Bausteine des Systems zu testen. Die Methoden sind dabei der Fragestellung anzupassen, die sich beispielsweise auf die grundlegende Usability oder Lernmotivation beziehen kann. Aus den Ergebnissen der Workshops können Anforderungen an das technische System festgelegt und nötige Änderungen vorgenommen werden. Die Präferenzen und typischen Nutzungsszenarien der Zielgruppe werden dabei berücksichtigt. Für die Entwicklung bietet es sich zudem an, bereits im Vorfeld der Entwicklung Untersuchungen mit der Zielgruppe durchzuführen, um ein Leitthema gemäß *Moving Algorithm* zu finden. Dieser Schritt war in meinem Vorhaben nicht nötig, da das Leitthema Schwärme durch die existierende Beispielapplikation *Der Schwarm* bereits gegeben war und deren Eignung sich in meinen Untersuchungen bestätigt hat.

Die Erhebung der Daten für die Auswertung hat in Workshops stattgefunden, da sie eine geschlossene Umgebung und einen festen Zeitrahmen bieten. In Pilotworkshops, wie sie in diesem Vorhaben stattgefunden haben, können Methoden und weitere Faktoren, wie die Struktur des Workshops und das technische System, unter realen Bedingungen getestet

werden. Dieses Vorgehen hat sich als geeignet erwiesen. Das entwickelte Workshopkonzept kann für die Auswertung anderer digitaler Produkte angepasst und übernommen werden. Es ist auf qualitative Evaluation ausgerichtet und versucht, mit den anwendungsorientierten Beschreibungen der Erhebungs- und Analysemethoden, einen einfachen Einstieg zu bieten. Die ausgewählten Methoden zur Datenerhebung und -Analyse zeigten sich als generell geeignet für unsere Zwecke. Die objektive Hermeneutik hat die latenten Sinnstrukturen, individuellen Veränderungen und Entwicklungsprozesse der Kinder offengelegt. Im Interview zeigten einige Kinder Artikulationsschwierigkeiten, sie hatten Mühe, die Geschehnisse auf der Aktionsfläche und ihre Eindrücke zu verbalisieren. Als Alternative oder zusätzliche Datenquelle könnten Videodaten interessant sein, gerade auch weil *Moving Algorithm* auf ganzkörperliche Bewegung ausgelegt ist. Die Videoethnographie stellt Methoden u. a. zur Datenerhebung bereit und die videografierte Interaktionsanalyse ermöglicht die Auswertung. Die Alternative für unbewegte Bilder ist die Foto- und Bildanalyse, für die es Varianten der objektiven Hermeneutik gibt. Dieses Vorhaben zeigt, dass qualitative Methoden die Evaluation von digitalen Produkten innerhalb der Informatik bereichern können.

## 7.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden einige der erzielten Ergebnisse herausgestellt, die ich in besonderer Weise als relevant für das Forschungsgebiet erachte. Auf Grundlage der Ergebnisse werden Hinweise für die Gestaltung be-greifbarer Systeme gegeben. Vereinzelt werden bereits Thesen und Fragen für weitere Forschungsaktivitäten aufgeworfen.

### 7.3.1 Folgerungen zu *Moving Algorithm* und *Der Schwarm*

Die Untersuchungen zeigen, dass unsere Idee, eine kognitive und eine sinnlich-ästhetische Zugangsebene zu schaffen, reflexive Erfahrung im Sinne des Reflexive Design fördert. Durch die Verbindung zweier unterschiedlicher Zugangsebenen können Kinder mit unterschiedlichen Interessen und Fähigkeiten angesprochen werden.

*Moving Algorithm* stellt einen Ansatz zum Reflexive Design dar, liefert Hinweise zur Gestaltung und Entwicklung von be-greifbarer Technologie, die selbstständige Lernprozesse fördert, und leistet vor allem zum Bereich Interaction Design und Kinder einen Beitrag. Unter zahlreichen Anwendungen für Kinder, die mit Tangible Interaction arbeiten, ist der Einsatz des gesamten Körpers als Kommunikationsmedium noch relativ neu. Im Hinblick auf die Anwendung in Lernkontexten, hat die be-greifbare Interaktion den Tanz der Perspektiven, den Wechsel von Immersion und Reflexion, gefördert. Das Thema Schwärme und die tierähnliche Gestalt der Lichtpunkte bieten Anknüpfungspunkte zum Erfahrungsschatz der Kinder. Insbesondere aufgrund des Aussehens der Lichtpunkte entwickelten die Kin-

der Empathie für den Schwarm, was ihre Lernmotivation förderte. Durch die multimodalen Schnittstellen, eine auditive und eine visuelle Ausgabe des Schwarms, können Kinder das technische System mit unterschiedlichen Sinnen entdecken. Das Kind kann auswählen, je nachdem, durch welchen Sinn es sich eher angesprochen fühlt. Die Benutzungsoberfläche *Boids Regeln* unterstützt die Reflexion zum Thema Schwarmalgorithmen und durch die freie Körperbewegung werden Algorithmen auch für junge Kinder be-greifbar. Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse über die starke Wirkung ganzkörperlicher Bewegung auf den Spaß und die Lernmotivation der Kinder schaffen Anknüpfungspunkte für neue Ansätze im Designprozess von digitalen Produkten für Kinder. Sie erweitert die Möglichkeiten, mit denen Schnittstellen zur Kind-Computer-Interaktion gedacht werden können.

Durch die Implementierung der Schwarmalgorithmen und freier Körperbewegung als Eingabemöglichkeit kommt es zu einzigartigen, nicht reproduzierbaren Situationen. Die Kinder zeigten sich oft überrascht über die Reaktion des Schwarms, besonders zu Beginn eines Workshops, beispielsweise beim Wechsel des Schwarmzustands oder beim Entdecken der umstehenden Geräte. Ein Kind antwortete im Interview auf die Frage, was ihm am besten gefallen habe: „Also dass, die ähm, die haben halt immer ihre Meinung gewechselt, ähm, mal gings zum Guten mal waren sie wütend, ähm“. Bei *Der Schwarm* wird technischer Determinismus mit scheinbarem Zufall<sup>1</sup> kombiniert. Die Motivation der Kinder, sich mit den zugrunde liegenden Prinzipien Digitaler Medien zu beschäftigen, ist durch die überraschenden Bewegungen bzw. Reaktionen des Schwarms nachhaltig gegeben. Ein klar definiertes Regelwerk – zur Interaktion sowie zur Schwarmverhaltenssimulation – kann entdeckt und verstanden, be-griffen werden.

Als Herausforderung stellte sich die Evozierung eines Wechsels von immersiven zu reflexiven Phasen und vice versa heraus. In den Workshops waren klassischerweise Diskussionen der Gruppe und Handlungsaufforderungen der Zuschauer an den Akteur auslösende Momente für einen Wechsel. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Wechsel bei *Der Schwarm* durch die Aufspaltung der Gruppe in einen Akteur, der tendenziell immersiv agiert, und Zuschauer, die auch Anzeichen der Immersion zeigen, jedoch durch ihre vor allem beobachtende und kommentierende Rolle auch außenstehend sind, begünstigt werden. In weiteren Forschungen wäre es interessant, präzisere Aussagen darüber treffen zu können, wie ein Tanz der Perspektiven durch die einem System inhärenten Eigenschaften hervorzurufen sind.

In den durchgeführten Workshops wurde beobachtet, dass die Kinder zumeist die Regeln der Interaktion mit den Regeln des Schwarmverhaltens vermischen. Dies führte zu Fehlinterpretationen und schließlich Irritation bei der Erforschung der Algorithmen. Daraus kann die Erkenntnis abgeleitet werden, dass im Designprozess eines technischen Systems darauf

<sup>1</sup>Die Software enthält keinen programmierten Zufall im informatischen Sinne. Vielmehr sind vom Akteur und Zuschauer nicht erwartete Bewegungen des Schwarms gemeint, was in *Moving Algorithm* als *Überraschungsfaktor* bezeichnet wird.

geachtet werden muss, dass die implementierten Regelwerke klar voneinander abgrenzbar sind. Ein eigenes Interface könnte die Kinder dann dazu anregen, das Zusammenspiel und die Unterschiede der Regelwerke zu erforschen. So können generell die Komplexität von technischen Systemen und die unterschiedlichen Bestandteile und Funktionsweisen für die Kinder zugänglich gemacht werden. Das technische System *Der Schwarm* und *Moving Algorithm* können dahingehend noch erweitert werden.

Die Bewegungsmustererkennung *Merk:Mal* wurde funktional, aber nicht im Rahmen eines Workshops getestet. Das Potential von *Merk:Mal* liegt in der Verbindung von menschlichem und maschinellem Lernen und der direkten Erfahrbarkeit dieser Unterschiede auf der Aktionsfläche und am Bildschirm. Die Kinder können so die Arbeitsweise von Algorithmen, die menschliche Fähigkeiten nachzuahmen versuchen (in diesem Fall Lernen), erforschen. Zudem versucht *Merk:Mal*, Kindern Gestaltungsmöglichkeiten an *Der Schwarm* zu geben, indem sie die Reaktion des Schwarms auf eine positive Mustererkennung selber einstellen können. Die Ergebnisse eines Workshops sind dahingehend spannend, die Potentiale von transparentem maschinellem Lernen für Kinder in der Medienbildung offenzulegen.

### 7.3.2 Hinweise für be-greifbare Systeme in der Medienbildung

Für die Gestaltung und Entwicklung von technischen Systemen können auf Grundlage der erlangten Ergebnisse einige Hinweise gegeben werden, die im Folgenden aufgeführt sind. Eine generelles Ergebnis ist, dass ein technisches System mit einer Kombination immersiver Technologien und reflexiver Räume die Vermittlung von Medienkompetenz bei Kindern im Alter von 8-12 Jahren fördert.

**Design für reflexive Erfahrung** bzw. das Reflexive Design fordert für den Einsatz von Digitalen Medien in der Bildung solche, die eine immersive und reflexive Auseinandersetzung ermöglichen, und argumentieren aus der Informatik und Pädagogik. Die Ergebnisse dieses Vorhabens zeigen, dass technische Systeme mit einer kognitiven und einer sinnlich-ästhetischen Zugangsebene derartige Erfahrungen (Experiences für das Lernen) fördern.

**Be-greifbare Interaktion** bzw. Embodied Interaction und Tangible Interaction eignen sich für Systeme im Anwendungsfeld der Medienbildung. Die Konzepte erlauben eine Interaktion zwischen Mensch und technischem System, die Zugänge auf kognitiver und sinnlich-ästhetischer Ebene ermöglichen.

**Partizipatives Design** im Entwicklungsprozess ermöglicht es, Designentscheidungen, das technische System betreffend, zu überprüfen, indem die spätere Zielgruppe mit dem System bzw. Bausteinen desselben interagieren. Insbesondere bei der Entwicklung

von technischen Systemen für Kinder ist ein partizipativer Ansatz ratsam, in dieser Arbeit hat sich die Rolle Informants für Kinder als geeignet erwiesen.

**Empathie** mit dem digitalen System motiviert Kinder zur Auseinandersetzung und zum Lernen. Ein Leitthema, das im technischen System aufgegriffen wird und welches Kinder aus ihrer Alltagswelt kennen, unterstützt das Herstellen eines persönlichen Bezugs und die Neugier daran, das System zu erforschen.

**Freie Körperbewegung** motiviert Kinder, selber aktiv zu werden und sich mit technischen Systemen zu beschäftigen. Freie Körperbewegung fördert, so die Ergebnisse dieses Vorhabens, die Immersion. Insbesondere der Einsatz des Körpers als Kommunikationsmedium, der in einem technischen System durch raumüberwachende Technologien und eine entsprechende angepasste Aufgabe realisiert werden kann, ist interessant.

**Hardware** kann für Kinder einen Anstoß zur Erforschung der Funktionsweise technischer Systeme und darüber hinaus zur Erschließung ihrer Umwelt darstellen, sofern diese für sie be-greifbar ist. Ein technisches System kann dies unterstützen, indem die Hardware sichtbar installiert und ihre Funktionalität von Kindern selbstständig zu entschlüsseln ist, die Funktionsweise also mehr durch die Hardware als durch die Software erschließbar ist.

**Algorithmen** das Leitthema betreffend und insbesondere das der Interaktion zwischen Mensch und technischem System zugrunde liegende Regelwerk weckt das Interesse der Kinder. Die kausalen Zusammenhänge der Interaktion müssen so gestaltet sein, dass sie von Kindern einerseits erforschbar, also deterministisch, und andererseits nicht unmittelbar nachvollziehbar sind, wodurch die Kinder das Interesse verlieren. Mit entsprechenden Benutzungsoberflächen können Kinder die Algorithmen zusätzlich erforschen.

**Multisensualität** ist im Bildungskontext ein verbreitetes Mittel dazu, unterschiedlichen Präferenzen von Lernenden zu entsprechen und unterschiedliche Perspektiven auf den Lerngegenstand zu ermöglichen. Bei technischen Systemen eignen sich multimodale Schnittstellen für Selbiges, mit unterschiedlichen Sinnen können sie erfahren und kann mit ihnen interagiert werden. Neben einer visuellen Schnittstelle bietet sich vor allem aus Gründen der Realisierbarkeit eine auditive an, andere Schnittstellen können hier weitere Zugänge bieten.

## 7.4 Offene Fragen und Anknüpfungspunkte

Nachdem das Vorgehen, sowie die Ergebnisse dieses Vorhabens zusammengefasst und Hinweise für technische Systeme für das Lernen von Kindern gegeben worden sind, werden

im Folgenden einige – für mich besonders interessante – Themen und Fragen aufgeworfen sowie erste Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsvorhaben in diesem Gebiet vorgeschlagen.

#### **7.4.1 Zum Entwicklungsprozess be-greifbarer Systeme**

Einen Ansatz für weitere Forschungstätigkeiten sehe ich in der Entwicklung einer Methode für den Entwicklungsprozess technischer Systeme im Bereich der Embodied Interaction oder Tangible Interaction. In partizipativen Ansätzen wie Bodystorming wird bereits in die Richtung gedacht, dass spätere Nutzer sich in Nutzungsszenarien mit dem bereits fertigen Produkt hineindenken und entsprechend agieren.

Im Kontext von *Moving Algorithm* und einer entsprechenden Beispielapplikation (wie *Der Schwarm*), würden spätere Nutzergruppen in Workshops mit dem technischen System interagieren. Auf Grundlage der Ergebnisse aus dieser Interaktion können schließlich Kriterien für das neue, zu entwickelnde System entwickelt werden. Allgemeiner kann die Interaktion zwischen Nutzer und System beobachtet und Rückschlüsse für die Gestaltung einer Embodied Interaction und Tangible Interaction gezogen werden.

In einem derartigen Ansatz sehe ich das Potential, technische Systeme – insbesondere für die Medienbildung von Kindern – noch genauer als bisher auf die Bedürfnisse der Zielgruppe und den pädagogischen Kontext hin konzipieren zu können. Spätere Nutzer interagieren mit einer Anwendung mit vergleichbarer Zielsetzung, wodurch ein realistischer Einblick in spätere Nutzungsszenarien entsteht und das Systems entsprechend gestaltet werden kann.

#### **7.4.2 Einbeziehung von Konstruktionstätigkeiten**

Kinder versuchen – so eine Feststellung in diesem Vorhaben, die im Konstruktivismus, genereller auf das gesamte Umfeld von Kindern bezogen, bereits verankert ist –, sich in Bezug zu technischen System zu setzen. Dahingehend explorieren sie diese, möchten sie als Teil der eigenen Umwelt verstehen und können schließlich eine eigene Position entwickeln. Um sie in diesem Prozess noch besser unterstützen zu können, so ein Ansatz für weitere Forschungsaktivitäten, können ihnen mehr Gestaltungsmöglichkeiten gegeben und können sie konstruktiv handelnd einbezogen werden.

Die Beispielapplikation *Der Schwarm* ermöglicht Lernenden derzeit primär die Exploration ihrer zugrunde liegenden Prinzipien und Algorithmen, so dass Nutzer vor allem Parameter ändern und eine entsprechende Reaktion beim Schwarm beobachten bzw. hören können. Zwar zeigen die Ergebnisse, dass Kinder sich in einem immersiv-reflexiven Lernprozess mit dem System auseinandersetzen. Hier stellt sich jedoch die Frage, inwiefern sich der



Lernprozess verändert und sich die immersiv-reflexiven Erfahrungen der Kinder vielleicht intensivieren, wenn Kinder mehr gestaltenden Einfluss auf das technische System ausüben können.

Die Gestaltungsebene kann, aus Perspektive der Gestaltung und Entwicklung technischer Systeme, auf zwei Ebenen an den Nutzer abgegeben werden. Einmal bietet sich eine Schnittstelle an, die vorhandenen Algorithmen selber zu gestalten, zu programmieren, vielleicht eigene hinzuzufügen. Zudem kann, in Anlehnung an die Forschung zu Konstruktions-tätigkeiten und entsprechenden Workshops im Bildungskontext, die Entwicklung eigener Projektideen und Produkte durch die Kinder ein weiterer Ansatz sein. Jedes Kind entwickelt eine Idee und realisiert sie, indem anhand eines Construction Kits ein technisches Artefakt konstruiert und programmiert wird.

Im Fall meines Vorhabens würden die Ideen auf den vorherigen Erfahrungen mit der Beispielapplikation *Der Schwarm* aufbauen. Nach Exploration der technischen Systeme kann die Ideenfindung stattfinden, so dass die Eindrücke im Konstruktionsprozess des technischen Artefakts erneut reflektiert werden können. An den resultierenden Artefakten wird deutlich, welche Prinzipien verstanden wurden, und auch, welche Aspekte der Beispielapplikation das Kind besonders interessiert hat und wie es diese für sein eigenes Projekt interpretiert und anwendet.

### 7.4.3 Alternative Lernziele zu Medienbildung

Neben unserer Ausrichtung, das Lernen von Algorithmen und damit Prinzipien Digitaler Medien zu fördern, kann *Moving Algorithm* auch für andere Lerninhalte verwendet werden. Die Kinder zeigen beispielsweise großes Interesse an Schwärmen, womit sich ein Ansatzpunkt für naturwissenschaftliche Themen bietet. Die Selbstorganisation von staatenbildenden Tieren ist ein mögliches Thema. Der algorithmische Schwarm fungiert als vereinfachtes Modell, das das Bewusstsein für zugrunde liegende Regeln auch bei natürlichen staatenbildenden Tieren öffnet. Die Interaktion mit dem Schwarm ist Motivationsfaktor zur Auseinandersetzung. Je nach Alter der Kinder können auch die Schwierigkeiten der Simulation von Schwärmen und verschiedene Algorithmen besprochen werden. Damit würden Digitale Medien wieder Lerngegenstand.

Eine andere thematische Ausrichtung ist Musik, die für Kinder eine Ausdrucksmöglichkeit ihrer Interessen darstellt, sie drückt Zugehörigkeit bzw. Sympathien zu bestimmten Gruppen aus. In *Moving Algorithm* vorgesehen und in *Der Schwarm* implementiert, bewegen sich Kinder zu der Musik, die sie im selben Augenblick durch ihre Bewegungen komponieren. Grundlagen der Musiktheorie und vor allem der digitalen Klanggenerierung können dabei erkundet werden, die Kinder können ihre eigene Musik gestalten.

Es gibt auch Potentiale im Bereich Sport. Auf die in den Gruppeninterviews abschließende Frage, was den Kindern am besten gefallen habe, hat die Mehrheit die Interaktion auf der Aktionsfläche genannt. Begründung war die körperliche Aktivität mit Aussagen, wie beispielsweise: „ja weil, da bewegt man sich **selbst**, macht man bisschen Sport (2) ja dann- trampelt man die, oder man rennt **weg**“, die aus einem Gruppeninterview des *Boids Regeln*-Workshops stammt. Ein vergleichbarer Kommentar ist im *Swarming Sounds*-Workshop gefallen: „Ich fand das irgendwie besser oben [beim Schwarm], weil da kann man sehen wie die echt waren und das konnte man sich da bewegen da drauf trampeln was man am Computer nicht konnte“, „auf dem Computer kann man nicht rumtrampeln“. Neben der eigenen Körperwahrnehmung ist eine spannende Frage, was die Teilnehmer unbewusst durch ihren Körper in der Interaktion mit dem Schwarm gelernt haben.

#### 7.4.4 Der Körper als Medium

Die Ergebnisse dieser Arbeit machen deutlich, dass Kinder freie Körperbewegung im Zusammenhang mit technischen Systemen sehr interessant finden. Beispielsweise zeigt die Diskussion um Körperscanner an deutschen Flughäfen, wie sensibel das Thema rund um den eigenen Körper für viele Menschen ist. Obwohl Datenträger wie biometrische Personalausweise oder Krankenversichertenkarten mehr Informationen über eine Person enthalten, wird das Einscannen des eigenen Körpers, des eigenen Leibs, deutlicher als Eingriff in die Privatsphäre empfunden. Hier kann die Informatik noch mehr dazu beitragen, dass eine Hinterfragung technischer Systeme im Alltag im Sinne einer Medienbildung stattfindet, und ein Verständnis mit entsprechender Sensibilität für die Interaktion zwischen Mensch und System zu entwickeln, die ganzkörperliche Bewegung einschließt.

Der Einsatz von freier Körperbewegung als Medium der Interaktion zwischen Mensch und technischem System ist, wie die Untersuchung in dieser Arbeit zeigt, ein viel versprechender Ansatz. Dahingehend kann zu dem Verständnis von Embodied Interaction noch beigetragen werden. Anstatt ein Eingabegerät zu steuern und einen Avatar zu lenken, werden eigene Körperbewegungen zum Kommunikationsmedium und der Körper avanciert zum Avatar. Neben der Erkennung freier Körperbewegungen mit Laserscannern stellen beispielsweise Motion Capture Suits, mit Sensoren versehene Anzüge, eine weitere Erkennungsmöglichkeit dar. Die Bewegungen werden erkannt, in einer Software als bewegte Bilder aufgenommen und können dort weiterverarbeitet werden.

#### 7.4.5 Algorithmische Schwärmereien

Das technische System *Der Schwarm*, so meine mehrjährige Erfahrung aus Workshops und Ausstellungen, ist nicht ausschließlich für Kinder spannend. Auch Erwachsene zeigen Inter-

esse an *Der Schwarm* und sehen für sich hauptsächlich künstlerische Anknüpfungspunkte. Das gibt Anlass zu der Frage, inwiefern *Der Schwarm* für eine künstlerische Auseinandersetzung geeignet ist und wie diese aussehen kann. Dahingehend sind erste Experimente durchgeführt worden, in denen vor allem der performative Charakter der Mensch-Schwarm-Interaktion von *Der Schwarm* aufgegriffen wird. In dem Projekt OPEN SPACE\_OPEN HEART\_OPEN MIND ist *Der Schwarm* ein Bestandteil einer (neu) zu entdeckenden urbanen Umgebung. Die beiden anderen durchgeführten Projekte, ein Theaterworkshop und die Tanzperformance shambaSchwarm, können als Experimente gedacht werden, wie Digitale Medien, ausgehend von den performativen Künsten, erfahren und erforscht werden können.

Das Projekt OPEN SPACE\_OPEN HEART\_OPEN MIND<sup>2</sup> ist, unter Leitung einer Einrichtung des Theaters Bremen, 2010 zur Aufführung gekommen. Die Theatergruppe Junge Akteure von der Moks Theaterschule haben einen Spaziergang durch einen Bremer Stadtteil organisiert, bei dem der Besucher in ständigem Telefonkontakt mit einem Mitarbeiter des Projekts steht. Der Besucher wird von dem Gesprächspartner durch öffentliche und private Räumlichkeiten navigiert und nimmt Handlungsaufforderungen entgegen. Auf dem Spaziergang gibt es mehrere Stationen, an denen der Besucher auf Schauspieler und Mitwirkende trifft, sich seiner Umgebung gewahr werden soll, zur aktiven Mitgestaltung aufgefordert wird. Das technische System *Der Schwarm* ist eine dieser Stationen und wurde dazu in einer Galerie aufgebaut, in der die Zuschauer von ihrem telefonischen Begleiter zur Interaktion mit dem Schwarm motiviert wurden. Die Organisatoren verstehen die Gesamtheit der Besucher der Inszenierung als Schwarm, der sich den Stadtteil neu erschließt.

Einen ebenso direkten Bezug zu den performativen Künsten hat ein, in dieser Arbeit bisher nicht erwähnter, dreitägiger Workshop mit *Der Schwarm*. Darin haben junge Erwachsene im Frühjahr 2010 ein Theaterstück mit *Der Schwarm* entwickelt und aufgeführt. Nachdem die Gruppe am ersten Tag alle Aspekte des Schwarms erforscht hat, überlegte sie sich am zweiten Tag eine Handlung und Inszenierung für ein 20-minütiges Stück. Am dritten und letzten Tag des Workshops haben die Teilnehmer das Stück nach letzten Proben aufgeführt. In einer anschließenden Diskussionsrunde konnten sie den Workshop reflektieren. Nach ihren Aussagen lag eine Herausforderung für sie darin, sich auf die Funktionsweise des Schwarms einzulassen und ihre eigenen Handlungen zeitlich mit den Reaktionen vom Schwarm zu koordinieren. Der Schwarm wirke, so die Workshopteilnehmer, besonders authentisch, wenn der Akteur den Schwarmalgorithmus kenne und dadurch der Eindruck einer beidseitigen Kommunikation entstehe.

Mit diesem Gedanken wird bei der Tanzaufführung shambaSchwarm gespielt. Im Rahmen der Ausstellung shamba – Geheimnisvolle Gartenräume an der Universität Bremen kam es bereits im Jahr 2008 zur Aufführung eines Tanzes einer professionellen Tänzerin

<sup>2</sup>Thamm, Martin (Idee, Konzept und künstlerische Leitung), Junge Akteure – Die Moks Theaterschule, OPEN SPACE\_OPEN HEART\_OPEN MIND: Jubiläumswalk – Ein inszenierter Rundgang durch das Bremer Viertel, <http://www.jungeakteure.de/angebot.php?id=80>

mit *Der Schwarm*. In der etwa neunminütigen Choreographie soll eine Mensch-Computer-Interaktion zum Ausdruck kommen, die jenseits klassischer Eingabe-/Ausgabetechniken funktioniert und eine eigendynamische, sinnliche Auseinandersetzung ermöglicht. Die Tanzperformance *shambaSchwarm* ist in einer Zusammenarbeit von dem Choreographen Harry Seelig<sup>3</sup>, der Tänzerin Katharina Reif<sup>4</sup> und mir entwickelt worden. Die Choreographie ist dahingehend entwickelt worden, dass der Schwarm wenigstens einmal in jeden Zustand zu sehen ist und der Zuschauer alle Facetten der Mensch-Schwarm-Interaktion betrachten kann. Die Bewegungen der Tänzerin sind teilweise choreographiert und teilweise improvisiert, so dass sie den Schwarm zu einem Zeitpunkt der Performance in den jeweils entsprechenden Zustand zum Zeitpunkt versetzen kann.

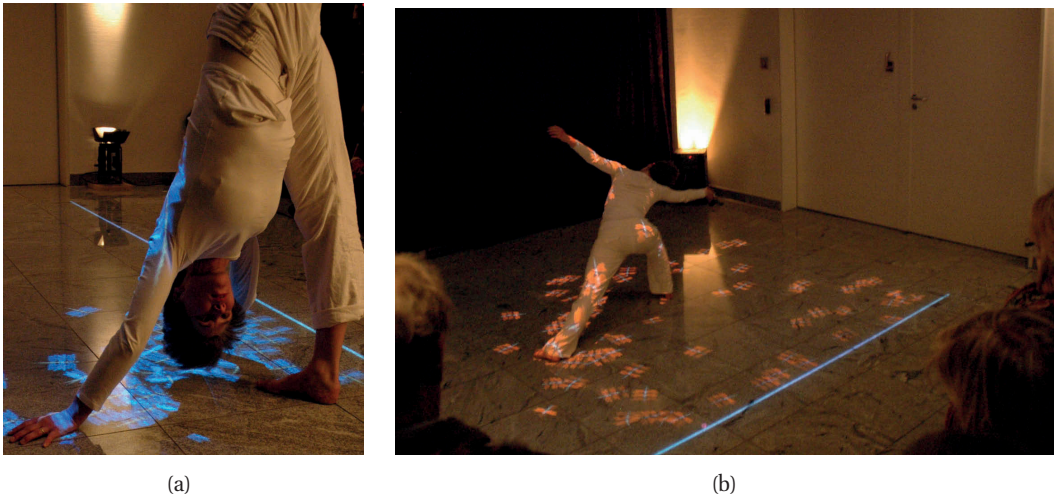


Abbildung 7.2: Fotos von der Aufführung von *shambaSchwarm*

Für die Aufführung ist eine Bildserie namens *Libelle* entwickelt worden, um – im Gegensatz zur Serie *Käferspinne* – Anmut und Zartheit zu transportieren (siehe auch Hashagen et al. 2008b), die auch durch die Körpersprache – also Bewegung, Gestik und Mimik – der Tänzerin wieder hervorgehoben wird. Vor Beginn des Tanzes wurde auf der Aktionsfläche ein für diesen Anlass verfasstes Gedicht von Anja Kümmel<sup>5</sup> vorgetragen. Die Abbildungen der Bildserie und das Gedicht sind in Anhang C.3 einzusehen. Die Fotos in den Abbildungen 7.2(a)-(b) zeigen die Tänzerin während der Aufführung in der Interaktion mit den algorithmischen, schwärmenden Libellen. Das technische System *Der Schwarm* konnte in den Aufführungspausen von den Besuchern exploriert werden.

Das System und die Tanzperformance<sup>6</sup> haben zahlreiche, vor allem positive Rückmeldungen hervorgerufen. Ein besonders interessanter, kritischer Kommentar kam von einem Zu-

<sup>3</sup>Harry Seelig, Theater der Versammlung, Universität Bremen

<sup>4</sup>Katharina Reif, tanzwerk bremen, <http://www.katharina-reif.de/>

<sup>5</sup>Anja Kümmel, freischaffende Autorin, Journalistin und Lektorin, <http://www.anjakuemmel.com/>

<sup>6</sup>Die Tanzperformance gab Anlass für ein weiteres Projekt, in dem der Film „Sterne, Tanz und Algorithmen“ entstand. Darin werden u. a. ein entsprechender Tanz und Interviews mit Prof. Dr. Heidi Schelhowe, mir und Wissenschaftlern anderer Fachgebiete über Algorithmen und Schwarmverhalten gezeigt. Weitere Infor-

schauer, der das Gefühl gehabt habe, die persönliche, teilweise intime Stimmung zwischen Tänzerin und Schwarm durch seine Anwesenheit zu stören. Er habe die Interaktion als so persönlich empfunden, dass Unbeteiligte sie nicht unbedingt ansehen sollten.

Die Gesamtheit der Rückmeldungen und insbesondere die letztgenannte kann als Hinweis dafür gesehen werden, dass das Zusammenspiel von technischem System und Tänzerin in besonderer Weise authentisch und emotional, fast intim, wirkt und eine Art Experience auslöst. Diese Wirkung kann wohl erst dann erzielt werden, wenn der Akteur – in diesem Fall die Tänzerin – den Algorithmus der Mensch-Computer-Kommunikation verstanden, ja *verinnerlicht* hat. Diese Erkenntnisse drücken sich letztlich in ihren Bewegungen aus, die durch ihre Fähigkeit, allein mit dem Körper kommuizieren zu können, besonders anmutig – und die Interaktion mit dem Schwarm gar intim – wirken mögen.

Die Reflexionen der Teilnehmer aus dem Theaterworkshop stützen, wie bereits angedeutet, diesen Gedanken. Die Teilnehmer empfinden den Schwarm erst dann als besonders authentisch, wenn das Zusammenspiel zwischen Akteur und Schwarm möglichst optimal aufeinander abgestimmt ist, was wiederum die Auseinandersetzung mit dem entsprechenden Algorithmus erforderlich macht.

Eine naheliegende These ist, dass erst die Auseinandersetzung mit einem Algorithmus, eine entsprechende Choreographie und schließlich eine als ästhetisch (im Sinne von 'schön') wahrgenommene Performance ermöglicht. Dabei mögen auch Rückschlüsse zur algorithmischen Kunst möglich sein, so ein algorithmisches Bild besonders gelungen wirkt, wenn der Algorithmus nachvollzogen ist. Eine Folgerung könnte daher lauten: Das Verständnis vom Algorithmus befähigt zur gelungenen und geradezu anmutig-schön wirkenden Interaktion zwischen Mensch und technischem System. Ein Anknüpfungspunkt für weitere Forschungsaktivitäten wäre die Frage, ob und inwiefern dies Bestand hat und welche Hinweise für die Gestaltung derartiger Systeme, in der die Erforschbarkeit des Regelwerks als Kriterium für eine solche Interaktion (in der digitalen Kunst) angelegt wird, gelten können.

Als Schlussbemerkung sei gesagt, dass ich in diesem Vorhaben einen Ansatz vorgestellt habe, wie be-greifbare Systeme für Kinder in pädagogischen Kontexten gestaltet und entwickelt werden können, damit eigenmotivierte Lernprozesse immersiver und reflexiver Auseinandersetzung zur Erlangung von Medienkompetenz gefördert werden. Diese Thematik, immersive Technologien und reflexive Räume zu schaffen, und dahingehend denkbare Verflechtungen von Informatik, Pädagogik und Kunst zu entwickeln, finde ich spannend und möchte auch zukünftig dazu beitragen.

---

mationen: streese.film.produktion, Jörg Streese, <http://www.streese-film.de/index.php?c=3&c3=1>



# Illustrieren

## Abbildungen

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 2.1  | Algorithmische Bilder von Georg Nees . . . . .  | 12  |
| 2.2  | Algorithmische Bilder von Frieder Nake . . . . .  | 15  |
| 2.3  | Algorithmische Bilder von A. Michael Noll . . . . .   | 16  |
| 2.4  | Algorithmische Bilder von Manfred Mohr I . . . . .  | 16  |
| 2.5  | Algorithmische Bilder von Manfred Mohr II . . . . .   | 17  |
| 3.1  | Einordnung von User Experience Design . . . . .   | 42  |
| 3.2  | Handlungsebenen und Sinngehalt . . . . .  | 44  |
| 4.1  | Schematische Darstellung von <i>Moving Algorithm</i> zur Gestaltung immersiv-reflexiver Erfahrung . . . . .             | 57  |
| 4.2  | Roboter e-puck und Jasmine III . . . . .  | 62  |
| 4.3  | Schwarmkunst-Projekte OrbSWARM und Delicate Boundaries . . . . .  | 63  |
| 4.4  | Schematische Darstellung von Konzept und Umsetzung des Vorhabens . . . . .  | 66  |
| 5.1  | Umsetzung der Komponenten in <i>Der Schwarm</i> . . . . .   | 71  |
| 5.2  | Technische Aufbaumöglichkeiten von <i>Der Schwarm</i> . . . . .   | 73  |
| 5.3  | Eingabe-Ausgabe Konzept bei <i>Der Schwarm</i> . . . . .  | 74  |
| 5.4  | Bestandteile des <i>Portals</i> . . . . .   | 76  |
| 5.5  | Sichtfeld eines Boids . . . . .   | 85  |
| 5.6  | Boids Verhaltensweisen nach drei Regeln . . . . .   | 86  |
| 5.7  | Bilderserie <i>Käferspinne</i> . . . . .  | 91  |
| 5.8  | Bilderserie <i>Punkt</i> . . . . .  | 91  |
| 5.9  | Das Portal im Administrationsmodus von <i>Der Schwarm</i> . . . . .   | 97  |
| 5.10 | Grafische, zur Projektion ausgelegte Ausgabe von <i>Der Schwarm</i> . . . . .   | 98  |
| 5.11 | Konfigurationsfenster für Presets in <i>Der Schwarm</i> . . . . .   | 98  |
| 5.12 | Das Portal im Benutzermodus von <i>Der Schwarm</i> . . . . .  | 99  |
| 5.13 | Eingangsbildschirm und Erklärung der Handhabung und drei Regeln des Schwarmalgorithmus in <i>Boids Regeln</i> . . . . . | 101 |
| 5.14 | Zweiter Eingangsbildschirm zum Simulations- bzw. Erklärungsteil in <i>Boids Regeln</i> . . . . .                        | 102 |
| 5.15 | Benutzungsoberfläche zur Schwarmverhaltenssimulation nach drei Regeln in <i>Boids Regeln</i> . . . . .                  | 103 |
| 5.16 | Das Pleasure-Arousal-Dominance-Emotionsmodell im dreidimensionalen Raum   | 109 |
| 5.17 | Aussehen der Schwarmagenten während der Bewegungsmustereingabe . . . . .  | 113 |
| 5.18 | Einstiegsbildschirm und Erklärungstext der Komponente <i>Merk:Mal</i> . . . . .   | 119 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.19 | Benutzungsoberfläche im Bereich <i>Formen erstellen</i> der Komponente <i>Merk:Mal</i> | 120 |
| 5.20 | Bereich <i>Formen verbinden</i> der Komponente <i>Merk:Mal</i> . . . . .               | 122 |
| 5.21 | Benutzungsoberfläche im Bereich <i>Formen erkennen</i> der Komponente <i>Merk:Mal</i>  | 122 |
| 5.22 | Administrationsoberfläche auf Beamer-Grafik zur Steuerung mit Wii-Remote .             | 125 |
| 6.1  | Schwarmagentengrafiken für <i>Boids Regeln</i> -Workshop . . . . .                     | 144 |
| 6.2  | Schematische Darstellung von Konzept, Umsetzung und Evaluation des Vorhabens . . . . . | 148 |
| 6.3  | Workshopteilnehmer interagiert mit <i>Der Schwarm</i> . . . . .                        | 151 |
| 6.4  | Workshopteilnehmer bilden einen menschlichen Schwarm . . . . .                         | 155 |
| 6.5  | Workshopteilnehmerin erforscht die Positionserkennung des Laserscanners . .            | 157 |
| 7.1  | Schematische Darstellung von Konzept, Umsetzung, Evaluation und Ergebnissen . . . . .  | 172 |
| 7.2  | Fotos von der Aufführung von <i>shambaSchwarm</i> . . . . .                            | 182 |
| 3    | Bilderserie <i>Libelle</i> . . . . .   | 252 |



# Systematisieren

## Tabellen

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.1 | Implementierung der Status in Verhaltensweisen des Schwarms . . . . .                                       | 91  |
| 5.2 | Zugriffsrechtssystem vom Portal: Zuordnung von Funktion zu Nutzergruppe .                                   | 96  |
| 5.3 | Wechselbeziehung von Emotionen und musikalischen Merkmalen . . . . .  | 108 |
| 5.4 | Zuordnung: Klangmerkmal zu emotionalem Zustand und emotionaler Zu-<br>stand zu Schwarmeigenschaft . . . . . | 110 |
| 5.5 | Erkennungsraten der drei Klassifizierungsverfahren . . . . .  | 117 |
| 5.6 | Zuordnung Wii-Remote-Gesten und Reaktion des Schwarms . . . . .   | 124 |
| 6.1 | Zeitplanung für Workshop . . . . .  | 141 |
| 1   | Transkriptionszeichen I . . . . .   | 213 |
| 4   | Transkriptionszeichen II . . . . .  | 217 |
| 5   | Übersicht der Funktionalität in der Software zu <i>Der Schwarm</i> . . . . .                                | 244 |
| 6   | Inhalt vom Schwarm Repository . . . . .   | 249 |



# Nachlesen

## Literatur

- Abbott, Chris (2007): E-Inclusion – Learning Difficulties and Digital Technologies. Technischer Bericht 15, Futurelab London.
- Abraham, Ajith; Guo, He und Liu, Hongbo (2006): Swarm Intelligence – Foundations, Perspectives and Applications. In Nedjah, Nadia und Mourelle, Juiza M. (Hg.) *Swarm Intelligent Systems*, Berlin: Springer, Nr. 26 in Studies in Computational Intelligence, 3–25.
- Ackermann, Edith K. (1996): Perspective-Taking and Object Construction: Two Keys to Learning. In Kafai, Yasmin B. und Resnick, Mitchel (Hg.) *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum, 25–35.
- Ackermann, Edith K. (2001): Piaget's Constructivism, Papert's Constructionism: What's the Difference? In *Constructivism: Uses and Perspectives in Education*, Bd. 1-2, 85–94.
- Anderson, David J. (2003): *Agile Management for Software Development: Applying the Theory of Constraints for Business Results*. The Coard Series, Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, coad, Peter (Hg.).
- Anderson, Richard (2000): Organizational Limits to HCI – Conversations with Don Norman and Janice Rohn. *interactions*, 7 (3).
- Antle, Alissa N.; Droumeva, Milena und Corness, Greg (2008): Playing with the Sound Maker: Do Embodied Metaphors Help Children Learn? In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction Design and Children (IDC 2008)*, New York NY: ACM, 178–185.
- Applegate, David L.; Bixby, Robert E.; Chvátal, Vašek und Cook, William J. (2006): *The Traveling Salesman Problem – A Computational Study*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Arifin, Sutjipto und Cheung, Peter Y. K. (2007): A Computation Method for Video Segmentation Utilizing the Pleasure-Arousal-Dominance Emotional Information. In *Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia (MULTIMEDIA 2007)*, New York NY: ACM, 68–77.
- Arnold, Magda (Hg.) (1972): *Feelings and Emotions*. New York NY: Academic Press.
- Arnowitz, Jonathan und Dykstra-Erickson, Elizabeth (2007): Business Leadership and the UX Manager. *interactions*, 14 (3).

- Auer, Johannes; Heibach, Christiane und Suter, Beat (o.J.): netzliteratur.net\_Netzliteratur // Internetliteratur // Netzkunst. Letzter Aufruf im Mai 2011.  
URL <http://www.netzliteratur.net>
- Averill, James R. und Nunley, Elma P. (Hg.) (1993): *Die Entdeckung der Gefühle – Ursprung und Entwicklung unserer Emotionen*. Hamburg: Kabel.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff und Weiber, Rolf (2009): *Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer.
- Baumgärtel, Tilman (1999): *[Net.art]: Materialien zur Netzkunst*. Nürnberg: Verlag für Moderne Kunst.
- Bederson, Benjamin B.; Hollan, James D.; Druin, Allison; Stewart, Jason; Rogers, David und Proft, David (1996): Local Tools: An Alternative to Tool Palettes. In *UIST '96: Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York NY: ACM, 169–170.
- Bense, Max (1965a): *Aesthetica*, Bd. 1-4. Baden-Baden: Agis.
- Bense, Max (Hg.) (1965b): *Computer-Grafik, edition rot*, Bd. 19. Stuttgart: Hans Jörg Mayer Druck.
- Berg, Stephan und Engler, Martin (Hg.) (2003): *Die Sehnsucht des Kartografen*. Hannover: Kunstverein Hannover, die Publikation erscheint anlässlich der gleichnamigen Ausstellung im Kunstverein Hannover 2003/04.
- Bergmann, Jörg R. (1988): Ethnomethodologie und Konversationsanalyse. Technischer Bericht 2, FernUniversität GHS Hagen, Fachbereich Erziehungs-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Hagen.
- Berlyne, Daniel E. (1974): *Konflikt, Erregung, Neugier – Zur Psychologie der kognitiven Motivation*. Konzepte der Humanwissenschaften, Stuttgart: Klett, 1 Aufl..
- Bernard, Michael; Mills, Melissa; Frank, Talissa und McKown, Jan (2001): Which Fonts Do Children Prefer to Read Online? Technischer Bericht HCI-TR-05-02, Software Usability Research Laboratory, Wichita State University, usability Notes, Volume 3, Issue 1.
- Berzowska, Joanna (2005): Electronic Textiles: Wearable Computers, Reactive Fashion, and Soft Computation. *Textile – The Journal of Cloth and Culture*, 3, 2–19.
- Beyls, Peter; Bell, Stephen; Evans, Brian; Hebert, Jean-Pierre; Musgrave, Ken und Verostko, Roman (1995): Algorithms and the Artist (Panel Session). In *Proceedings of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH1995)*, New York NY: ACM, 495–496, ebenfalls als Positionspapier für eine Panel Session in Proceedings of the 4th International Symposium on Electronic Art (ISEA 1994).
- Birkhoff, Georg D. (1933): *Aesthetic Measure*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Black, Sandy und Baker, Morris (2005): Work in Process – Artists' Collaborations in Fashion and Fextiles. In *Proceedings of the 5th Conference on Creativity & Cognition (C&C 2005)*, New York NY: ACM, 286–288.

- Blackwell, Tim (2007): *Swarming and Music*. In Miranda, Eduardo R. und Biles, John Al (Hg.) *Evolutionary Computer Music*, London: Springer, 194–217.
- Blackwell, Tim M. und Bentley, Peter J. (2002): *Improvised Music with Swarms*. In *Proceedings of the Congress on Evolution Computation 2002*, Washington DC: IEEE Computer Society, 1462–1467.
- Boehm, Barry W. (1981): *Software Engineering Economics*. Prentice–Hall Advances in Computing Science and Technology Series, Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, yeh, Raymond T. (Hg.).
- Boehm, Barry W. (1986): *A Spiral Model of Software Development and Enhancement*. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 11, 14–24.
- Bohnacker, Hartmut; Groß, Benedikt und Laub, Julia (2009): *Generative Gestaltung – Entwerfen, Programmieren, Visualisieren*. Mainz: Schmidt, Iazzeroni, Claudius (Hg.).
- Bohnsack, Ralf (2008): *Rekonstruktive Sozialforschung: Einführung in qualitative Methoden, UTB Erziehungswissenschaft Sozialwissenschaft*, Bd. 8242. Opladen: Budrich, 7. Aufl..
- Bongers, Bert (2002): *Interactivating Spaces*. In Lasker, George E.; Lily, Jane und Rhodes, James (Hg.) *Proceedings of the Symposium on Systems Research in the Arts: Music, Environmental Design & the Choreography of Space, International Conference on Systems Research, Informatics, and Cybernetics*, Ontario: International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics.
- Boyd, Jeffrey E.; Hushlak, Gerald und Jacob, Christian J. (2004): *SwarmArt – Interactive Art from Swarm Intelligence*. In *Proceedings of the 12th Annual ACM International Conference on Multimedia (MULTIMEDIA 2004)*, New York NY: ACM, 628–635.
- Brauer, Volker (1996): *Gestenerkennung mit einem Datenhandschuh*. Technischer Bericht, Forschungszentrum Arbeit und Technik (artec), Universität Bremen, Bremen.
- Brown, Paul (1997): *Networks and Artworks: The Failure of the User-friendly Interface*. In Mealing, Stuart (Hg.) *Computers and Art*, Exeter: Intellect, 129–142.
- Brown, Paul; Gere, Charlie; Lambert, Nicholas und Mason, Catherine (Hg.) (2009): *White Heat Cold Logic – British Computer Art 1960-1980*. Leonardo, Cambridge MA: MIT Press.
- Bruckman, Amy; Druin, Allison; Inkpen, Kori M. und Preece, Jenny (2001): „The Children’s Challenge: New Technologies to Support Co-located and Distributed Collaboration“ Report on the CSCW 2000 Panel. *ACM SIGCHI Bulletin – A Supplement to interactions*, 2001, 6–ff.
- Bruckman, Amy; Forte, Andrea und Bandlow, Alisa (2007): *Human-Computer Interaction for Kids*. In Jacko, Julie und Sears, Andrew (Hg.) *The Human-Computer Interaction Handbook – Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications*, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2. Aufl., 793–810.
- Brüsemeister, Thomas (2008): *Qualitative Forschung – Ein Überblick*. Hagener Studententexte zur Soziologie, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2. Aufl..

- Buechley, Leah (2006): A Construction Kit for Electronic Textiles. In *Proceedings of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, Los Alamitos CA: IEEE Computer Society Press.
- Burton, Ed (1995): Representing Representation: Making a Computer Draw like a Child: An MA Computing in Design Research Project. *SIGGRAPH Computer Graphics*, 29, 28–32.
- Burton, Ed (1997): Representing Representation: Artificial Intelligence and Drawing. In Mealing, Stuart (Hg.) *Computers and Art*, Exeter: Intellect, 55–75.
- Butler, Martin (2008): The Girlfriend Experience. In Nöring, Alfred, Hermann and Rotert und Sausmikat, Ralf (Hg.) *Identity – European Media Art Festival Osnabrück 2008 (EMAF)*, Bramsche: Rasch.
- Buxton, Bill (2005): Experience Design vs. Interface Design. *Rotman Magazine*, 47–49, the Alumni Magazine of the Rotman School of Management.
- Buxton, Bill (2007): *Sketching User Experiences – Getting the Design Right and the Right Design*. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers.
- Calvillo Gámez, Eduardo H. (2009): *On the Core Elements of the Experience of Playing Video Games*. Dissertation, University College London Interaction Centre & Department of Computer Science.
- de Campo, Alberto; Dayé, Christian und Egger de Campo, Marianne (2006): Sonifikationen in der wissenschaftlichen Datenanalyse. *Angewandte Sozialforschung*, 24 (1/2), 41–56.
- Cavallo, David; Sipitakiat, Arnan; Basu, Anindita; Bryant, Shaundra; Welti-Santos, Larissa; Maloney, John; Chen, Siyu; Asmussen, Erik; Solomon, Cynthia und Ackermann, Edith (2004): RoBallet: Exploring Learning through Expression in the Arts through Constructing in a Technologically Immersive Environment. In *Proceedings of the 6th International Conference on Learning Sciences (ICLS 2004)*, International Society of the Learning Sciences, 105–112.
- Chao-gang, Wan; Jie-yu, Zhao und Yuan-yuan, Zhang (2008): An Emotion Generation Model for Interactive Virtual Robots. In *Proceedings of the 2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID 2008)*, Washington DC: IEEE Computer Society, 238–241.
- Charsky, Dennis (2010): From Edutainment to Serious Games – A Change in the Use of Game Characteristics. *Games and Culture*, 5 (2), 177–198.
- Chiasson, Sonia und Gutwin, Carl (2005): Design Principles for Children's Software. Technischer Bericht HCI-TR-05-02, Computer Science Department, University of Saskatchewan.
- Chomsky, Noam (1972): *Aspekte der Syntax-Theorie*. Theorie, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 16. - 19. tsd. Aufl., aus dem Amerikan. übers. und hrsg. von einem Kollektiv unter der Leitung von Ewald Lang.
- Clark, Ruth C. und Lyons, Chopeta (2004): *Graphics for Learning – Proven Guidelines for Planning, Designing, and Evaluating Visuals in Training Materials*. San Francisco CA: Pfeiffer.

- Clements, Douglas H. (2005): Playing with Computers, Playing with Ideas. *Educational Psychology Review*, 7 (2), 203–207.
- Cohen, Harold (1995): The Further Exploits of Aaron, Painter. *Stanford Humanities Review*, 4, 141–158.
- Conde, Susan (2001): The Fractal Artist. *Leonardo*, 34 (1), 3–10.
- Cook, Norman D. und Fujisawa, Takashi X. (2006): The Use of Multi-pitch Patterns for Evaluation the Positive and Negative Valence of Emotional Speech. In Hoffmann, Rüdiger und Mixdorff, Hansjörg (Hg.) *Speech Prosody – 3rd International Conference. Dresden, May 2-5, 2006. Abstract Book and CD-ROM Proceedings*, Dresden: TUDpress.
- Corby, Tom (Hg.) (2006): *Network Art – Practices and Positions*. Innovations in Art and Design, London: Routledge.
- Crampton Smith, Gillian (1995): Marble-Answering-Machine – The Hand That Rocks the Cradle.
- Darbyshire, Philip; MacDougall, Colin und Schiller, Wendy (2005): Multiple Methods in Qualitative Research with Children: More Insight or just More? *Qualitative Research*, 5 (4), 417–436.
- Dewey, John (1949a): *Art as Experience*. New York NY: Pedigree Books.
- Dewey, John (1949b): *Demokratie und Erziehung – Eine Einleitung in die philosophische Pädagogik*. Berlin: Westermann.
- Diehl, Sandra (2002): *Erlebnisorientiertes Internetmarketing – Analyse, Konzeption und Umsetzung von Internetshops aus verhaltenswissenschaftlicher Perspektive*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Dittert, Nadine; Dittmann, Katharina; Grüter, Thorsten; Kümmel, Anja; Osterloh, Anja; Reichel, Milena; Schelhowe, Heidi; Volkman, Gerald und Zorn, Isabel (2008): Understanding Digital Media by Constructing Intelligent Artefacts - Design of a Learning Environment for Children. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2008*, Chesapeake VA: AACE, 2348–2357.
- Dix, Alan (2004): *Funology*, Norwell MA: Kluwer Academic Publishers, Kap. Deconstructing Experience – Pulling Crackers Apart. 165–178.
- Dixon, Steve (2007): *Digital Performance – A History of New Media in Theater, Dance, Performance Art, and Installation*. Leonardo, Cambridge MA: MIT Press, mitarbeit von Barry Smith.
- Djajadiningrat, Tom; Matthews, Ben und Stienstra, Marcelle (2007): Easy Doesn't Do It – Skill and Expression in Tangible Aesthetics. *Personal Ubiquitous Computing*, 11, 657–676.
- Dorigo, Marco (1992): *Optimization, Learning and Natural Algorithms*. Dissertation, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milano.
- Dorigo, Marco und Stützle, Thomas (2004): *Ant Colony Optimization*. Cambridge MA: MIT Press.

- Dorigo, Marco; Tuci, Elio; Groß, Roderich; Trianni, Vito; Labella, Thomas H.; Nouyan, Shervin; Ampatzis, Christos; Deneubourg, Jean-Louis; Baldassarre, Gianluca; Nolfi, Stefano; Mondada, Francesco; Floreano, Dario und Gambardella, Luca M. (2006): The SWARM-BOTS Project. In Sahin, E. und Spears, W. (Hg.) *Proceedings of the First International Workshop on Swarm Robotics at SAB 2004*, Berlin: Springer, *Lecture Notes in Computer Science*, Bd. 3342, 31–44.
- Dourish, Paul (2001): *Where the Action Is – The Foundations of Embodied Interaction*. Cambridge MA: MIT Press.
- Druin, Allison (Hg.) (1998): *The Design of Children's Technology*. San Francisco CA: Morgan Kaufmann.
- Druin, Allison (1999): Cooperative Inquiry – Developing New Technologies for Children with Children. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI1999)*, New York NY: ACM, 223–230.
- Druin, Allison (2002): The Role of Children in the Design of New Technology. *Behaviour and Information Technology*, 21 (1), 1–25.
- Druin, Allison; Bederson, Ben; Boltman, Angela; Miura, Adrian; Knotts-Callahan, Debby und Platt, Mark (1998): Children as Our Technology Design Partners. In Druin, Allison (Hg.) *The Design of Children's Technology – How We Design, What We Design and Why*, San Francisco CA: Morgan Kaufmann, Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies, 51–72.
- Druin, Allison und Hourcade, Juan P. (2005): Introduction. *Communications of the ACM – Interaction Design and Children*, 48, 32–34.
- Druin, Allison und Inkpen, Kori (2001): When are Personal Technologies for Children? *Personal and Ubiquitous Computing*, 5 (3), 191–194.
- Duncker, Karl (1945): On Problem-Solving. *Psychological Monographs*, 58, 1–114, neudruck: Westport, CT, Greenwood, 1972.
- Edwards, Helen und Benedyk, Rachel (2007): A Comparison of Usability Evaluation Methods for Child Participants in a School Setting. In *Proceedings of the 6th International Conference on Interaction Design and Children (IDC 2007)*, New York NY: ACM, 9–16.
- Ehn, Pelle (1988): *Work-oriented Design of Computer Artifacts*. Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum.
- Eisenberg, Michael; Eisenberg, Ann; Buechley, Leah und Elumeze, Nwanua (2006): Invisibility Considered Harmful: Revisiting Traditional Principles of Ubiquitous Computing in the Context of Education. In *Proceedings of the Fourth IEEE International Workshop on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education (WMTE 2006)*, Washington DC: IEEE Computer Society, 103–110.
- Emming, Alexander (2008): *Conception and Implementation of a Software Tool for Children to Support Learning in the Context of „Der Schwarm“*. Master's thesis, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen.
- Ericsson, Karl A. und Simon, Herbert A. (1984): *Protocol Analysis – Verbal Reports As Data*. Cambridge MA: MIT Press.



- Evert, Kerstin (2003): *DanceLab – Zeitgenössischer Tanz und Neue Technologien*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Fishwick, Paul (Hg.) (2007): *Aesthetic Computing*. Leonardo, Cambridge MA: MIT Press.
- Fleischmann, Monika und Reinhard, Ulrike (2004): *Digitale Transformationen – Medienkunst als Schnittstelle von Kunst, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft*. Heidelberg: Whois.
- Flick, Uwe (2002): *Qualitative Sozialforschung – Eine Einführung*. Reinbek: Rowohlt, König, Burghard (Hg.).
- Forlizzi, Jodi und Battarbee, Katja (2004): Understanding Experience in Interactive Systems. In *Proceedings of the 5th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques (DIS 2004)*, New York NY: ACM, 261–268.
- Franke, Herbert W. (1985): *Computergraphik – Computerkunst*. Berlin: Springer.
- Franke, Herbert W. und Jäger, Gottfried (1973): *Apparative Kunst – Vom Kaleidoskop zum Computer*. DuMont Dokumente, Köln: DuMont.
- Freese, Thorsten (2011): *merk:mal – Eine Software für Kinder zum Erkunden von Bewegungsmustererkennung*. Diplomarbeit, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen.
- Friedman, Menahem und Kandel, Abraham (1999): *Introduction to Pattern Recognition – Statistical, Structural, Neural and Fuzzy Logic Approaches, Machine Perception & Artificial Intelligence*, Bd. 32. Singapore: World Scientific.
- Friedrichs, Jürgen (1982): *Methoden empirischer Sozialforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 10. Aufl..
- Frieling, Rudolf und Daniels, Dieter (Hg.) (2004): *Medien Kunst Netz/Media art net – Medienkunst im Überblick/Survey of Media Art*. Wien: Springer.
- Fucks, Wilhelm (1952): On Mathematical Analysis of Style. *Biometrika*, 39 (1/2), 122–129.
- Gage, Marty; Sanders, Elizabeth B.-N. und William, Colin T. (2008): Generative Search in the Product Development Process. In Charlton, Samuel G. und O'Brian, Thomas G. (Hg.) *Handbook of Human Factors Testing and Evaluation*, London: Taylor & Francis, 2. Aufl., 387–402.
- Garrett, Jesse J. (2002): *The Elements of User Experience – User-Centered Design for the Web*. Berkeley CA: Peachpit, in Conjunction with the American Institute of Graphic Arts.
- Garz, Detlef (2010): Objektive Hermeneutik. In Friebertshäuser, Barbara; Langer, Antje und Prengel, Annedore (Hg.) *Objektive Hermeneutik*, Weinheim: Juventa, 3 (neuausgabe) Aufl., 249–262.
- Garz, Detlef und Kraimer, Klaus (1994): Die Welt als Text – Zum Projekt einer hermeneutisch-rekonstruktiven Sozialwissenschaft. In Garz, Detlef und Kraimer, Klaus (Hg.) *Die Welt als Text – Theorie, Kritik und Praxis der objektiven Hermeneutik*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 7–21.
- Gelernter, David H. (1998a): *Machine Beauty – Elegance and the Heart of Technology*. New York NY: Basic Books.

- Gelernter, David H. (1998b): *The Aesthetics of Computing*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Gilutz, Shuli und Nielsen, Jakob (2002): *Usability of Websites for Children – 70 Design Guidelines*. Fremont CA: Nielsen Norman Group.
- Gisi, Lucas Marco und Horn, Eva (Hg.) (2009): *Schwärme – Kollektive ohne Zentrum: Eine Wissensgeschichte zwischen Leben und Information, Masse und Medium*, Bd. 7. Bielefeld: Transcript.
- Godøy, Rolf Inge und Leman, Marc (Hg.) (2010): *Musical Gestures – Sound, Movement, and Meaning*. New York NY: Routledge Chapman & Hall.
- Grabowski, Susanne (2006): *ZeichenRaum: Digitale Medien in Studenumgebungen am Beispiel der Computerkunst*. Dissertation, Universität Bremen.
- Grau, Oliver (Hg.) (2007): *MediaArtHistories*. Leonardo, Cambridge MA: MIT Press.
- Gray, Noel (1991): Critique and a Science for the Sake of Art: Fractals and the Visual Arts. *Leonardo*, 24 (3), 317–320.
- Greene, Rachel (2004): *Internet Art*. World of Art, London: Thames & Hudson.
- Guminski, Karin (2002): *Kunst am Computer – Ästhetik, Bildtheorie und Praxis des Computerbildes*. Berlin: Reimer.
- Hajinejad, Nassrin (2009): *Swarming Sounds – Entwicklung eines auditiven Displays für Der Schwarm*. Bachelor Report, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen.
- Hannafin, Michael J. und Peck, Kyle L. (Hg.) (1988): *The Design, Development & Evaluation of Instructional Software*. Indianapolis IN: Macmillan Publishing.
- Harel, Idit und Papert, Seymour (1991): *Constructionism: Research Reports and Essays, 1985-1990*. Norwood NJ: Ablex.
- Hartung, Joachim und Elpelt, Bärbel (2007): *Multivariate Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. München: Oldenbourg.
- Hashagen, Anja; Büching, Corinne und Schelhowe, Heidi (2009a): Learning Abstract Concepts through Bodily Engagement: A Comparative, Qualitative Study. In *Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children (IDC 2009)*, New York NY: ACM, 234–237.
- Hashagen, Anja; Hajinejad, Nassrin und Schelhowe, Heidi (2009b): Dancing Sound: Swarm Intelligence based Sound Composition through Free Body Movements. In *Proceedings of ISEA2009 – The 15th International Symposium on Electronic Art*.
- Hashagen, Anja; Pesina, Roman; Volkmann, Gerald und Schelhowe, Heidi (2008a): „Der Schwarm“ – Körpererfahrung und Algorithmik. In Herczeg, Michael und Kindsmüller, Martin C. (Hg.) *Mensch & Computer 2008*, München: Oldenbourg, 227–236.
- Hashagen, Anja und Schelhowe, Heidi (2008): „Der Schwarm“ – Playful Learning with an Interactive Virtual Flock. In Auer, Michael E. (Hg.) *Interactive Computer aided Learning (ICL) International Conference Villach/Austria 2008: The Future of Learning – Globalizing in Education*, Kassel: Kassel University Press.

- Hashagen, Anja und Schelhowe, Heidi (2009): Learn to Swarm: Motivate Children about Abstract Models through Embodied Algorithms. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2009)*, Chesapeake VA: AACE, 3603–3608.
- Hashagen, Anja; Schelhowe, Heidi und Seelig, Harry (2008b): „Der Schwarm“ – An Example for Interaction of Computer Science and Performance Studies. In *Proceedings of ISEA2008 – The 14th International Symposium on Electronic Art*, Singapore: ISEA2008 Pte Ltd, 510–512.
- Hashagen, Anja; Zabel, Christian; Schelhowe, Heidi und Zare, Saeed (2009c): Adaptive Motion Pattern Recognition: Implementing Playful Learning through Embodied Interaction. In Duffy, Vincent G. (Hg.) *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer-Interaction (HCI 2009)*, Berlin: Springer, *Lecture Notes in Computer Science*, Bd. 5620, 105–114.
- Hassenzahl, Marc (2010): *Experience Design – Technology for All the Right Reasons*. Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, San Rafael CA: Morgan & Claypool.
- Hassenzahl, Marc; Burmester, Michael und Koller, Franz (2003): AttrakDiff – Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In *Mensch & Computer 2003 – Interaktion in Bewegung*, Stuttgart: Teubner, 187–196.
- Hermann, Thomas und Hunt, Andy (2005): Guest Editors' Introduction – An Introduction to Interactive Sonification. *IEEE Multimedia*, 12 (2), 20–24.
- Hermes, Thorsten (2004): *Digitale Bildverarbeitung – Eine praktische Einführung*. München: Hanser.
- Herzogenrath, Wulf; Nierhoff, Barbara und Lähnemann, Ingmar (Hg.) (2007): *Manfred Mohr – broken symmetry – Preisträger des d.velop digital art award [ddaa] 2006*. Bramsche: Rasch, erschienen anlässlich der gleichnamigen Ausstellung in der Kunsthalle Bremen vom 24. April bis 1. Juli 2007.
- Herzogenrath, Wulf und Nierhoff-Wielk, Barbara (Hg.) (2007): *Ex Machina – Frühe Computergrafik bis 1979*. Berlin: Deutscher Kunstverlag.
- Hevner, Kate (1937): The Affective Value of Pitch and Tempo in Music. *The American Journal of Psychology*, 49 (4), 621–630.
- Hewett, Thomas T.; Baecker, Ronald; Card, Stuart; Carey, Tom; Gasen, Jean; Mantei, Marilyn; Perlman, Gary; Strong, Gary und Verplank, William: ACM Special Interest Group on Computer-Human-Interaction Curriculum Development Group (1992): *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. New York NY: ACM, editors (Production and Web Version): Hefley, Bill and Perlman, Gary, letzter Aufruf im Februar 2011.  
URL <http://old.sigchi.org/cdg/>
- Hornecker, Eva (2008): Die Rückkehr des Sensorischen: Tangible Interfaces und Tangible Interaction. In Petruschat, Jörg und Israel, Johann H. (Hg.) *Die Fühlbarkeit des Digitalen*, Berlin: form+zweck, Bd. 22, 80–89.
- Hornecker, Eva und Buur, Jacob (2006): Getting a Grip on Tangible Interaction: A Framework on Physical Space and Social Interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*, New York NY: ACM, 437–446.

- Inkpen, Kori M. (1997): Three Important Research Agendas for Educational Multimedia: Learning, Children, and Gender. In *Proceedings of Educational MultiMedia '97*, 521–526.
- Inkpen, Kori M. (2001): Drag-and-Drop versus Point-and-Click Mouse Interaction Styles for Children. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 8 (1), 1–33.
- Interaction Design Association (o.J.): Definition of IxD. Letzter Aufruf im März 2011.  
URL <http://www.ixda.org/about/ixda-mission>
- Ioannidou, Irene A.; Paraskevopoulos, Stephanos und Tzionas, Panagiotis (2006): An Interactive Computer Graphics Interface for the Introduction of Fuzzy Inference in Environmental Education. *Interacting with Computers*, 18 (4), 683–708.
- Ishii, Hiroshi und Ullmer, Brygg (1997): Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI1997)*, New York NY: ACM, 234–241.
- ISO 13407 (1999): ISO 13407: Human-centered Design Processes for Interactive Systems.
- ISO 9241 (1998): ISO 9241: Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDT)s – Part 11: Guidance on Usability. Aktueller Titel der ISO 9241: Ergonomics of Human System Interaction.
- ISO 9241 (2010): ISO 9241: Ergonomics of Human System Interaction – Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems.
- Jacucci, Giulio (2004): *Interaction as Performance – Cases of Configuring Physical Interfaces in Mixed Reality*. Dissertation, University of Oulu, Faculty of Science, Department of Information Processing Science.
- Jaimes, Alejandro und Sebe, Nicu (2007): Multimodal Human-Computer Interaction: A Survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 108, 116–134.
- Jung, Carl G. (1995): *Psychologische Typen, Gesammelte Werke / C. G. Jung*, Bd. 6. Ostfildern: Patmos, niehus-Jung, Marianne; Hurwitz-Eisner, Lena und Riklin, Franz (Hg.).
- Juslin, Patrik N. (2005): From Mimesis to Chatharsis – Expression, Perception, and Induction of Emotion in Music. In Miell, Dorothy; MacDonald, Raymond und Hargreaves, David (Hg.) *Musical Communication*, New York NY: Oxford University Press, 85–115.
- Kafai, Yasmin B. und Resnick, Mitchel (Hg.) (1996): *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*. Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum.
- Karensy, Laurent (2001): Adapting Verbal Protocol Methods to Investigate Speech Systems Use. *Applied Ergonomics*, 32 (1), 15–55.
- Katterfeldt, Eva-Sophie; Dittert, Nadine und Schelhowe, Heidi (2009): EduWear: Smart Textiles as Ways of Relating Computing Technology to Everyday Life. In *Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children (IDC2009)*, New York NY: ACM, 9–17.
- Keiner, Marion; Kurtz, Thomas und Nadin, Mihai (1994): *Manfred Mohr*. Weiningen-Zürich: Waser.

- Kennedy, James und Eberhart, Russel (1995): Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway NJ: IEEE Service Center IV, 1942–1948.
- van Kesteren, Ilse E. H.; Bekker, Mathilde M.; Vermeeren, Arnold P. O. S. und Lloyd, Peter A. (2003): Assessing Usability Evaluation Methods on their Effectiveness to Elicit Verbal Comments from Children Subjects. In *Proceedings of the 2003 Conference on Interaction Design and Children (IDC 2003)*, New York NY: ACM, 41–49.
- Klecka, William R. (Hg.) (1980): *Discriminant Analysis*. Quantitative Applications in the Social Sciences, Thousand Oaks CA: Sage Publications.
- Klütsch, Christoph (2007): *Computergrafik*. Wien: Springer.
- Knowlton, Ken (2004): Mosaic Portraits – New Methods and Strategies. *PAGE – Bulletin of the Computer Arts Society*, 59, 1–3.
- Knowlton, Ken (o.J.): Website – Somewhat more than you wanted to know by and about Ken Knowlton. Letzter Aufruf im Mai 2011.  
URL <http://www.kenknowlton.com>
- Kort, Joke; Vermeeren, Arnold P.O.S. und Fokker, Jennecke (2007): Conceptualizing and Measuring User Experience. In *Proceedings of the Workshop „Towards a UX Manifesto“, in Conjunction with HCI 2007*, 57–64.
- Krannich, Dennis (2010): *Mobile Usability Testing – Ein toolbasiertes Vorgehensmodell zum Rapid-Prototyping und Usability-Testing von Mobilien Systemen im originären Benutzungskontext*. Dissertation, Universität Bremen.
- Kraus, Anja (Hg.) (2008): *Körperlichkeit in der Schule – Aktuelle Körperdiskurse und ihre Empirie, Pädagogik: Perspektiven und Theorien*, Bd. 1. Oberhausen: Athena.
- Kromrey, Helmut (2000): *Empirische Sozialforschung – Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung*. Stuttgart/Opladen: UTB für Wissenschaft/Leske + Budrich, 9 Aufl..
- Kuckartz, Udo; Dresing, Thorsten; Rädiker, Stefan und Stefer, Claus (2008): *Qualitative Evaluation – Der Einstieg in die Praxis*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lamnek, Siegfried (2010): *Qualitative Sozialforschung – Lehrbuch*. Weinheim: Beltz, 5 Aufl..
- Law, Effie; Roto, Virpi; Vermeeren, Arnold P.O.S.; Kort, Joke und Hassenzahl, Marc (2008): Towards a Shared Definition of User Cxperience. In *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI2008)*, New York NY: ACM, 2395–2398.
- Law, Effie L.-C.; Hvannberg, Ebba T. und Hassenzahl, Marc (Hg.) (2006): *Proceedings of the Workshop „User Experience – Towards a Unified View“, in Conjunction with NordiCHI 2006*. New York NY: ACM.
- Layer, Mareike (2008): Freie Improvisation: Eine Schule der Interaktion und der Begegnung. In Kraus, Anja (Hg.) *Körperlichkeit in der Schule – Aktuelle Körperdiskurse und ihre Empirie*, Oberhausen: Athena, *Pädagogik: Perspektiven und Theorien*, Bd. 1, 17–48.

- Lee, Johnny Chung (2007): Johnny Chung Lee > Projects > Wii. Letzter Aufruf im April 2011.  
URL <http://johnnylee.net/projects/wii/>
- Leung, Linda (Hg.) (2009): *Digital Experience Design – Ideas, Industries, Interaction*. Wilmington NC: Intellect.
- Luft, Mark (2011): *Perspektiven auf Der Schwarm – Gestaltung und Implementierung eines benutzerrollenorientierten Interface*. Diplomarbeit, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen, in Bearbeitung.
- Lüders, Christian (2003): Teilnehmende Beobachtung. In Bohnsack, Ralf; Marotzki, Winfried und Meuser, Michael (Hg.) *Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung*, Opladen: Westdeutscher Verlag, 151–153.
- MacFarlane, Stuart; Sim, Gavin und Horton, Matthew (2005): Assessing Usability and Fun in Educational Software. In *Proceedings of the 2005 Conference on Interaction Design and Children (IDC 2005)*, New York NY: ACM, 103–109.
- Malina, Roger F. (1989): Computer Art in the Context of the Journal Leonardo. In *SIGGRAPH 89 Art Show Catalog – Computer Art in Context (SIGGRAPH 1989)*, New York NY: ACM, 67–70.
- Malone, Thomas W. und Lepper, Mark R. (1987): Making Learning Fun – A Taxonomy of Intrinsic Motivations for Learning. In Snow, Richard E. und Farr, Marshall J. (Hg.) *Aptitude, Learning, and Instruction*, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum, *Conative and Affective Process Analyses*, Bd. 3, 223–253.
- Mandelbrot, Benoît B. (1977): *The Fractal Geometry of Nature*. New York NY: W. H. Freeman.
- Mandelbrot, Benoît B. (1989): Fractals and an Art for the Sake of Science. *Leonardo. Supplemental Issue*, 2, 21–24.
- Manovich, Lev (2001): *The Language of New Media*. Cambridge MA: MIT Press.
- Marshall, Paul (2007): Do Tangible Interfaces Enhance Learning? In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI 2007)*, New York NY: ACM, 163–170.
- Mason, Catherine (2008): *A computer in the Art Room – The Origins of British Computer Arts 1950-80*. London: Quiller Press, foreword by Clive Richards.
- McCarthy, John und Wright, Peter (2004): *Technology as Experience*. Cambridge MA: MIT Press.
- McCarthy, John; Wright, Peter; Wallace, Jayne und Dearden, Andy (2006): The Experience of Enchantment in Human-Computer Interaction. *Personal Ubiquitous Computing*, 10, 369–378.
- McCorduck, Pamela (1991): *Aaron's Code: Meta-Art, Artificial Intelligence, and the Work of Harold Cohen*. New York NY: W. H. Freeman.
- McLurkin, James (2008): *Analysis and Implementation of Distributed Algorithms for Multi-Robot Systems*. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

- Mehrabian, Albert (1996): Pleasure-Arousal-Dominance: A General Framework for Describing and Measuring Individual Differences in Temperament. *Current Psychology*, 14 (4), 261–292.
- Mehrabian, Albert und Russell, James A. (1974): *Approach to Environmental Psychology*. Cambridge MA: MIT Press.
- van Mengden, Lida (2007): Manfred Mohr – Forschungen im ästhetischen Universum des Kubus. In Herzogenrath, Wulf; Nierhoff, Barbara und Lähnemann, Ingmar (Hg.) *Manfred Mohr – broken symmetry – Preisträger des d.velop digital art award [ddaa] 2006*, Bramsche: Rasch, 25–34, erschienen anlässlich der gleichnamigen Ausstellung in der Kunsthalle Bremen vom 24. April bis 1. Juli 2007.
- Merleau-Ponty, Maurice (1966): *Phänomenologie der Wahrnehmung, Phänomenologisch-psychologische Forschungen*, Bd. 7. Berlin: Druyter, aus dem Franz. übers. und eingeführt durch eine Vorr. von Boehm, Rudolf.
- Merton, Robert K.; Fiske, Marjorie und Kendall, Patricia L. (1990): *Focused Interview – A Manual of Problems and Procedures*. New York NY: Free Press, 2 Aufl..
- Merton, Robert K. und Kendall, Patricia L. (1979): Das fokussierte Interview. In Hopf, Christel und Weingarten, Elmar (Hg.) *Qualitative Sozialforschung*, Stuttgart: Klett-Cotta, 171–204.
- Meuser, Michael und Nagel, Ulrike (1991): ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In Garz, Detlef und Kraimer, Klaus (Hg.) *Qualitativ-empirische Sozialforschung – Konzepte, Methoden, Analysen*, Opladen: Westdeutscher Verlag, 441–468.
- Minar, Nelson; Burkhart, Roger; Langton, Chris und Askenazi, Manor (1996): The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-Agent Simulations. Technischer Bericht, Santa Fe Institute.
- Moggridge, Bill (2007): *Designing Interactions*. Cambridge MA: MIT Press.
- Mohr, Manfred (2002): Generative Art. In Candy, Linda und Edmonds, Ernest (Hg.) *Explorations in Art and Technology*, London: Springer, 111–114.
- Mohr, Manfred (o.J.): manfred mohr – Homepage des Künstlers. Letzter Aufruf im Mai 2011. URL <http://www.emohr.com>
- Moles, Abraham A. (1966): *Information Theory and Aesthetic Perception*. Urbana: University of Illinois Press, aus dem Franz. übers. von Cohen, Joel F.
- Moles, Abraham A. (1967): Über die Verwendung von Rechenanlagen in der Kunst. In Simmat, William E. (Hg.) *Kunst aus dem Computer*, Stuttgart: Nadolski, Nr. 5 in Exakte Ästhetik, 16–20.
- Mondada, Francesco; Bonani, Michael; Raemy, Xavier; Pugh, James; Cianci, Christopher; Klaptocz, Adam; Magnenat, Stéphane; Zufferey, Jean-Christophe; Floreano, Dario und Martinoli, Alcherio (2009): The e-puck, a Robot Designed for Education in Engineering. In *Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions*, Bd. 1, 59–65.

- Morville, Peter (2004): User Experience Design. Letzter Aufruf im Februar 2011.  
URL <http://www.semanticstudios.com/publications/semantics/000029.php>
- Murray, Janet H. (2003): Inventing the Medium. In Wardrip-Fruin, Noah und Montfort, Nick (Hg.) *The New Media Reader*, Cambridge MA: MIT Press, 3–12.
- Nadin, Mihai (2003): Das Interessante als computationale Zielsetzung – Ein Ausflug im ästhetischen Raum. In Rödiger, Karl-Heinz (Hg.) *Algorithmik, Kunst, Semiotik – Hommage für Frieder Nake*, Heidelberg: Synchron, 99–134.
- Nagler, Kerstin und Reichertz, Jo (1986): Kontaktanzeigen – Auf der Suche nach dem anderen, den man nicht kennen will. In Aufenanger, Stefan und Lenssen, Margrit (Hg.) *Handlung und Sinnstruktur – Bedeutung und Anwendung der objektiven Hermeneutik*, München: Kindt, 84–122.
- Nake, Frieder (1967): Computer-Grafik. In Simmat, William E. (Hg.) *Kunst aus dem Computer*, Stuttgart: Nadolski, Nr. 5 in Exakte Ästhetik, 21–32.
- Nake, Frieder (1974): *Ästhetik als Informationsverarbeitung – Grundlagen und Anwendungen der Informatik im Bereich ästhetischer Produktion und Kritik*. Wien: Springer.
- Nake, Frieder (1993): Ich erinnere mich gern an 1965. In Nake, Frieder und Stoller, Diethelm (Hg.) *Algorithmus und Kunst „Die präzisen Vergnügen“ – Texte und Bilder zu Ausstellung und Werkstattgespräch*, Hamburg: Sautter + Lackmann, *INTERFACE*, Bd. 2, 52–55.
- Nake, Frieder und Arbeitsgruppe compArt (o.J.): compArt daDA: the database Digital Art. Letzter Aufruf im Mai 2011.  
URL <http://dada.compart-bremen.de>
- Nake, Frieder und Grabowski, Susanne (2005): Zwei Weisen, das Computerbild zu betrachten. Ansicht des Analogen und des Digitalen. In Warnke, Martin; Coy, Wolfgang und Tholen, Georg Christoph (Hg.) *HyperKult II – zur Ortsbestimmung analoger und digitaler Medien*, Bielefeld: Transcript, 123–149.
- Nake, Frieder; Grabowski, Susanne; Hashagen, Anja und Krauß, Matthias (2006): Angeregt von Paul Klee und Manfred Mohr – Bewegungen im Hyperwürfel und auf der Bildfläche. In *Geometrie, Kunst und Wissenschaft*, Bremen: Hausschild, 219–238.
- Nees, Georg (1969): *Generative Computergraphik*. Berlin und München: Siemens AG.
- Nees, Georg (2006): *Generative Computergraphik*, Bd. 6. Berlin: Kaleidoskopien, von Herrmann, Hans-Christian und Hoffmann, Christoph (Hg.), Neudruck des 1969 erschienenen Buchs durch Siemens AG, Berlin.
- Nielsen, Janni; Clemmensen, Torkil und Yssing, Carsten (2002): Getting Access to What Goes on in People's Heads?: Reflections on the Think-aloud Technique. In *Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI 2002)*, New York NY: ACM, 101–110.
- Nierhoff, Barbara (2007): „Die Idee, etwas zu programmieren und dann mit dem Computer zu berechnen, schlug bei mir ein wie ein Blitz“ – Manfred Mohr im Gespräch mit Barbara Nierhoff. In Herzogenrath, Wulf; Nierhoff, Barbara und Lähnemann, Ingmar (Hg.)



- Manfred Mohr – broken symmetry – Preisträger des d.velop digital art award [ddaa] 2006*, Bramsche: Rasch, 34–38, erschienen anlässlich der gleichnamigen Ausstellung in der Kunsthalle Bremen vom 24. April bis 1. Juli 2007.
- Nierhoff-Wielk, Barbara (2007): *Ex Machina – Die Begegnung von Computer und Kunst. Ein Blick zurück*. In Herzogenrath, Wulf und Nierhoff-Wielk, Barbara (Hg.) *Ex Machina – Frühe Computergrafik bis 1979*, Berlin: Deutscher Kunstverlag, 20–63.
- Nierhoff-Wielk, Barbara; Klütsch, Christoph und Lanfermann, Petra (2007): *Stationen der frühen Computerkunst – Eckdaten einer algorithmischen Wende in der Bildenden Kunst (1952-1979)*. In Herzogenrath, Wulf und Nierhoff-Wielk, Barbara (Hg.) *Ex Machina – Frühe Computergrafik bis 1979*, Berlin: Deutscher Kunstverlag, 230–291.
- Norman, Donald A. (2004a): *Emotional Design*. *Ubiquity*, 4 (45), 1–1.
- Norman, Donald A. (2004b): *Emotional Design – Why We Love (or Hate) Everyday Things*. New York NY: Basic Books.
- Oevermann, Ulrich (1986): *Kontroversen über sinnverstehende Soziologie – Einige wiederkehrende Probleme und Mißverständnisse in der Rezeption der „objektiven Hermeneutik“*. In Aufenanger, Stefan und Lenssen, Margrit (Hg.) *Handlung und Sinnstruktur – Bedeutung und Anwendung der objektiven Hermeneutik*, München: Kindt, 19–83.
- Oevermann, Ulrich (2004): *Die elementare Problematik der Datenlage in der quantifizierenden Bildungs- und Sozialforschung*. *sozialersinn*, 3, 413–476.
- Oevermann, Ulrich; Allert, Tilman; Konau, Elisabeth und Krambeck, Jürgen (1979): *Die Methodologie einer „objektiven Hermeneutik“ und ihre allgemeine forschungslogische Bedeutung in den Sozialwissenschaften*. In Soeffner, Hans-Georg (Hg.) *Interpretative Verfahren in den Sozial- und Textwissenschaften*, Stuttgart: Metzler, 352–434.
- Oevermann, Ulrich; Allert, Tilman; Konau, Elisabeth und Krambeck, Jürgen (1987): *Structures of Meaning and Objective Hermeneutics*. In Meja, Volker; Misgeld, Dieter und Stehr, Nico (Hg.) *Modern German Sociology – European Perspectives: A Series in Social Thought and Cultural Criticism*, New York NY: Columbia University Press, 436–447.
- Olfati-Saber, Reza (2006): *Flocking for Multi-Agent Dynamic Systems: Algorithms and Theory*. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 51 (3), 401–420.
- Olivier, Patrick und Wallace, Jayne (2009): *Digital Technologies and the Emotional Family*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67, 204–214.
- O’Neill, Shaleph (2010): *Interactive Media – The Semiotics of Embodied Interaction*. London: Springer.
- Papert, Seymour und Harel, Idit (1991): *Situating Constructionism*. In Papert, Seymour und Harel, Idit (Hg.) *Constructionism*, Norwood NJ: Ablex Publishing Corporation, Kap. 1, 1–12.
- Parker, Conrad (1996): *Boids Pseudocode*. Letzter Aufruf im Juni 2011.  
URL <http://www.vergenet.net/~conrad/boids/pseudocode.html>
- Paul, Christiane (2008): *Digital Art*. London: Thames & Hudson, 2. Aufl.

- Pesina, Roman (2007): *Der virtuelle Schwarm – Analyse und Entwicklung einer Interaktionsumgebung*. Diplomarbeit, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen.
- Peter, Christian; Beale, Russell; Crane, Elizabeth; Axelrod, Lesley und Blyth, Gerred (Hg.) (2008): *Emotion in HCI – Joint Proceedings of the 2005, 2006, and 2007 International Workshops*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Pfeifer, Rolf und Bongard, Josh (2006): *How the Body Shapes the Way We Think – A New View of Intelligence*. Cambridge MA: MIT Press, mitwirkung von Grand, Simon, Vorwort von Brooks, Rodney.
- Piaget, Jean (1969): *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Klett.
- Piaget, Jean und Inhelder, Bärbel (1973): *Die Psychologie des Kindes*. Olten: Walter, 2. Aufl..
- Pickover, Clifford A. (Hg.) (1995): *The Pattern Book – Fractals, Art, and Nature*. New York NY: World Scientific.
- Piehler, Heike M. (2002): *Die Anfänge der Computerkunst*. Frankfurt am Main: dot-Verlag.
- Polk Lillard, Paula (1988): *Montessori – A Modern Approach*. Broadway NY: Schocken Books, vorwort von Maria M. Montessori.
- Popper, Frank (2007): *From Technological to Virtual Art*. Leonardo, Cambridge MA: MIT Press.
- Price, Sara; Rogers, Yvonne; Scaife, Michael; Stanton, Danae und Neale, Helen (2003): Using 'Tangibles' to Promote Novel Forms of Playful Learning. *Interacting with Computers*, 15 (2), 169–185.
- Reichertz, Jo (1991): Objektive Hermeneutik, 223–228.
- Reichertz, Jo (1995): Die objektive Hermeneutik – Darstellung und Kritik. In König, Eckard und Zedler, Peter (Hg.) *Bilanz qualitativer Sozialforschung*, Weinheim: Deutscher Studien Verlag, Bd. 2, 379–424.
- Reimann, Daniela (2006): *Ästhetisch-informatische Medienbildung mit Kindern und Jugendlichen*. Oberhausen: Athena.
- Reinelt, Gerhard (1994): *The Traveling Salesman – Computational Solutions for TSP Applications*. Berlin: Springer.
- Reithinger, Norbert; Gebhard, Patrick; Löckelt, Markus; Ndiaye, Alassane; Pflieger, Norbert und Klesen, Martin (2006): VirtualHuman: Dialogic and Affective Interaction with Virtual Characters. In *Proceedings of the 8th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2006)*, New York NY: ACM, 51–58.
- Resnick, Mitchel (2004): Edutainment? No Thanks. I Prefer Playful Learning. In *Associazione Civita Report on Edutainment*, 1–4.
- Resnick, Mitchel; Maloney, John; Monroy-Hernández, Andrés; Rusk, Natalie; Eastmond, Evelyn; Brennan, Karen; Millner, Amon; Rosenbaum, Eric; Silver, Jay S.; Silverman, Brian und Kafai, Yasmin B. (2009): Scratch – Programming for All. *Communications of the ACM*, 52 (11), 60–67.

- Resnick, Mitchel und Ocko, Stephen (1991): LEGO/Logo: Learning through and about Design. In Papert, Seymour und Harel, Idit (Hg.) *Constructionism*, Norwood NJ: Ablex Publishing Corporation, Kap. 1, 141-150.
- Resnick, Mitchel und Silverman, Brian (2005): Some Reflections on Designing Construction Kits for Kids. In *Proceedings of the 2005 Conference on Interaction Design and Children (IDC 2005)*, New York NY: ACM, 117-122.
- Revang, Magnus (2007): The User Experience Wheel. Letzter Aufruf im Februar 2011.  
URL <http://userexperienceproject.blogspot.com/2007/04/user-experience-wheel.html>
- Reynolds, Craig W. (1987): Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model. In *Computer Graphics - SIGGRAPH '87 Conference Proceedings*, New York NY: ACM, Bd. 21, 25-34.
- Reynolds, Craig W. (1999): Steering Behaviors For Autonomous Characters. In *Proceedings of the Computer Game Developers Conference 1999*, San Francisco CA: Miller Freeman Game Group, 763-782.
- Reynolds, Craig W. (2000): Interaction with Groups of Autonomous Characters. In *Proceedings of the Computer Game Developers Conference 2000*, San Francisco CA: CMP Game Media Group, 449-460.
- Rogers, Carl R. und Dorfman, Elaine (1965): *Client-centered Therapy - Its Current Practice, Implications, and Theory*. Boston MA: Houghton Mifflin.
- Rosenthal, Gabriele (2005): *Interpretative Sozialforschung - Eine Einführung*. Grundlagentexte Soziologie, Weinheim: Juventa, hurrelmann, Klaus (Hg.).
- Roto, Virpi H. (2007): User Experience from Product Creation Perspective. In *Proceedings of the Workshop „Towards a UX Manifesto“, in Conjunction with HCI 2007*, 31-34.
- Roto, Virpi H.; Law, Effi; Vermeeren, Arnold und Hoonhour, Jettie (with contributions from 30 academia and industry experts) (2011): User Experience White Paper - Result from Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience, September 15-18, 2010. Letzter Aufruf im Februar 2011.  
URL <http://www.allaboutux.org/files/UX-WhitePaper.pdf>
- Royce, Winston W. (1970): Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques. In *Technical Papers of Western Electronic Show and Convention (WesCon)*, Los Alamitos CA: IEEE Computer Society Press.
- Rubine, Dean H. (1992): *The Automatic Recognition of Gestures*. Dissertation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA.
- Saffer, Dan (2009): *Designing for Interaction - Creating Innovative Applications and Devices*. Thousand Oaks CA: New Riders, 2nd Aufl..
- Said, Norma S. (2004): An Engaging Multimedia Design Model. In *Proceedings of the 2004 Conference on Interaction Design and Children (IDC 2004)*, New York NY: ACM, 169-172.

- Sanders, Elizabeth B.-N. (2002): From User-centered to Participatory Design Approaches. In Frascara, Jorge (Hg.) *Design and the Social Sciences – Making Connections*, London: Taylor & Francis, Contemporary Trends Institute Series, 1–7.
- Scaife, Michael; Rogers, Yvonne; Aldrich, Frances und Davies, Matt (1997): Designing for or Designing with? Informant Design for Interactive Learning Environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI1997)*, New York NY: ACM, 343–350.
- Scaife, Mike und Rogers, Yvonne (1998): *Kids as Informants – Telling Us What We Didn't Know or Confirming What We Knew Already?*, San Francisco CA: Morgan Kaufmann. 27–50.
- Scharfetter, Christian (2002): *Allgemeine Psychopathologie – Eine Einführung*. Stuttgart: Thieme, 5 Aufl..
- Schelhowe, Heidi (2006): *Technologie, Imagination und Lernen – Grundlagen für Bildungsprozesse mit Digitalen Medien*. Münster: Waxmann.
- Schelhowe, Heidi (2011): Digitale Medien für Bildung: Interaktionsdesign für reflexive Erfahrung. In Robben, Bernd und Schelhowe, Heidi (Hg.) *Be-greifbare Interaktion*, Bielefeld: Transcript, im Druck.
- Schelhowe, Heidi; Grafe, Silke; Herzig, Bardo; Koubek, Jochen; Niesyto, Horst; vom Berg, Antje; Coy, Wolfgang; Hagel, Heinz; Hasebrook, Joachim; Kiesel, Kurt; Reinmann, Gabi und Schäfer, Markus (2009): Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur – Medienbildung für die Persönlichkeitsentwicklung, für die gesellschaftliche Teilhabe und für die Entwicklung von Ausbildungs- und Erwerbsfähigkeit. Technischer Bericht, Bericht der Expertenkommission des BMBF zur Medienbildung.
- Schmidtke, Oliver (o.J.): Arbeitsgemeinschaft Objektive Hermeneutik e.V. Letzter Aufruf im Mai 2011.  
URL <http://www.agoh.de>
- Schneider, Gerald (1985): Strukturkonzept und Interpretationspraxis der objektiven Hermeneutik. In Jüttemann, Gerd (Hg.) *Qualitative Forschung in der Psychologie*, Weinheim: Beltz, 719f.
- Schneider, Karen G. (1996): Children and Information Visualization Technologies. *interactions*, 3, 68–73.
- Schuetze, Fritz (1976): Zur Hervorlockung und Analyse von Erzählungen thematisch relevanter Geschichten im Rahmen soziologischer Feldforschung. In Arbeitsgruppe Bielefelder Soziologen, Kommunikative Sozialforschung (Hg.) *Kommunikative Sozialforschung*, München: Fink, 159–260.
- Schuetze, Fritz (1983): Biographieforschung und narratives Interview. In Thiersch, Hans und Otto, Hans-Uwe (Hg.) *Neue Praxis: Zeitschrift für Sozialarbeit, Sozialpädagogik und Sozialpolitik* 13(3), Lahnstein: neue praxis, 283–293.
- Schuler, Douglas und Namioka, Aki (Hg.) (1993): *Participatory Design – Principles and Practices*. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum.

- Schwaber, Ken (1995): Scrum Development Process. In Sutherland, Jeffrey V.; Patel, Dilip; Casanave, Cory; Miller, Joaquin und Hollowell, Glenn (Hg.) *Business Object Design and Implementation – OOPSLA '95 Workshop Proceedings*, London: Springer.
- Seymour, Sabine (2008): *Fashionable Technology – The Intersection of Design, Fashion, Science, and Technology*. Wien: Springer.
- Shaer, Orit und Hornecker, Eva (2010): Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3 (1-2), 1–137.
- Shams, Ladan und Seitz, Aaron R. (2008): Benefits of Multisensory Learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 411–417.
- Shanken, Edward A. (2009): *Art and Electronic Media. Themes and Movements*, London: Phaidon Press.
- Shannon, Claude E. (1948): A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 623–656.
- Sharp, Helen; Rogers, Yvonne und Preece, Jenny (2007): *Interaction Design – Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley, 2 Aufl..
- Shedroff, Nathan (Hg.) (2001): *Experience Design*. Corte Madera CA: Waite Group Press.
- Sloboda, John (2005): *Exploring the Musical Mind – Cognition, Emotion, Ability, Function*. New York NY: Oxford University Press.
- Snow, Charles P. (1998): *The Two Cultures*. Cambridge MA: Cambridge University Press, einleitung von Collini, Stefan.
- Soeffner, Hans-Georg (2004): *Auslegung des Alltags – der Alltag der Auslegung: zur wissenssoziologischen Konzeption einer sozialwissenschaftlichen Hermeneutik*, UTB Sozialwissenschaften, Bd. 2519. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft, 2 Aufl..
- SoftKinetic (2011): iisu™ by SoftKinetic – Product Datasheet. Letzter Aufruf im Juni 2011.  
URL <http://www.softkinetic.net/Portals/0/Download/iisu%E2%84%A2%20Datasheet%20V0.91.pdf>
- Specht, Rainer (1966): *Rene Descartes – In Selbstzeugnissen und Bilddokumenten*. Reinbek: Rowohlt, 10 Aufl..
- Speck-Hamdan, Angelika (2005): How Children Learn – The Construction of the World in Children's Heads. *TELEVISION*, 18 (E), 4–9.
- Spehr, Georg (Hg.) (2009): *Funktionale Klänge – Hörbare Daten, klingende Geräte und gestaltete Hörerfahrungen*. Sound Studies, Bielefeld: Transcript.
- Spolsky, Joel (2001): *User Interface Design for Programmers*. Apress.
- Srivastava, Muni S. (2002): *Methods of Multivariate Statistics*. Wiley Series in Probability and Statistics, New York NY: John Wiley & Sons.
- Steller, Erwin (1992): *Computer und Kunst – Programmierte Gestaltung: Wurzeln und Tendenzen neuer Ästhetiken*. Mannheim: BI Wissenschaftsverlag.

- Strommen, Erik (1994): Children's Use of Mouse-Based Interfaces to Control Virtual Travel. In *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York NY: ACM, 405–410.
- Sugrue, Chris (2007): Delicate Boundaries. Letzter Aufruf im Mai 2011.  
URL <http://csugrue.com/delicateboundaries>
- Sun Microsystems (1997): *Java Code Conventions*. Sun Microsystems, Mountain View CA, letzter Aufruf im August 2010.  
URL <http://www.oracle.com/technetwork/java/codeconventions-150003.pdf>
- Sutter, Hansjörg (1994): Oevermanns methodologische Grundlegung rekonstruktiver Sozialwissenschaften – Das zentrale Erklärungsproblem und dessen Lösung in den forschungspraktischen Verfahren einer strukturalen Hermeneutik. In Garz, Detlef und Kraimer, Klaus (Hg.) *Die Welt als Text – Theorie, Kritik und Praxis der objektiven Hermeneutik*, Frankfurt am Main: Suhrkamp, 23–72.
- Takeuchi, Hirota und Nonaka, Ikujiro (1986): The New New Product Development Game. *Harvard Business Review*, 137–146.
- Urbons, Klaus (1991): *Copy Art – Kunst und Design mit dem Fotokopierer*. Köln: DuMont.
- V-ModellXT (2009): V-Modell@XT Gesamt 1.3. Technischer Bericht, IABG – Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, letzter Aufruf im April 2011.  
URL [http://v-modell.iabg.de/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=46](http://v-modell.iabg.de/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=46)
- Verostko, Roman (o.J.): THE ALGORISTS – Historical Notes by Roman Verostko. Letzter Aufruf im Juni 2011.  
URL <http://www.verostko.com/algorist.html>
- Vollmers, Burkhard (1997): Learning By Doing. Piagets konstruktivistische Lerntheorie und ihre Konsequenzen für die Pädagogische Praxis. *International Review of Education*, 43 (3), 73–85.
- Vygotsky, Lev S. (1978): *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. San Francisco CA: Harvard University Press, 14 Aufl., Cole, Michael; John-Steiner, Vera; Scribner Sylvia und Souberman, Ellen (Hg.).
- Wallace, Jayne und Dearden, Andrew (2011): Digital Jewellery as Experience. In Pirhonen, Antti; Isomäki, Hannakaisa; Roast, Chris und Saariluoma, Pertti (Hg.) *Future Interaction Design*, London: Springer, 193–216.
- Weibel, Peter und Druckrey, Timothy (Hg.) (2001): *Net\_Condition: Art and Global Media*. Cambridge MA: MIT Press.
- Wernet, Andreas (2009): *Einführung in die Interpretationstechnik der objektiven Hermeneutik*. Qualitative Sozialforschung, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 3 Aufl..
- Wright, Peter und McCarthy, John (2008): Empathy and Experience in HCI. In *Proceeding of the 26th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, New York NY: ACM, 637–646.

- Wright, Peter; Wallace, Jayne und McCarthy, John (2008): Aesthetics and Experience-Centered Design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15, 18:1–18:21.
- Xu, Xuemiao; Zhang, Linling und Wong, Tien-Tsin (2010): Structure-based ASCII Art. *ACM Transactions on Graphics (TOG) – Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010*, 29, 52:1–52:10.
- Zabel, Christian (2008): *Bewegungsmustererkennung – Interaktion mit einem virtuellen Schwarm*. Diplomarbeit, Universität Bremen, TZI, dimeb – Digitale Medien in der Bildung, Bremen.
- Zacharias, Wolfgang (1994): *Sinnenreich – Vom Sinn einer Bildung der Sinne als kulturell-ästhetisches Projekt*, Edition Umbruch, Bd. 6. Essen: Klartext.
- Zaman, Bieke (2005): Evaluating Games with Children. In *Proceedings of Interact 2005 Workshop on Child Computer Interaction: Methodological Research*.
- Zehentreiter, Ferdinand (2001): Systematische Einführung – Die Autonomie der Kultur in Ulrich Oevermanns Modell einer Erfahrungswissenschaft der sinnstrukturierten Welt. In Burkholz, Roland; Gärtner, Christel und Zehentreiter, Ferdinand (Hg.) *Materialität des Geistes: Zur Sache Kultur – im Diskurs mit Ulrich Oevermann*, Weilerswist: Velbrück Wissenschaft, 11–104.
- ZKM – Zentrum für Kunst und Medientechnologie Karlsruhe und Klotz, Heinrich (Hg.) (1996): *Perspektiven der Medienkunst – Museumspraxis und Kunstwissenschaft antworten auf die digitale Herausforderung*. Edition ZKM, Ostfildern: Cantz, vorwort von Hand Peter Schwarz und Jeffrey Shaw.
- Zufferey, Jean-Christophe; Hauert, Sabine; Stirling, Timothy; Leven, Severin; Roberts, James und Floreano, Dario (2011): Aerial Collective Systems. In *Handbook of Collective Robotics*, Singapore: Pan Stanford.





# Ergänzen

## Anhang

### A Datenerhebung

Die Leitfäden der Interviews aus den Workshops mit den Komponenten *Swarming Sounds* und *Boids Regeln* sind im Folgenden einsehbar. Darauf folgt eine Übersicht der Transkriptionszeichen und die Fragebögen, die für den Wii-Remote Workshop entwickelt worden sind.

#### A.1 Interview-Leitfäden

Dieser Abschnitt enthält die Leitfäden der geführten Gruppeninterviews. Die Interviews wurden narrativ geführt, der Leitfaden ist hier also mehr eine Richtlinie als eine verbindliche Vorgabe für den Interviewer. Die Methode zur Durchführung der Interviews, das narrative Interview, ist in Kapitel 6.2.1 zu finden.

#### **Workshop *Boids Regeln***

1. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen, was in den vergangenen 30 Minuten passiert ist. Ihr könnt alles erzählen und Euch dabei soviel Zeit nehmen wie Ihr möchtet. Ich werde Euch erstmal nicht unterbrechen und mir kurze Notizen machen.
2. **Gruppe *Installation*** Ihr habt Euch die letzte halbe Stunde mit dem Schwarm beschäftigt. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen.

**Gruppe *Laptop*** Ihr habt Euch die letzte halbe Stunde mit dem Computerprogramm zum Schwarm beschäftigt. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen.

3. **Gruppe *Installation*** Könnt Ihr mir davon erzählen, wie Ihr das Arbeiten allgemein mit dem Schwarm erlebt habt?

**Gruppe *Laptop*** Könnt Ihr mir davon erzählen, wie Ihr das Arbeiten allgemein mit dem Computer erlebt habt?

4. Anja hat Euch gefragt, ob Ihr die Regeln erforschen könnt, die der Schwarm befolgt. Könnt Ihr mir davon erzählen, was Ihr herausgefunden habt?
5. Könnt Ihr mir davon erzählen welche Schwierigkeiten Ihr dabei hattet und wie Ihr sie gelöst habt?
6. Hättet Ihr die Funktion des Schwarms lieber mit dem Schwarm oder dem Computer erkundet? Könnt Ihr mir von Euren Gründen erzählen?
7. Könnt Ihr mir davon erzählen, was genau ein Schwarm für Euch bedeutet?
8. Noch eine letzte Frage an Euch. Ich würde Euch bitten mir davon zu erzählen, was für Euch das Schönste war in den letzten Stunden.

### **Workshop *Swarming Sounds***

1. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen, was in den vergangenen 30 Minuten passiert ist. Ihr könnt alles erzählen und Euch dabei soviel Zeit nehmen wie Ihr möchtet. Ich werde Euch erstmal nicht unterbrechen und mir kurze Notizen machen.

2. **Gruppe *Installation*** Ihr habt Euch die letzte halbe Stunde mit dem Schwarm beschäftigt. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen.

**Gruppe *Laptop*** Ihr habt Euch die letzte halbe Stunde mit dem Computerprogramm zum Schwarm beschäftigt. Ich möchte Euch bitten mir davon zu erzählen.

3. **Gruppe *Installation*** Könnt Ihr mir davon erzählen, wie Ihr das Arbeiten allgemein mit dem Schwarm erlebt habt?

**Gruppe *Laptop*** Könnt Ihr mir davon erzählen, wie Ihr das Arbeiten allgemein mit dem Computer erlebt habt?

4. Anja hat Euch gefragt, ob Ihr die Regeln erforschen könnt, die die Klanguisgabe des Schwarms befolgt. Könnt Ihr mir davon erzählen, was Ihr herausgefunden habt?
5. Könnt Ihr mir davon erzählen wie Ihr den Schwarm mit den Klängen empfindet?
6. Hättet Ihr die Funktion der Klanguisgabe lieber mit dem Schwarm oder dem Computer erkundet? Könnt Ihr mir von euren Gründen erzählen?

7. Könnt Ihr mir davon erzählen, was genau ein Schwarm für Euch bedeutet?
8. Noch eine letzte Frage an Euch. Ich würde Euch bitten mir davon zu erzählen, was für Euch das Schönste war in den letzten Stunden.

## A.2 Glossar der Transkription

Die Transkriptionszeichen sind von Rosenthal (2005) verfasst worden, die sie in Anlehnung an die Regeln von Bergmann (1988) erstellt hat. Tabelle 1 enthält die verwendeten Transkriptionszeichen. Die in dem Datenmaterial dieser Arbeit nicht vorkommenden Zeichen, werden nicht aufgeführt, sind jedoch in der Quelle einsehbar.

Tabelle 1: Transkriptionszeichen (Rosenthal 2005, S. 95)

| Zeichen     | Bedeutung   |
|-------------|---|
| ,           | kurzes Absetzen   |
| (4)         | Pause, Zeitangabe in Sekunden   |
| ((lachend)) | Kommentar des Transkribierenden   |
| <b>nein</b> | betont  |
| <b>NEIN</b> | laut  |
| viel-       | Abbruch eines Worts bzw. einer Äußerung   |
| 'nein'      | leise   |
| ( )         | Äußerung ist unverständlich, Länge der Klammer ist in etwa der Dauer der Äußerung angepasst |
| (sagte er)  | unsichere Transkription   |
| Ja=ja       | schneller Anschluss   |

## A.3 Fragebögen zur Vergleichsstudie mit Wii-Remote und Maus

Die nachstehenden Fragebögen sind für die Vergleichsstudie zur Wii-Remote-Anbindung an *Der Schwarm* erstellt und vor sowie nach den Workshops von den Teilnehmern ausgefüllt worden. Zuerst wird der Fragebogen gezeigt, der vor dem Workshop zu bearbeiten war und direkt im Anschluss folgt der Fragebogen zur Ausfüllung nach dem Workshop.

### Vor dem *Wii-Remote-Workshop*

Dear Students, welcome to the *Der Schwarm* Workshop!

In order to improve the workshop, we like to learn about your opinion and interests.

**There are no right or wrong answers!**

The questionnaires are evaluated anonymously.

## Thank you very much!

As we are going to interview you after the workshop again, we need a code number.

**Please create your code number by writing in the following boxes:**

|   |                      |
|---|----------------------|
| The last digit of your telephone number ..... | <input type="text"/> |
| The second letter of your mother's name ..... | <input type="text"/> |
| The third letter of your own name .....       | <input type="text"/> |
| The first letter of your street .....         | <input type="text"/> |

- |   | often                    | some-<br>times           | rarely                   | not at<br>all            |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>1. What have you done often? I have...</b>                                 |                          |                          |                          |                          |
| 1.1 tinkered with technical things or used construction kits...               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.2 written programs...   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.3 opened a computer and added hardware...                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.4 taken apart an apparatus (radio, clock, etc.) to find out how it works... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.5 read about an apparatus to find out how it works...                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.6 talked about computers or technology with friends...                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <br><b>2. Do the following statements apply on you?</b>                       |                          |                          |                          |                          |
|   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.1 I have the feeling my friends know more about the computer than me...     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.2 I have the feeling the computer does what it wants...                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.3 If I want to I can work as a computer expert later...                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.4 I like working in a group...  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.5 I like to work with the computer...                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.5 I think working with the computer is tiring...                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <br><b>3. Your wishes and imaginations</b>                                    |                          |                          |                          |                          |
|   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

- 3.1 I would like to use the computer more in school...
- 3.2 I could imagine studying computer science later...
- 3.3 I could imagine having a profession which deals with computers...
- 3.4 I could imagine having a technical profession...

**4. Where is a computer you can work at?**

**yes      no**

- 4.1 We have a computer at home...
- 4.2 I have my own computer...
- 4.3 I use the computer often at school...

**5. Personal data**

Age: I am \_\_\_\_\_ years old and I am in the \_\_\_\_\_ grade.

Gender:  female  male

**Thanks a lot for participating in the workshop!**

**Nach dem *Wii-Remote-Workshop***

Dear Students, we like to know how you experienced the workshop.

**There are no right or wrong answers!**

The questionnaires are evaluated anonymously.

**Thank you very much!**

**Please create your code number by writing in the following boxes:**

- The last digit of your telephone number .....
- The second letter of your mother's name .....
- The third letter of your own name .....
- The first letter of your street .....

|   |                          |                          |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>1. How did you like the workshop?</b>                                  | <b>exactly</b>           | <b>rather</b>            | <b>rather</b>            | <b>not at</b>            |
|   |                          | <b>yes</b>               | <b>no</b>                | <b>all</b>               |
| 1.1 Participating in the workshop was fun...                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.2 I would like to participate in a follow up workshop...                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.3 I have learned a lot today...   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.4 The program was very exciting...                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.5 It was fun to learn about the program with other children...          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.6 I enjoyed learning with the computer...                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.7 I would have learned more without the other children...               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.8 The content was easy to understand...                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.9 The workshop was tiring...  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <br><b>2. Do the following statements apply on you?</b>                   | <br><b>exactly</b>       | <br><b>rather</b>        | <br><b>rather</b>        | <br><b>not at</b>        |
|   |                          | <b>yes</b>               | <b>no</b>                | <b>all</b>               |
| 2.1 I have the feeling my friends know more about the computer than me... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.2 I have the feeling the computer does what it wants...                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.3 If I want to I can work as a computer expert later...                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.4 I like working in a group...  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.5 I like to work with the computer...                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2.6 I think working with the computer is tiring...                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <br><b>3. Your wishes and imaginations</b>                                | <br><b>exactly</b>       | <br><b>rather</b>        | <br><b>rather</b>        | <br><b>not at</b>        |
|   |                          | <b>yes</b>               | <b>no</b>                | <b>all</b>               |
| 3.1 I would like to use the computer more in school...                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2 I could imagine studying computer science later...                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3 I could imagine having a profession which deals with computers...     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4 I could imagine having a technical profession...                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

3.5 I would like to write my own program...

**Thanks a lot for participating in the workshop!**

## B Datenmaterial aus der Erhebung

Das aus der Datenerhebung gewonnene Material ist in diesem Kapitel einsehbar. In jedem der zwei Workshops sind zwei Interviews durchgeführt worden, eines mit der Gruppe *Laptop* und eines mit der Gruppe *Installation*. Die Transkriptionen der vier Interviews sind im Folgenden abgedruckt. Außerdem gibt es für jeden Workshop ein Bewegungsprotokoll.

Personen sind nach dem in Tabelle 4 enthaltenen Schlüssel kenntlich gemacht. Weitere Transkriptionszeichen sind in Tabelle 1 (siehe Kapitel A.2) nachzulesen.

Tabelle 4: Transkriptionszeichen für Personen

| Zeichen                                  | Bedeutung  |
|--|--|
| G  | Gruppe bzw. mehrere Kinder   |
| I  | Interviewer  |
| J  | Junge  |
| K  | Kind (Geschlecht nicht heraushörbar)                                       |
| L  | Lehrkraft  |
| M  | Mädchen  |
| <Junge/Mädchen/Moderatorin/Beobachterin> | Hinweis auf einen Eigennamen, der im Zuge der Anonymisierung ersetzt wurde |

### B.1 *Boids Regeln* Workshop

Der Workshop mit der Softwarekomponente *Boids Regeln* ist im Januar 2009 mit dreizehn Teilnehmern durchgeführt worden.

#### Interviewtranskripte

Zunächst ist das Transkript vom Interview der Gruppe *Laptop* und anschließend das der Gruppe *Installation* dargestellt.

**Gruppe Laptop**

- 1 I: Ihr hab euch ja jetzt die ganze Zeit mit dem Schwarm beschäftigt  
ne und dabei vor allen Dingen jetzt mit dem Computerprogramm
- 2 G: Hmmm
- 3 I: und ich wollte euch gerne fragen, eh wie ihr das Computerprogramm  
erlebt habt ob ihr mir davon erzählen könnt vielleicht einfach der  
Reihe nach (3) erzählt was ihr bei dem Computerprogramm gemacht  
habt (3) ok dann fang an
- 4 J: ehm wir haben probiert einen Schwarm zu bilden, wie man auf  
welchen- wie man das einstellen muss, welchen Radius es haben muss  
, welchen Winkel und ehm welche (Rich- ) Richtung, und so
- 5 I: ja, und kannst du mir davon erzählen was (1) dabei rausgekommen  
ist ((fragt))
- 6 J: dabei ist rausgekommen dass man (1) ((überlegt)) ja einen Schwarm  
gebildet hat
- 7 I: und wie genau funktioniert das ((fragt)) (3)
- 8 J: da
- 9 J: indem-((eifrig))
- 10 J: kann ich mich nicht so gut daran erinnern
- 11 J: indem wir da rumfummeln
- 12 I: indem ihr da rumfummelt ((fragt wiederholend))
- 13 G: ((lachen))
- 14 I: ok, wollen wir bei der Reihe bleiben ((fragt bittend)), kannst du  
uns jetzt vielleicht erzählen ((an J2 gerichtet))
- 15 J: ehm
- 16 I: wie du das mit dem Computer erlebt hast
- 17 J: ja genau wie (1) <Junge>, wir haben eigentlich erstmal n bisschen  
rumgefummelt
- 18 I: ja ((fragt aufmunternd))
- 19 J: am Computer und gekuckt erstmal dass-, den Winkel eingestellt dann  
die Richtung (1) jah ((fällt nichts mehr ein))
- 20 I: und (1) fiel euch das schwer((fragt)) (2)
- 21 J: (bisschen)
- 22 J: naaaah((überlegt)), nee
- 23 J: am Anfang
- 24 J: eigentlich nicht
- 25 J: haben wir das nicht gecheckt, aber, dann
- 26 J: ja ((stimmt zu))
- 27 J: (wurde uns das erklärt)
- 28 I: ja, und was genau habt ihr am Anfang nicht gecheckt ((fragt))
- 29 J: ähmm wie man das machen muss, und was man machen muss (2) und ähm  
(1) ob wir- ähm, ob wir= auf welcher (Regel) wir gehen sollten,  
auf die erste zweite, dritte oder auf **Schwarm** ((beschwert))
- 30 I: ja ((mitfühlt))
- 31 J: und dann echt (1) mir hat der Kopf **gedampft** ((beschwert))
- 32 M: du nimmst das auf ne ((fragt))
- 33 I: ok, kannst du vielleicht erzählen wie das mit dem Computer war für  
dich ((fragt))
- 34 M: ähm, hmm((kichert)), kann ich mich jetzt auch nicht mehr so ganz  
genau erinnern ((geniert))
- 35 I: ihr wart ja jetzt 24 Minuten (1) habt ihr euch mit dem  
Computerprogramm beschäftigt ( und geklickt) ne ((  
fragt))
- 36 G: hmmm ((stimmen zu))
- 37 I: und kannst du von der Zeit irgendwas erzählen
- 38 M: also (4) weiß ich nicht so richtig (kichert)
- 39 I: was habt ihr denn gemacht, was habt ihr euch dabei für Gedanken  
gemacht ((fragt))



- 40 M: wir haben probiert einen Schwarm zu bilden, und haben's auch geschafft (1) das ging eigentlich ganz leicht
- 41 I: und wie äh, geht das ((fragt))
- 42 M: kann ich mich jetzt nicht mehr so genau daran erinnern ((lacht))
- 43 I: weißt du nicht mehr genau, wie das geht (1) wie du das gemacht hast ((fragt))
- 44 (J): ( )
- 45 I: wisst ihr das noch ((aufmunternd))
- 46 J: nein
- 47 M: ja, hier ((munter))
- 48 I: ihr wisst es ((fragt)) pass mal auf (1) ja
- 49 M: ja wir hatten nur ( ) ((stottert aufgeregt)) wir=wir mussten das einstellen (1) äh wie doll (1) diiiiie (kleine) (1) diiiiie Schwärme zusammen sind (1) wie doll die (2)wenn man= wenn man so am Ende ( beim Schwarm und so )
- 50 M: Regel 3
- 51 M: ja Regel 3 glaub ich war das (1) ja dann haben- dann hatten= haben haben wir dieses kleine Ding da ganz nach ähm am Ende hingeschoben, dann=dann sind sie immer so reingegangen
- 52 I: ja
- 53 M: ähm ja manchmal haben wir bei anderen Regeln- da waren auch so was wie ein kleiner ( ) ((wird leiser und murmelt))
- 54 I: vielleicht könnt ihr gleich noch mal genauer erzählen, wir fragen erstmal ihn, weil er jetzt an der Reihe ist, ne
- 55 M: hmmm
- 56 I: wie das für dich war
- 57 M: ja
- 58 J: also (2) erstens es hat spaß gemacht
- 59 I: ja
- 60 J: ja du musstest also auf (welche Regeln drücken) das ( Winkel )und alles umstellen, und dann verändert sich immer was
- 61 I: ja
- 62 J: und ganz unten war- (immer umgestellt) kommen verschiedene Farben, eine- zum Beispiel alles grün, ( bei orange weiß ich ) und dann steht da ähm, wenn das- ähm, wird das orange, und dann steht da , also ( )wird alles Abstand
- 63 I: hmmm (stimmt zu)
- 64 J: und wenn das, wenn der alles, blau ist dann gehen die alle zur Mitte zusammen
- 65 I: ehmmm (versteht)
- 66 J: und dann musst du halt immer irgendwo drücken und dann kommt ( schon manchmal) ein Schwarm (1) oder bei den- **und** da bei den Regel 3, danach kommt auch **Schwarm**
- 67 I: ja
- 68 J: (kommt der Schwarm) dann kannst du da raufklicken ja ( )
- 69 I: und kannst du mir vielleicht davon erzählen was, genau ein Schwarm **bedeutet** für dich (1) was das heißt, was mach der Computer da, wenn er einen Schwarm bildet ((fragt))
- 70 J: ((räuspert))
- 71 I: hast du ja grad gesagt ne, und dann bildet er einen Schwarm, und was hat der dann gemacht (5)
- 72 I: vielleicht weißt du es (7)
- 73 I: weißt du nichts ((fragt ermunternd)), wollen wir mal die fragen ((fragt)), ok
- 74 M: also das- ein Schwarm bedeutet, also dass ganz viele-, z-B. Bienen , ähm **zusammenfliegen** (1)
- 75 J: (aber das ist in jedem Schwarm) ((wertet ab))
- 76 M: (und kleine) also ne kleine, ähm, ( ) so **Fische**, ähm irgendwelche **Elefanten**, so 'ne ähm, so gehen alle wandern und so, dann halten

- sie auch so zusammen, machen sie 'ne große Gruppe und machen sie auch manchmal **Pause** und essen, und dann nachher, gehen sie auch zusammen wieder
- 77 I: ok
- 78 M: sowie bei den **Pinguinen** auch, (hier sind so zwei)
- 79 J: jaja so ist das auch zum Beispiel wenn die sich ( )
- 80 I: sie ist jetzt dran mit reden, ok
- 81 M: ( ) bei unserer Erde, das ist halt so ein Film, dass-, bilden so Elefanten auch so eine Gruppe, und dann können sie halt auch nicht von Löwen so angegriffen werden, und bilden halt so einen Ring und nehmen die Jungtiere in die Mitte
- 82 J: ja, hmmm (stimmt zu)
- 83 M: damit denen halt nichts passieren kann, weil den einzelnen Elefanten können sie einfach so halt töten
- 84 I: hmmm
- 85 M: und zusammen halt, wenn sie alle zusammen-, mit den Stoßzähnen nicht
- 86 J: ich möchte auch was dazu sagen
- 87 I: ja ((fragt))
- 88 J: ( ) das war auch so bei den Dinosauriern, also die ( ) haben das genau so gemacht, wenn T-Recks angegriffen hat, dann haben sie sich drum herum gestellt, und dann ( )
- 89 I: hmmm
- 90 J: aber der T-Rex schon
- 91 I: ok
- 92 J: und dann war es eben (50:50)
- 93 I: ahmm (versteht), du wolltest noch was sagen ((fragt, an anderes Kind gerichtet)) hat sich erledigt, ok dann dürft ihr noch mal erzählen wie ihr (1) das mit dem Computer erlebt habt, das arbeiten
- 94 M: ja weil ähm, wir waren das auch so= auch so jetzt-, manchmal haben wir alle in die **Mitte**, dann sind sie auch manchmal auch glaub ich in den Kreis und einfach-
- 95 M: dann war das kein Schwarm mehr, weil alle ganz zusammen, also da= da haben- hat ihre (1) Mitarbeiterin auch gesagt, dass Vögel ja nicht beieinander fliegen
- 96 M: ja (lacht)
- 97 M: aber nachher ist (die so was), so ähm, so hier ist so 'ne kleine Knopf (und hier) und so
- 98 I: hmmm
- 99 M: dann ist manchmal so was (rausgekommen) hier so ein **Kreis** und dann sind hier die Vögel (fliegen so)
- 100 I: hmm, also hattet ihr Vögel auf dem, Bildschirm ((fragt))
- 101 M: ja
- 102 M: **JA DAS SAH SO AUS**, wenn die sich so bewegt haben, dann sah (das richtig) aus als ob sie die ganze Zeit so wuuuum ((erzählt begeistert, lacht))
- 103 I: ok, hattet ihr vielleicht andere Figuren ((fragt))
- 104 J: nein
- 105 J: wir haben da so ein Kreis gehabt, und dann war da so noch 'ne, ende so'n (Strich)
- 106 M: wir hatten mal bei Kunst solche komischen Figuren, mit so 'nem Kopf und dann nur so Beine, die einer aus unserer Klasse immer gemalt hat
- 107 J: ja (stimmt zu)
- 108 M: ich fand die sahen so, ähnlich aus halt, so'ne Augen
- 109 I: ok, und <Moderatorin> hat euch ja die Aufgabe gestellt, dass ihr die Regeln herausfinden sollt, die 'Schwärme', oder die der Schwarm **verfolgt**, habt ihr da was rausgefunden((fragt))
- 110 G: ((Gemurmelt)) (nicht wirklich)

- 111 I: und könnt davon erzählen ((fragt)) (1) vielleicht wieder der Reihe nach ((auffordernd))
- 112 J: also das einzige was ich herausgefunden habe, dass ähm, war ähm, in so 'ner Ecke stand immer ähm, **in der Mitte bleiben** oder zum Schwarm Zusammenfliegen oder irgend so was, ähm was man da ( ) so eine Art Arbeitsaufgabe
- 113 I: für euch ((nachfragt))
- 114 J: für uns (2)
- 115 I: genau
- 116 J: wir sollten probieren, dass alle sich so, in der Mitte, in diesem grünen Kreis so ein bisschen verteilen und ähm dass sie auch zusammen bleiben, und ähm das war bei jeder Regel **verschieden**, und da musste man auch eben, ja, andere- jedes Mal andere Sachen machen
- 117 I: und, also dadurch dass ihr das dann gemacht habt, was ist dann (1) , seid ihr zu irgend einer Regel gekommen, wir ihr ein Schwarm macht (1) warum er so ist wie er ist ((fragt))
- 118 J: ja ähm ( )
- 119 G: ((lacht))
- 120 I: so ok, hast du noch eine Idee ((fragt))
- 121 J: also ich wollte jetzt noch so was sagen, wir beide haben hingekriegt, dass da so ein kleiner, ähm so ein kleiner Punkt, grün war ähm,
- 122 I: hmhm ((versteht))
- 123 J: haben wir dann, mit der ganzen, was weiß ich was das sein sollte, ( ) und dann hat das sich unten abgesetzt, so dass sich ( ) und dann immer an das drangekommen, dann hat der den ganz wegge- katapultiert.
- 124 I: hmhm, ja, und was denkst du warum (1) das passiert ((fragt))
- 125 J: puh, weiß ich nicht
- 126 J: ich
- 127 I: ok
- 128 J: weil wenn das ein Vogel ( ) dann würden die nicht einfach blind drauf losrasen ( ) voll da reinfliegen
- 129 I: ja, das stimmt
- 130 J: und darum machen die immer so wummm (so in einem Bogen), oder zu nah ( )
- 131 I: ja, ok (3) hast du eine Idee welchen Regeln der Schwarm folgt ((fragt))
- 132 M: haben die ja grad schon gesagt ((kichert))
- 133 I: aber er hat ja mehrere Regeln, vielleicht kannst du es noch mal in deinen Worten erzählen ((fragt))
- 134 M: also, ((lacht)) (2) wenn man so einen kleinen Kreis gemacht hat, und die dann da reingegangen sind,
- 135 I: hmhm
- 136 M: dann sind die ganz viel schneller rausgegangen, als bei so einem großen Kreis
- 137 I: hmhm ((versteht)), und wie erklärst du dir das ((fragt))
- 138 M: weil bei einem-, wenn man eine größere Fläche hat irg= irgendwie, dann passt da ja (2)((lacht)) weiß ich nicht, also ( )
- 139 I: hmhm ((versteht)), ok, wollt ihr jetzt mal erzählen, welchen Regeln der Schwarm folgt (2)was meint ihr ((fragt))
- 140 J: 'weiß ich nicht'
- 141 I: hast du das nicht rausbekommen, jetzt mit der Arbeit, mit dem Computer (1) konntest du <Moderatorin>s Frage damit nicht beantworten ((fragt))
- 142 J: mit den Regeln ((überlegt))
- 143 I: ja
- 144 J: jede bisschen anders
- 145 I: ja ((versteht))

- 146 J: ja und dann (2)  
 147 M: ((lacht))  
 148 J: ja (mit dem Schwarm) weiß ich jetzt nicht so richtig erklären,  
 wenn da so ein Schwarm oben klebt  
 149 I: ja  
 150 J: da=da sind noch so zwei andere Sachen noch  
 151 I: ja  
 152 J: und die verändern das dann ein bisschen  
 153 I: ja, ok  
 154 J: man kann das jetzt nicht so richtig erklären ( )  
 155 I: ja, habt ihr wisst ihr Regeln die der Schwarm verfolgt ((fragt))  
 156 M: also wie er schon gesagt hat, dass es auch so alles, ähm anders  
 157 I: ja  
 158 M: bei dem **Schwarm**, wenn da Schwarm steht dann=dann, dann ist da  
 eigentlich so (1) fast alle in die Mitte machen, sonst sie ja ganz  
 ok  
 159 M: ja aber, wenn man in die Mitte macht ganz wenig, dann gehen die ja  
 alle auseinander, ist auch kein Schwarm mehr, und es ist ja auch  
 kein Schwarm mehr wenn alle ganz in die Mitte gehen  
 160 M: 'ja'  
 161 I: kannst du erzählen warum ((fragt))  
 162 M: ja weil sie- du musst sie- , weil ein Schwarm muss ja mit **anderen-**  
 , das ist ja eine **Gruppe**, ist ja eine Gruppe  
 163 I: ja  
 164 M: das sind ja nicht ganz Einzelne  
 165 M: und nicht ein riesiger Turm von Vögeln ((lacht))  
 166 M: aufeinander (gestopft) ((lacht))  
 167 I: hmmm, und fiel euch die Aufgabe schwer die ihr lösen solltet ((  
 fragt))  
 168 J: überhaupt nicht  
 169 J: (normal)  
 170 M: am Anfang, aber danach haben wir es schon (besser)  
 171 M: ja ((stimmt zu))  
 172 I: ja (2) könnt ihr mir vielleicht- ja ((fragt))  
 173 M: wir hatten as auch schon die ganze Zeit schon **herausgefunden**, aber  
 ich wusste irgendwie nicht so richtig wie man das **sagen** sollte,  
 halt wie man das **beschreiben** sollte  
 174 I: ja, und weißt du es jetzt, wie du es beschreibst am besten ((fragt  
 ))  
 175 M: weiß ich auch nicht so richtig ((unsicher))  
 176 I: nicht so richtig, und meinst du das würde-, du würdest es können  
 wenn du dich länger mit dem Computer beschäftigst ((fragt))  
 177 M: weiß ich nicht  
 178 I: oder besser wenn du noch ein bisschen unten mit dem Schwarm  
 spielst, was meinst du was dich dann mehr- (2) weißt du nicht,  
 habt ihr eine Idee (2) was sagst du ((fragt))  
 179 J: wenn man mehr so ans-, wenn man mehr ans Computer, dann lernt man  
 das ja mehr anstatt da unten  
 180 M: ich glaub eher mehr am-, mehr unten, weil dann ist als ob  
 derjenige der da unten ist-  
 181 M: ist ein Teil vom Schwarm  
 182 M: ist als ob kein Anführer ( )  
 183 M: oder am Computer kann man auf Erklärung gehen ((lacht))  
 184 I: ja, und war-, was meinst du mit dann ist man ein Teil vom Schwarm,  
 kannst du das ((fragt))  
 185 M: also man ist-  
 186 I: genauer erzählen((fragt))  
 187 M: sozusagen-also dann- man ist einer von- (1) also zum Beispiel von  
 den Bienen  
 188 I: ja,

- 189 J: Bienen ((lacht))
- 190 M: ja, stimmt sogar (1) so ein riesiger Schwarm der sich jagt ((lacht))
- 191 I: ja, was sagt ihr ((fragt))
- 192 J: ähm ich würde sagen, ( ) über den kann man- also, den kann man auch **bedienen**
- 193 I: ok
- 194 J: was der macht und so ( ) und auch das alle zu ihm ziehen, und an den Rand machen, oder in die Mitte, und ähm ( )
- 195 I: also findest du es auch besser am Computer zu arbeiten ((fragt))
- 196 J: hmmm (2)((überlegt)) ja
- 197 J: ich glaub dadurch krieg ich mehr über den Schwarm raus, als wenn ( )
- 198 I: ok
- 199 J: also dieses ( ) also das ist auch das wo wir **unten** sind, erstmal diese ( ) und das grüne Ding soll dann ein Spiel sein, das kann man sich dann so vorstellen
- 200 I: ok, und was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 201 M: also ich finde aber unten macht das aber mehr Spaß als, am **Computer**
- 202 I: ok, also möchtest du lieber (2) das Schwarmverhalten und die Aufgabe, unten erledigen, weiter
- 203 M: ja
- 204 I: und, noch eine, letzte Frage an euch (2) dann dürft ihr wieder rumtoben, was für euch das schönste war in den letzten zwei Stunden, mit der Interaktion mit dem Schwarm, was gefällt euch daran am besten, wir fangen dann mal hier und gehen dann durch, ok, und die anderen sind solange noch ruhig (2) ok, fang an
- 205 J: ähm ( ) und dann unten
- 206 I: und was hat dir besonders gut gefallen, kannst du das sagen ((fragt))
- 207 J: hmmm (3)
- 208 I: und, etwas was mit dem Schwarm in Verbindung stand
- 209 J: ( ) beides gut
- 210 I: beides gut ((fragt))
- 211 J: beides (gleich) gut
- 212 I: ok
- 213 J: ich find am besten ähm, eigentlich, 'Computer' ( )
- 214 I: ja (2) ok, bei dir
- 215 M: ich fand das unten am besten, mit den Punkten
- 216 I: was hast du da gemacht ((fragt))
- 217 M: wo man so, weggelaufen, halt ist
- 218 I: ja (4) und, wie hast du das empfunden (4) kannst du auch nicht so genau sagen, ja ((fragt)) (3) ok, dann gehen wir mal weiter
- 219 J: ja also ich finde das, ähm unten am besten, hier hat das auch Spaß gemacht, oben, aber unten war besser
- 220 I: kannst du mir erzählen warum ((fragt))
- 221 J: ja weil, da bewegt man sich **selbst**, macht man bisschen Sport (2) ja dann- dann trampelt man die, oder man rennt **weg**
- 222 I: hmmm
- 223 J: oder die gehen einem hinterher
- 224 I: hmmm
- 225 J: ja ((schließt ab))
- 226 I: und das hat dir gefallen ((fragt))
- 227 J: ja
- 228 I: ja, ok
- 229 M: ich find auch das wir das unten, weil das war so, **schön**, dann= dann kann man das **selbst erleben**, und nicht einfach rumsitzen und

- das machen, weil dann kann man die- diese-, auch vor ihnen  
weglaufen, 'uns so'
- 230 I: ja
- 231 M: dann kann man- das fand ich witziger
- 232 I: also wenn du mit dem Schwarm zusammen was machst ((fragt))
- 233 M: hmmm ((stimmt zu))
- 234 I: mit deinem Körper
- 235 M: ja
- 236 I: und nicht nur mit dem, mit dem klicken ((fragt))
- 237 M: hmmm, fand ich schon ((stimmt zu))
- 238 I: ok, und bei dir ((fragt))
- 239 M: ja ich fand das auch unten besser weil da hat man sich auch  
richtig **bewegt**, und, das war also, auch viel, also ich fand das  
besser weil man sich da bewegt hat und hier so hmmm
- 240 I: ok, magst du noch was sagen, möchte noch irgendwer was sagen ((  
fragt))
- 241 M: ich hätte gerne noch einen Wunsch,
- 242 I: ja ((fragt))
- 243 M: unten, noch= **nochmal** so was zumachen
- 244 M: **ja**, ja noch mal mit dem Schwarm

### Gruppe Installation

- 1 I: im Grunde will, ich mit euch, jetzt noch mal darüber sprechen, was  
da unten passiert ist
- 2 J: da waren diese kleinen Panzer
- 3 M: LUFTBALLONS
- 4 J: oder **Qualquappen** ((lacht))
- 5 G: ((lacht))
- 6 M: Lollis ((lacht))
- 7 I: so, und was, was haben denn die Luftballons, Qualquappen oder,  
Quallen gemacht ((fragt))
- 8 J: Lollis
- 9 M: Lollis
- 10 I: die haben sich ja auf eine **komische** Art bewegt, oder ((fragt))
- 11 G: ja
- 12 J: die sind dann immer gegeneinander gestoßen und haben sich ge-,  
haben sich gegenseitig Weggehauen
- 13 G: ((lacht))
- 14 I: ja
- 15 J: PRÜGEL, PRÜGEL, volle Tracht Prügel ((ruft))
- 16 J: oder sie denken die immer- dann die gehen immer zu dem Größten und  
dann denken die können den KO hauen ((lacht))
- 17 M: der Größte ist der Anführer von denen, und die müssen, das machen  
was der Größte macht
- 18 M: aber da ist ja gar kein Großer außer wir
- 19 J: ja dann ist man ja selber der Anführer
- 20 I: genau, habt ihr denn mitgekriegt, was passiert wenn= wenn kein  
**Mensch** Anführer auf der Fläche ist ((fragt))
- 21 G: ja
- 22 J: dann gehen sie so **langsam** und gehen in die Ecken
- 23 J: dann wurden die langsamer und langsamer
- 24 I: ja
- 25 J: dann wissen die nicht was sie machen sollen
- 26 J: die reagieren auf einen
- 27 I: also meint ihr sie haben einen **Anführer**, dann wenn ein Mensch auf  
die Fläche geht ((fragt))

- 28 G: ja  
 29 M: und zwar den Mensch  
 30 G: ((lacht))  
 31 I: ja, und **woher**, wissen die wie sie sich jetzt **bewegen** sollen (2)  
 also ihr habt denen doch nichts gesagt, oder habt ihr denen gesagt  
 , hey geht weg  
 32 M: nein ich glaube die, ähm  
 33 J: wir haben schon gesagt  
 34 I: einen Moment, erst ausreden lassen, wir machen nach der Reihe  
 35 M: manchmal haben wir gesagt geh **weg**, hau ab, oder komm **her**, das  
 haben die gemacht, und ähm (2)  
 36 I: **die** haben das gesagt oder habt **ihr** denen das gesagt  
 37 G: **wir** haben  
 38 M: **wir** haben das denen gesagt, und die haben das gemacht  
 39 I: ja ((fragt))  
 40 M: ja  
 41 J: ja genau  
 42 M: ja und ich **glaube auch** dass die auf **Bewegung** reagieren  
 43 J; ja das glaube ich **auch**  
 44 G: ich auch, ich auch ((ruft))  
 45 J: und auf Lautstärke  
 46 I: Moment, wir versuchen das weiterhin nach der Reihenfolge, ja du  
 wolltest jetzt was sagen  
 47 J: ich glaub die reagieren auf Bewegung  
 48 M: ich auch ((ruft))  
 49 I: versuchen wir das, mal nach der Reihe, sonst kann man gar nichts  
 mehr verstehen, ähm (1) glaub ihr es gibt eine **bestimmte** Bewegung  
 worauf die reagieren, also wenn man als Balletttänzerin da rüber  
 geht  
 50 G: ((lacht))  
 51 I: muss man als **Fußballspieler** darüber kommen oder  
 52 J: oder wenn man Breakdance macht  
 53 I: oder Breakdance braucht es eine bestimmte Bewegung  
 54 M: nee, nein  
 55 I: oder muss man sich einfach ganz, **komisch**, oder ganz- ganz, einfach  
 Langspazieren ((fragt))  
 56 J: man muss ganz **normal, ganz normal**, man muss die eigentlich gar  
 nicht beachten, die machen das-, fast das gleiche wie man selber  
 57 I: ja  
 58 M: also ich glaube auch dass die auf, **Bewegung** reagieren und auch auf  
**Lautes** (1) zum Beispiel wenn man jetzt nen Laut macht, dann  
 drehen die sich im Kreis 'oder so'  
 59 I: meinst Du ((fragt)), dann sich wir jetzt aber wieder beim Geräusch  
 , **woher** wissen die aber die Punkte (2) wo **ihr** seid, also sind das  
 dann sozusagen, ähm ((fragt))  
 60 J: das ist die **Kamera**, das ist **die Kamera**  
 61 I: welche Kamera ((fragt))  
 62 J: da oben hängt nämlich noch so eine Kamera  
 63 I: ja  
 64 J: ja, die filmt das dann halt, dann wissen die wo- was- wo wir sind  
 65 I: aha, ja ((fragt))  
 66 J: ähm da hinten ist auch so ein komischer Schrank oder so,  
 67 M: ja  
 68 J: da sieht man wo alle kleinen Lollis, ähm (rumkreisen) (  
 ) einen Zusammenhang 'oder so'  
 69 J: ja im **Schrank**, da kann man alles reinprogrammieren  
 70 J: und= und da oben ist auch noch dieses komische, ähm dieses  
 komische, Quadrat so  
 71 J: dieses fette

- 72 J: dieser Quader und der spiegelt auch so was wie ( )
- 73 M: ja, **Beamer**
- 74 J: **Beamer**
- 75 I: nehmen wir-, nehmen wir mal an, da würde von oben- würde wirklich beobachtet werden, oh da ist ein neuer Chef, wie, also dann machen praktisch **all diese Kreise** oder Quallen, oder Punkte, oder Lollis , alle Lollis rennen also diesem Chef hinterher, oder der Chefin hinterher oder machen die auch was, anderes ((fragt))
- 76 M: die machen manchmal was anderes und die machen manchmal- rennen die einem hinterher
- 77 I: wann machen die was anderes ((fragt))
- 78 M: wenn man- wenn man einfach ganz lange stehen bleibt oder, aus der Bahn geht
- 79 I: was machen die denn dann ((fragt))
- 80 M: laufen in die Ecke und machen alle Quatsch
- 81 I: ja ((fragt))
- 82 M: ja, dann machen die **irgendwas**, und dann (quetschen) die sich immer
- 83 I: ja, du wolltest was sagen
- 84 M: ähm ich habe mich runtergebeugt und "tscht" gesagt und sind die immer um mich herum im Kreis rumgeschwirrt 'oder, die Lollis'
- 85 I: ja, und meinst du das hatte irgendwas mit dem "tscht" zutun oder mit dem runterbeugen ((fragt))
- 86 M: weiß ich nicht, vielleicht mit dem runterbeugen oder mit dem "tscht"
- 87 J: können wir ja mal nachher ausprobieren
- 88 I: dann bist du sofort dran
- 89 J: also, es könnte sein, irgendwie dass ähm, wenn man irgend einen Laut macht, machen die eine **besondere** Bewegung oder so und wenn man sich irgendwie, mehr bewegt dann machen die dasselbe einfach nur (2) also dass sie wenn man irgendwie "tscht" sagt dass sie dann irgendwas besonderes machen oder so
- 90 I: ja
- 91 J: **und** ähm, da waren noch irgendwo solche Aufkleber, die da so halb kaputt waren irgendwie, diese-
- 92 M: ja so **Ecken**
- 93 J: **Ecken** und da, da, wenn man sich da hinter stellt, dann können die einem nicht hinterher
- 94 I: ja, dann ist man praktisch versteckt (2) so jetzt wolltest du
- 95 M: und dann irgendwie bei den Ecken dann **ging da ja noch eine Linie noch lang**, die man aber nicht gesehen hat und wenn man da hinter war sind die auch nicht zu einem gekommen
- 96 I: ja also die haben nur eine bestimmte Fläche die sie sehen können
- 97 J: das könnte mit dem **Spiegel** zutun haben, wenn der= der Spiegel vorbei ist dann können die da nicht hin
- 98 I: ja, ja, und eben wie euch <Moderatorin> gefragt hat, da habt ihr gesagt das waren **verschiedene**, Lollis, das waren mal weiße Lollis
- 99 G: ja, ja
- 100 M: nein
- 101 I: mal rote Lollis, waren das unterschiedliche Gruppen oder haben die Farben sogar vielleicht was anderes zu bedeuten, könnt ihr euch da irgendwas vorstellen ((fragt))
- 102 G: ähm
- 103 I: ja ((fragt))
- 104 M: die Lollis **waren überhaupt nicht** unterschiedlich nur die Punkte
- 105 M: ja
- 106 I: ja, was ist denn jetzt die Lollis oder die Punkte ( )



- 107 J: nein, die Punkte die weißen also diese- die neuen die kleinen, die haben= die haben so einen Lollistiel und die anderen, die haben, die sind einfach nur so Kreise
- 108 I: ja Kreise, also das was wir zum Schluss gemacht haben ((fragt))
- 109 G: JA
- 110 J: das waren Lollis
- 111 I: ach **das** waren für euch die Lollis
- 112 J: JA
- 113 I: da seht ihr denn Unterscheid
- 114 M: ja
- 115 M: weil die anderen hatten **keinen Strich** da noch irgendwie
- 116 I: ja
- 117 J: und die neuen waren noch kleiner
- 118 I: aber so wie ihr das **beschreibt**, ist das ja so, als on die Lollis oder die Kreise **wirklich einen Chef bräuchten**
- 119 J: **brauchen** sie aber nicht, weil sie das eigentlich ohne absprechen alles
- 120 M: die sprechen aber nichts ab
- 121 I: die Frage ist, vielleicht sprechen sie ja wirklich etwas ab (2) wenn wir jetzt versuchen mal in **diese Richtung** zu denken-
- 122 J: das schaffen wir nicht
- 123 I: das schafft ihr nicht ((fragt))
- 124 J: doch ich weiß vielleicht was
- 125 M: doch, ja ((fragt))
- 126 M: mit=mit ähm, Strahlen die wir nicht sehen können
- 127 M: **Strahlen**, UV-Strahlen
- 128 I: ja, das könnte, das könnte es sein, ihr hättet ja eben davon gesprochen das könnte eine Kamera sein, das wäre ja so was, wo man wirklich durchgucken kann und man könnte Kinder oder Chefs sehen, ja, ja was wolltest du sagen ((fragt))
- 129 M: das könnte die Bewegung sein
- 130 I: ja, ja wir müsste uns das vielleicht gleich mal unten angucken, so , aber wir wissen immer noch nicht, wie reden diese Jungs und Mädels da unten untereinander, wenn ihr als Chefs nicht da seid, denn, ihr habt gesagt die werden viel ruhiger wenn ihr nicht da seid, das sollte euch zu denken geben
- 131 G: hmmm ((stimmt zu))
- 132 I: ja, und dann heißt das ja vielleicht reden die ja doch miteinander , und sagen sie oh da kommen schon wieder diese Kinder, oh, oh passt auf, könnte doch sein oder, was wolltest du sagen ((fragt))
- 133 J: wir könnten das ja gleich ausprobieren, indem man erst mal so auf die Fläche guckt, ähm ohne dass das vor der Kamera ist
- 134 I: hmmm ((stimmt zu))
- 135 J: ähm, und dann einen Finger vor die Kamera hält ob die dann alle da unten zu einem Fleck laufen
- 136 I: aber dann haben wir- ich nehm dich gleich dran- dann haben wir das Problem, dass wir immer noch nicht wissen, was müssen sie, von **einander wissen**, also was muss der eine Kreis vielleicht von dem anderen Kreis wissen, damit sich die, Jungs und Mädels die Kreise ( ) ihr wart zuerst und dann bist du dran
- 137 M: irgendwie, vielleicht verständigen sie sich ja auch durchs **Rempeln**
- 138 I: hmmm, sind sie denn einmal zusammengestoßen ((fragt))
- 139 J: mindestens
- 140 J: NEIN, nein das sind Gegenmagneten, die gehen "Boing"
- 141 I: ja, ich weiß jetzt gar nicht ob sie zusammenstoßen, können sie zusammen= habt ihr sie zusammenstoßen erlebt ((fragt))
- 142 G: JA
- 143 I: habt ihr denn erlebt-, sind sie gegen euch gerempelt ((fragt))
- 144 J: NÖ

- 145 J: JA, JA, die werden angestrahlt also können die auch an mich gestrahlt werden
- 146 I: was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 147 M: da ist ja auch so ein **Kasten** und daneben ist da ein Spiegel und dann, vielleicht wird das 'dann ja', hmm also diese Punkte werden von diesem **Kasten** dahin gesetzt und dann werden die, irgendwie , 'so halt', wieder **abgeprallt** und 'so was'
- 148 I: ja
- 149 M: von diesem **Kasten** kommen vielleicht die Punkte
- 150 J: ja das ist doch richtig logisch was sie da sagt
- 151 I: ja, du meldest dich noch ((fordert auf))
- 152 J: die kommen vom Kasten und, im Kasten werden die auch bewegt und **im Kasten** reagieren die auch auf Bewegung
- 153 I: ja, stellt euch das ganze mal vor
- 154 G: ja hmmm
- 155 I: also einmal natürlich die Fläche ohne euch, ohne Chefs
- 156 G: ja
- 157 I: so, wenn die ähm, wenn die Punkte nichts voneinander wissen wüssten
- 158 J: ok
- 159 I: das da noch ein Punkt ist, was würden die dann machen ((fragt))
- 160 J: rumstehen glaub ich
- 161 M: also DIE WÄREN DANN NICHT IN DER GRUPPE
- 162 I: genau, genau
- 163 J: die müssen ja immer wissen wo der andere langgeht, weil sonst könnte- würde einer dahin, einer dahin
- 164 J: es kennen sich **nur Bestimmte**, es können sich nur Bestimmte
- 165 I: warum welche kennen sich nicht ((fragt))
- 166 J: die sind alle in verschiedenen Gruppen
- 167 I: was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 168 M: vielleicht denken die weil wir die Größten sind, ähm sind, wir dann die Chefs und laufen uns dann immer hinterher weil wir nach vorne weggehen
- 169 I: aha, meint ihr, meint ihr wirklich die= die könnten ja auch ganz was anderes denken, vielleicht sehen die euch auch gar nicht, vielleicht sehen die euch auch gar nicht als Chefs, vielleicht sagen die- ja ((fragt))
- 170 J: achso da-, die sehen einen nicht als Chef, aber trotzdem das ist ja eine Gruppe und deswegen müssen die dem hinterher
- 171 I: ja, also ich=ich kann es euch ja gar nicht sagen, ich weiß ja nicht ob die euch als Chef sehen, oder vielleicht denken die **oh ein Lutscher, oh ein ( )**
- 172 G: ((lacht))
- 173 I: oder vielleicht sind die einfach neugierig und wollen wissen, wer ist hier bei uns im Gehege drin, ja das könnte ja auch sein
- 174 M: **wir**
- 175 I: darf ich euch noch jetzt noch, noch **zwei kleine** Fragen, das eine ist äh, fandet ihr heute die Aufgabe schwer- ((fragt))
- 176 J: ja
- 177 I: mit dem Schwarm
- 178 J: ja ich hab sie nicht so richtig verstanden
- 179 M: ja ich hab das auch erst nicht verstanden
- 180 J: JEIN, JEIN
- 181 I: was= was war daran so schwer, was hast du daran nicht verstanden ((fragt))
- 182 J: also, weil das irgendwie- das ist ja irgendwie komisch wie soll man denn herausfinden, also was die denken, das kann man doch eigentlich gar nicht, man kann doch nicht in deren- deren Stiele reingucken
- 183 J: ja

- 184 M: ja, ja
- 185 I: ja (2) und was wolltest du sagen ((fragt))
- 186 M: das wollte ich auch sagen
- 187 I: ja, ja wobei ihr, das muss man dazu sagen, ihr hattet nicht viel Zeit, wenn ihr überlegt ihr würdet von= von ganz wo anders kommen, irgendwo-
- 188 J: aus **Asien**
- 189 I: aus **der Wüste**, aus der Wüste und ihr würdet hier das erste Mal ein Fußballspiel sehen, dann würdet ihr, vielleicht **auch gar nicht verstehen** warum laufen den diese ganzen erwachsenen Menschen hinter so einem, kleinen, Stein- oder ihr wüsstet ja gar nicht dass das ein Ball ist, hinterher
- 190 J: ACHSO, achso ich hab- ja
- 191 I: ja
- 192 J: dann würden die ähm ( ) warum warum mach ich das mit, dann mach ich da einfach mit
- 193 M: muss ich hinter **diesem Ding** rumlaufen
- 194 J: ODER= oder ich weiß was, immer wenn die Mehrheit dahin geht dann denkt der wahrscheinlich auch irgendwie, ich muss da irgendwie auch hingehen das ist ja die Mehrheit
- 195 I: ja, ja, also das will ich nur damit sagen ihr hattet ja grad gesagt, die Aufgabe war **nicht so einfach**, aber das ist natürlich für jeden, der auch noch nie ein Fußballspiel gesehen hat, **zu verstehen**, dass da zwei Tore sind und das da die Bälle reinmüssen, das nicht einfach nur die Erwachsenen da
- 196 J: **Bälle**, es gibt nur einen Ball
- 197 I: es gibt nur einen Ball, ja aber überhaupt zu verstehen, die **Mannschaften** zu erkennen, das ist natürlich ein Scheckerl, so
- 198 J: ( ) erkennen nicht, ähm grün-weiß und
- 199 I: wenn du so was noch nie erlebt hast, wenn du die ganze Zeit im Lederlendenschurz rumgelaufen bist dann weißt du nicht dass es entlang der Farben geht, du könntest auch sagen da sind langhaarige Männer und da sind lang- äh kurzhaarige Männer, vielleicht ( ) kleine Männer, große Männer
- 200 J: ja und was ist wenn Männer **Riesen** sind
- 201 I: also es gibt verschiedene Möglichkeiten Gruppen aufzuteilen, ihr habt das gesehen heute, Blau und Rot ( zack ) ihr wart in einer Gruppe (hättet ihr das **jemals** gedacht), so du wolltest noch was sagen ((fragt))
- 202 M: nein
- 203 I: so, nächste Frage, was fandet ihr heute, unten beim spielen mit, äh mit dem Schwarm, äh das schönste Erlebnis, gibt es da eins, oder ((fragt))
- 204 J: nö
- 205 J: nö
- 206 M: NÖ ALLES GLEICH GUT ALLES GLEICH GUT
- 207 I: alles gleich gut, tobt ihr auf dem Schulhof sonst, oder ((fragt))
- 208 M: alles langweilig
- 209 J: NEIN ich fand die= ich fand die Punkte alle, also=also alle=alle Punkte ( )
- 210 J: ich fand die XL-Panzer gut
- 211 I: welche XL-Panzer ((fragt))
- 212 J: ich fand die Lollis gut
- 213 J: diese Dingsda diese Lollis
- 214 I: die Lollis das waren praktisch die Zweite äh- diese mit dem ( ), die fandet ihr gut, oder die fandst du gut, ja ((fragt))
- 215 M: ja
- 216 J: ja
- 217 I: und was fandst du daran besser als an den andern ((fragt))

- 218 J: das die halt wie Lollis aussehen, dann kriegt man richtigen Appetit auf Lollis
- 219 I: ja, ja was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 220 M: ich fand das auch gut mit dem- ähm Zweiten, weil man ähm, also weil man, gekuckt hat und dann sah man die nicht und dann waren die auf ein- direkt hinter einem und man hat die gar nicht so schnell gefunden weil man die, weil die Farben **so lasch waren**
- 221 I: ja ja ja, so lasch waren, ja, was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 222 M: ich fand die Lollis auch besser, aber ich fand das warten ziemlich doof
- 223 M: ja ich auch
- 224 I: aber was ich ja gesehen habe, was ihr ja gemacht habt, das ist zwischendrin, beim warten, habt ihr ja auch reinggerufen,
- 225 G: ja
- 226 I: lasst mal weg oder, lock sie mal an
- 227 G: ja
- 228 I: und was ich zu Anfang auch **bei euch gesehen habe**, wie ihr alle **auf der Fläche wart**, da hat einer oder eine von euch immer gerufen, kommt wir bilden mal einen Kreis, oder wir gehen mal alle ganz schnell auseinander und äh ihr habt das dann auch als Gruppe dann gemacht, ihr habt versucht zu experimentieren, ok, von meiner Seite aus wäre es das, ich hoffe es hat euch Spaß gemacht
- 229 I: du weißt jetzt was der Schwarm ist, nicht ((fragt))
- 230 J: **das wusste ich schon vorher**, ein Vogelschwarm, toll
- 231 I: und, was zeichnet einen Schwarm aus
- 232 J: EINE GRUPPE
- 233 I: eine Gruppe ja, und wie funktioniert der Vogelschwarm ((fragt))
- 234 J: ich glaube **doch**, es gibt einen Anführer und der bestimmt wo die langgehen, also wenn der jetzt da lang (fliegt) dann fliegen die anderen auch da hin
- 235 I: ja und was wolltest du noch sagen ((fragt))
- 236 M: und es gibt einen **Bienenschwarm** und eine **Königin** und die anderen müssen für die arbeiten- und holen immer halt-
- 237 I: ja
- 238 M: die anderen müssen für den- für die arbeiten, Nektar holen
- 239 I: habt ihr denn schon mal einen Bienenschwarm beobachtet ((fragt))
- 240 G: ja, ja
- 241 I: und wisst ihr wie die Bienen miteinander reden ((fragt))
- 242 G: mit "bssssssssssssss"
- 243 I: auch
- 244 J: und mit Zeichen
- 245 I: und mit was für Zeichen, was machen die ((fragt))
- 246 J: mit **Popowackeln** mit **Popowackeln**
- 247 I: ja und durch drehen, also dass sie sich auf der Stelle drehen und das sie hin- und hergehen und durch das surren können die anderen Bienen sagen, wo der leckere äh ähm, wie heißt das-
- 248 M: Nektar
- 249 I: können sie beschreiben ( ) du wolltest jetzt noch was sagen ((fordert auf))
- 250 M: im **Gäneschwarm**, da fliegen die auch ganz oft im **Dreieck**, also einer fliegt vorne weg und die anderen fliegen dann in so einem Dreieck hinterher
- 251 I: genau
- 252 M: und man hört die ganz oft so laut schnattern und so
- 253 I: ihr wisst, wenn man die am Himmel beobachtet die fliegen ja nicht einfach stumpf geradeaus, sondern diese Dreieck von Vögeln schafft es auch wirklich wie beim Flugzeug, praktisch so eine Neigung zu machen, und
- 254 J: **ohne dass das**= ohne dass das Dreieck, so auseinander geht
- 255 I: genau genau

- 256 J: weil die fliegen, die müssen sich ja sagen, der fliegt als erstes dann 3 Sekunden später der Zweite 4 Sekunden später der vierte
- 257 I: richtig richtig und was müssen die wissen wenn die eine Kurve fliegen, da ruft ja nicht einer WIR FLIEGEN JETZT EINE KURVE **RECHTS**, sondern, was machen die dann ((fragt))
- 258 J: ((macht Schnattergeräusche))
- 259 I: ja sag mal, hier
- 260 J: ähm ich glaube ähm, dann bewegen die 'bewegen die Flügel' oder die schnattern die irgendwas oder so ( )  
wenn irgendjemand da abbiegt dann machen die anderen das auch, weil sie eine Gruppe sind
- 261 I: ja ja, warte du hast dich zuerst gemeldet
- 262 M: oder zum Beispiel, einer kommt hier nah vorne und dann, macht der Eine eine Kurve und die anderen folgen ihm dann auch
- 263 M: **genau**
- 264 I: ja ja, und kannst du dir vorstellen was die dafür, äh, wie die das machen, also wir hatten eben schon festgestellt die bilden, zum Beispiel einen Dreieck, die könnten auch einen= einen Rechteck oder sonst was- sie könnten auch einen Kreis bilden, **aber** sie bewegen sich und hier du sagtest eben, äh, es macht einer eine andere Bewegung was machen dann die anderen ((fragt))
- 265 J: die machen die, selbe Bewegung
- 266 I: ja, hast du noch eine Idee ((fragt))
- 267 M: ja vielleicht ähm dr= drehen die sich **auf die Seite** und so und damit zeigen die dass man darum jetzt-
- 268 I: ja, ja ((fragt))
- 269 M: vielleicht zieht der Eine ein bisschen den Flügel an **dann macht der Nächste das**, so dass das **immer weiter durchgeht**, so dass das dann alle merken

## Beobachtungsprotokoll

- 1 **Freies Agieren mit dem Schwarm bei der Installation:**
- 2 Die Kinder spielen erst und interagieren mit dem Schwarm. Sie wollen herausfinden wie der Schwarm funktioniert und schauen an die Decke . Danach spielen sie wieder mit dem Schwarm. Die Kinder kommentieren die Geschehnisse: "Wir können doch einfach mal stehen bleiben", "Bei mir prallt das ab". Der Schwarm soll einen Kreis machen, sagen einige Kinder. Danach wieder spielerischer Umgang mit dem Schwarm.
- 3
- 4 **Detaillierte Einzelbeobachtung bzw. einzelne Interaktion mit dem Schwarm:**
- 5 Ein Mädchen nähert sich dem Schwarm langsam und läuft um ihn herum. Sie verfolgt ihn, lacht und fängt dann an zu stampfen und tritt auf die Lichtpunkte. Sie läuft dem Schwarm hinterher und dann vor ihm weg. Sie redet nicht und fixiert den Schwarm mit ihren Blicken . Die anderen Kinder reden vereinzelt: "Sie wollen dich umzingeln".
- 6 Ein Mädchen reagiert zurückhaltend auf den Schwarm und bewegt sich anfänglich am Rand. Einmal stampft sie laut in der Mitte des Schwarms auf. Dann läuft sie dem Schwarm langsam hinterher und versucht mit den Füßen auf die Lichtpunkte zu treten. Sie redet nicht und bewegt sich ruhig auf der Fläche, so dass der Schwarm vermehrt gelb und grün ist.

- 7 Ein Junge reagiert nicht zögerlich und rennt über die Fläche. Dann bleibt er stehen und beobachtet. Er rennt abrupt los und versucht, mit den Füßen auf die Lichtpunkte zu treten. Der Schwarm ist rot. Der Junge dreht sich im Kreis und wedelt schnell mit den Armen. Er wirft sich auf den Boden und tritt den Schwarm mehrmals auf einer Stelle. Er redet nicht, hat den Mund geöffnet und wirkt angestrengt damit beschäftigt, auf die Lichtpunkte zu treten.
- 8 Ein Junge bleibt am Anfang ruhig auf der Stelle stehen. Dann tritt er mit dem Fuß auf den Boden. Kurz darauf bleibt er wieder ein paar Sekunden auf der Stelle stehen. Er läuft dem Schwarm hinterher. Seine Blicke sind auf die Punkte fixiert. Die Kinder werden lauter und rufen: "Hier her", "Jetzt ist er weg" und "Jetzt bist du der Anführer". Der Junge tritt auf einen Lichtpunkt und sagt: "Tod". Er bleibt an der Stelle stehen und beobachtet wie der Schwarm seine Füße grün färbt. Er bleibt weiterhin auf der Stelle, bis alle Punkte bei ihm sind. Dann tritt er auf die Lichtpunkte. "Es sind ziemlich viele", sagt er.
- 9 Ein Junge geht in gebeugter Haltung mit den Armen über den Boden wedelnd dem Schwarm hinterher. "Der war eben auf deinem Kopf", sagt ein Junge aus dem Kreis. Der Akteur fasst sich auf den Kopf. "Ah nein", sagt er und rennt vor dem Schwarm weg. Danach geht er in die Knie und springt in die Luft. "Lass dich mal gar nicht von dem berühren", sagt ein Mädchen. Der Junge versucht daraufhin, vor dem Schwarm wegzurennen. "Pass auf sie kommen", "Du musst in die Ecke gehen, da kriegen die dich auf keinen Fall", argumentiert man aus dem Sitzkreis.
- 10 Ein Mädchen konzentriert sich auf einen Fuß und will damit den Schwarm berühren. Als sie bemerkt, dass der Schwarm auf ihren anderen Fuß ist schüttelt sie diesen Fuß. Der Schwarm ist rot und sie rennt vor dem Schwarm weg. Sie schaut oft ins Publikum und will auf die Kommentare ihrer Mitschüler reagieren und fragt: "was?"
- 11 Ein Junge macht große Schritte und will mit dem Fuß auf den Schwarm treten. Ein Mädchen sagt: "Ich glaube wenn jemand einen grünen Aufkleber hat, dann (reagiert der Schwarm in besonderer Weise)". Der Junge bewegt sich mit großen Schritten um den Schwarm und wirkt konzentriert. Es macht die Runde, dass <Beobachterin> am Computer den Schwarm steuert.
- 12 "Geh mal in eine Ecke", ruft ein Mädchen aus dem Publikum. Das Mädchen in der Mitte versucht auf den Schwarm zu treten, bewegt sich schnell in gebeugter Haltung auf den Schwarm konzentriert.
- 13 Ein Junge rennt über die Fläche und lässt sich zu Boden fallen. Er geht auf den Schwarm zu und rennt wieder weg. Er bewegt seine Finger als Zeichen der Lockung in gebeugter Haltung, der Schwarm kommt auf ihn zu und er springt über ihn. Er lässt sich auf den Boden fallen und bewegt alle Gliedmaßen auf dem Schwarm. Er macht, zum Schwarm gerichtet, erneut anlockende Handbewegungen.
- 14 Ein Junge schaut nach oben zur Beamer/Spiegel-Konstruktion. Er geht langsam, der Schwarm wird grün. Er schleift die Füße über den Boden und bewegt sich sehr langsam. Zunehmend bewegt er sich mehr und wird aktiver. Die Lichtpunkte sammeln sich, der Junge bleibt ruhig stehen. Als der Schwarm sich wieder streut und der Junge nicht mehr alle Punkte im Blick hat, versucht er mit dem Fuß auf die einzelnen Lichtpunkte zu treten.
- 15 Ein Mädchen läuft auf den Schwarm zu, rennt vor ihm weg und springt über ihn. Sie bewegt sich, dreht sich im Kreis. Dabei schaut sie auf den Schwarm. Die Kinder im Kreis unterhalten sich sehr leise.
- 16 Ein Junge kommt mit lauten Geräuschen auf die Fläche und bleibt dann abrupt stehen. Er rennt und bleibt stehen. Er läuft von einer Ecke zur anderen und tritt mit langsamen Schritten auf die Lichtpunkte

- . Einige Jungs die um <Moderatorin> sitzen, schauen zur Beamer/  
Spiel-Konstruktion an die Decke. <Moderatorin> geht weiter. Die  
Jungen schauen weiter zur Decke und dann wieder auf die Fläche. "  
Die verändern sich immer" wird im Kreis festgestellt.
- 17
- 18 **Agieren mit der Software am Laptop in Gruppenarbeit:**
- 19 Die Kinder beschäftigen sich selbstständig mit dem Programm. "Was  
muss man denn machen?", "Die sind alle auf einem Fleck jetzt" wird  
gesagt. Die Kinder probieren das Programm aus und klicken sich  
durch die Funktionen.
- 20 Diskussion über den Abstand der Schwarmagenten zueinander, was  
passiert wenn man ihn klein/groß macht.
- 21 Es wird in den Arbeitsgruppen diskutiert: "Man kann das auch mit der  
Tastatur machen", "Man kann die Erklärung ja auch einfach lesen"
- 22 Die Jungengruppe arbeitet am selbstständigsten. Sie rufen <  
Moderatorin> nicht. Sie denken nach, klicken dann. "Sie bilden  
einen Schwarm. Einen richtigen Schwarm", "Also ich check das nicht  
" sind Aussagen.
- 23 Die Mädchengruppe wirkt ratlos und fragt häufig nach Hilfe. Die  
Mädchen fordern durch melden und nachfragen die meiste  
Aufmerksamkeit und Zeit von <Moderatorin>. Auch wenn die Mädchen  
was herausgefunden haben, fordern sie sofort <Moderatorin> an,  
genauso wie bei Fragen und Anmerkungen.
- 24 Beim geschlechtergemischten Tisch meldet sich immer das Mädchen und  
klopft auf den Tisch, wenn die Hilfe der <Moderatorin> gebraucht  
wird.
- 25 "Wenn ich das ganze weg mach, dann gehen alle auseinander" wird an  
einem Tisch kommentiert.
- 26 Ein Junge geht rum und schaut bei den anderen Gruppen
- 27
- 28 **Selber einen Schwarm bilden bei der Installation:**
- 29 Die Kinder spielen mit dem Schwarm und fangen dann an, einen Schwarm  
zu bilden. Das sie das Schwarmverhalten nach den drei Regeln  
befolgen ist nicht ersichtlich. Sie rennen über die  
Projektionsfläche im Kreis. "Irgendwie klappt das so nicht", "Wir  
müssen alle in einer Richtung gehen" und "in einer Schlange" sind  
Aussagen der Kinder. Vier Jungen umkreisen rennend die Kinder, die  
eine Schlange bilden. Sie rufen ab und zu Richtungswechsel und  
wechseln daraufhin diese. Die Moderatorin muss Hinweise geben.

## B.2 *Swarming Sounds* Workshop

Der Workshop mit der Komponente *Swarming Sounds* fand im März 2010 mit neun Teilnehmern statt.

### Interviewtranskripte

Auf die Transkription des Interviews von der Gruppe *Laptop* folgt die der Gruppe *Installation* dargestellt.

**Gruppe Laptop**

- 1 I: Und zwar wollte ich euch jetzt ein paar Fragen stellen und wir können das einfach so machen, ich stell 'ne Frage und ihr könnt reihum antworten, okay? Könnt ja immer mal auch von der anderen Seite anfangen, Und zwar habt ihr euch ja heute schon viel mit dem Schwarm beschäftigt ne? Und wart jetzt an dem Computer dran, und ich wollte euch fragen, ob ihr mir erzählen könnt, was jetzt in der Zeit am **Computer** passiert ist, Ihr könnt alles erzählen was ihr wollt
- 2 M: Ähm also es war ein bisschen komisch, zum Beispiel wenn wir stehen geblieben sind haben sie uns umkreist das war so ein komisches Geräusch das war nicht so schön, Und da wo wir ähm uns bewegt haben, und immer schneller ähm, war des so ein dunkles Geräusch das war irgendwie schöner
- 3 I: Mhm
- 4 K: Mhm
- 5 I: Willst du was zu sagen?
- 6 K: M-m
- 7 I: Ihr? Was ist passiert in den letzten, paar Minuten die ihr am Laptop wart? (2) Was habt ihr da erlebt?
- 8 G: (1) ((kichern))
- 9 M: Da äh wo wir uns immer bewegt haben haben sich die Farben verändert
- 10 I: ja
- 11 M: Und dazu wo sich die Farben verändert haben waren dann immer andere Geräusche da
- 12 I: Mhm. (2) Das konntest du sehen auf dem Laptop?
- 13 M: Ähm (5) ((flüstern)) äh ich konnte da sehen dass sie sich auch verändert haben den
- 14 Geräusch da
- 15 I: Ja, nun kannst du mir davon erzählen wie sich das Geräusch verändert hat?
- 16 M: Ja, das, da heben sich, einer hat sich so angehört wie ne Trommel ((lachen)) Die andere, hat so zwei Stöcke gehabt (2)
- 17 I: Ja, du wolltest doch was sagen?
- 18 K: M-m, sie hat das gleiche gesagt
- 19 I: Du kannst gerne nochmal wiederholen
- 20 K: Okay
- 21 I: Wenn du möchtest,
- 22 K: M-m
- 23 I: Oder einfach erzählen wie es dir denn in den letzten 20 Minuten ergangen ist vor dem Laptop. Was dir da für Gedanken kamen.
- 24 K: ((gähnen))
- 25 J: Bei den pinken oder so das war ein ganz hoher, Ton
- 26 I: Ein ganz hoher Ton?
- 27 M: Das war lila, nicht pink (3)
- 28 I: Und euch ist euch was aufgefallen?
- 29 J: Ja dass es bei den blauen, auch ein ziemlich, hoher Ton war
- 30 I: Mhm. (2) Ja (3) Sonst noch was? (2) Und dir Leandro?
- 31 J: Keine Ahnung
- 32 I: Kannst du davon erzählen was du die letzte halbe Stunde gemacht hast? (2) Weißt du es nicht mehr?
- 33 J: Diese Töne da angehört
- 34 I: Und wie haben die geklungen?
- 35 J: Irgendwie komisch (3)
- 36 I: Mhm (4) Und, könnt ihr mir davon erzählen wie ihr das Arbeiten allgemein mit dem Schwarm und dem Computerprogramm empfunden habt ?



- 37 M: Mir hat das gut gefallen, es war, ist einfach mal was anderes  
gewesen
- 38 I: Ja (3) Und kannst du genauer erzählen was dir gut gefallen hat?
- 39 M: Also dass, die ähm, die haben halt immer ihre Meinung gewechselt,  
ähm, mal gings zum Guten mal waren sie wütend, ähm
- 40 I: Ja (2)
- 41 M: ((leise)) Sonst nichts
- 42 I: Und bei dir? (8)
- 43 J: ich fand das auch gut wo sie, ähm, immer andere Töne bekommen  
haben
- 44 I: Ja (2)
- 45 J: Und die Farben
- 46 I: Die Farben fandst du gut? Und hatten die Farben was mit den Tönen  
zu tun?
- 47 J: Äh ja, wenn ne andere Farbe gekommen ist ist auch ein anderer Ton  
gekommen
- 48 I: Und gabs da irgendwas was man herausfinden konnte dass das immer  
so war wie so ein Gesetz? (7) Ihr hattet was rausge- **Du** hattet  
was rausgefunden, ne, weißt du das noch?
- 49 M: Wegen den Geräuschen?
- 50 I: Genau
- 51 M: Ähm ja wenn man sich halt schnell bewegt, werden sie wütend
- 52 I: Ja
- 53 M: und machen ein anderes ein dunkles Geräusch und ähm wenn man  
stehen bleibt ist das so ein komischer Klang, das ist einfach ein  
höherer Klang
- 54 I: Ja, genau (2) Hast du noch was rausgefunden <Mädchen>
- 55 M: Ja äh, dass, der Klang der wird auch immer schnell höher, weil man  
sich so schnell bewegt
- 56 I: Ja
- 57 M: Und, das war eigentlich auch ganz total lustig
- 58 I: war total lustig?
- 59 M: Ja (4) Ja
- 60 I: Und ihr zwei? (4) Wisst ihr noch, wie die Frage war?
- 61 J: Nö
- 62 I: Ob ihr allgemein was über den Schwarm erzählen könnt
- 63 J: M-m
- 64 I: Was euch da, was ihr erlebt habt (6)
- 65 I: Wollt ihr nicht?
- 66 J: Nö
- 67 I: Okay, dann machen wir weiter dass <Moderatorin von Gruppe Laptop>  
oder <Moderatorin von Gruppe Installation> oben hat euch ja die  
Aufgabe gestellt dass ihr so Regeln herausfinden sollt, die der  
Schwarm befolgt am Computer ne? Könnt ihr mir da irgendeine Regel  
erzählen? Habt ihr was rausgefunden? (3) Also ich hab schon was  
Richtiges vorhin gehört
- 68 M: (verlegen) Was?
- 69 I: Vielleicht könnt ihr nochmal die drei Regeln erzählen die euch, <  
Moderatorin> gesagt hat? Wie der Schwarm reagiert (5)
- 70 M: Wenn man da drauf geht also wenn man größer ist dann kommen die  
und wenn man sich hinlegt weil man ganz klein ist dann kommen sie  
nicht, dann sehen sie keinen
- 71 I: Genau, und wie sieht der Schwarm aus wenn man groß ist?
- 72 M: Dann gehen die sofort nach, wer da drauf steht
- 73 I: Ja, Und welche Farne hat er da?
- 74 K: Rot
- 75 K: Rot
- 76 K: Rot
- 77 I: Genau, Und welcher Klang kommt da?
- 78 M: Ein ganz tiefer

- 79 I: Ein tiefer Klang? Und wenn man liegt wie ist es dann?  
80 J: Ein hoher  
81 M: Ein hoher  
82 I: genau also könnt ihr schon mal die Tonhöhe sagen, ist euch noch was aufgefallen? (4)  
83 J: Mir nicht  
84 I: Mhm (3) Aber das ist schon mal richtig, habt ihr selbst rausgefunden wie richtige Wissenschaftler (2) Und, könnt ihr mir erzählen wie ihr den Schwarm mit Sound empfindet? Also wenn der auch noch so Geräusche macht  
85 M: Ein, bisschen anders auf jeden Fall als wenn wir zum Beispiel da sind und, auf dem ähm Schwarm sind und die keine Geräusche haben ist es schon ein bisschen anders als wie wenn wir die Geräusche noch dabei hören  
86 M: ( )  
87 M: Genau  
88 I: Ja? Und was ist da anders?  
89 M: Ein bisschen beruhigender auf jeden Fall, ich mags auch nicht wenn Tiere zum Beispiel wütend sind  
90 I: Ja (2) Und du würdest sagen dass das Tiere sind, die da  
91 M: ja  
92 J: Käfer  
93 I: Käfer  
94 J: oder Zecken  
95 M: Dawenn sie wütend aussehen also wenn sie rot sind sehen sie aus wie Spinnen  
96 J: oder wenn sie weiß sind sind sie in bisschen kleiner als die roten  
97 I: Mhm  
98 J: die wechseln ihre Größe, auch bisschen  
99 I: Und möchtest du nochmal erzählen, wie dir wie du den empfunden hast mit Sound, den Schwarm? (3) Du hast grad schon zugestimmt ne, kannst du einfach nochmal sagen wie es bei dir war?  
100 J: was denn?  
101 I: Wie du den Schwarm empfunden hast jetzt mit Sound, Ob das was anderes war als, ohne  
102 J: Ohne diese Ton ist das besser  
103 I: Ohne ist es besser? Kannst du erzählen warum, dir das besser gefällt? (2) Fühlst du dich da wohler?  
104 J: Das ist lustiger  
105 I: Ist lustiger? Und bei euch? Hats dir mit oder ohne Sound besser gefallen?  
106 J: Ohne.  
107 I: Hast du dafür auch einen Grund?  
108 J: Nö eigentlich nicht.  
109 I: Und dir <Junge>?  
110 J: Was  
111 I: Hats dir mit oder ohne Sound besser gefallen der Schwarm?  
112 J: Ohne  
113 I: Warum?  
114 J: Weil diese blöde Musik die irgendwie blöd  
115 K: ((husten))  
116 I: Die Musik blöd?  
117 J: Ja  
118 I: Aus welchem Grund?  
119 J: Keine Ahnung  
120 K: ((macht das Geräusch nach)) tütütütüt  
121 M: Das nervt so ein bisschen  
122 M: Ich fand es schöner als so irgendwie beruhigt waren und nicht so ähm diesen, Geräuschen  
123 I: Ja, Und du ( Name )?

- 124 M: War eigentlich sehr gut  
125 I: Mhm (3)  
126 J: Mit oder ohne?  
127 M: Was?  
128 J: So Musik?  
129 M: Also ohne Musik wars irgendwie nicht so gut. Da hat man gar nicht gehört die ( )  
130 I: Ja, du findest mit dem Klang besser?  
131 M Ja  
132 I: Weil?  
133 M: Weil da, weil man hören konnte da genau, was das, für Töne waren  
134 I: Ja  
135 M: also wo wir keine hören konnten, ja  
136 I: Und weißt du noch was das für Töne waren?  
137 M: Äh, ja, ähm also das waren Instrumente, da war eine Trommel, so ein kleines ( )  
138 I: Ja  
139 M: Äh, die anderen weiß ich jetzt nicht mehr was das für Töne waren  
140 J: Ein ganz hoher und ganz tiefer Ton  
141 I: Ganz hoher und ganz tiefer genau, Und, hättet ihr die Aufgabe jetzt lieber oben bei dem Scharm gemacht und wärt in dem Schwarm, wie ihr grade schon interagiert habt mit dem? Oder habt ihr das gerne hier am Computer gemacht  
142 M: Also mir hätte es besser gefallen beim Schwarm  
143 I: Ja  
144 M: Weil das auf dem Computer sah das so komisch aus, sah so gar nicht aus wie ein Schwarm  
145 I: Ja  
146 M: Ich hätts auch lieber oben gemacht  
147 I: Kannst du erzählen warum?  
148 M: Äh, weil die am Computer auch nicht so, echt aussehen wie oben  
149 I: Ja, (2) Und arbeitet ihr viel am Computer?  
150 M: Ich bin zu Hause viel, ja  
151 J: Und das ist witziger oben weil die ähm man darauf steht und das ist das ist so also dass die laufen  
152 M: Und das ist besser, war schon  
153 M: Jetzt wollt ich irgendwas sagen aber habs schon wieder vergessen  
154 J: ich fand das oben auch viel besser  
155 I: Ja? Könnt ihr erzählen warum, ihr das besser fandet?  
156 J: Ja, weil das oben auch ein bisschen echter ist, auch größer, sieht man auch besser  
157 I: Ja (4) und bei dir?  
158 M: Ich fand das irgendwie besser oben, weil da kann man sehen wie die echt waren und das konnte man sich da bewegen da drauf trampeln was man am Computer nicht konnte.  
159 M: Auf dem Computer kann man nicht rumtrampeln  
160 I: Stimmt  
161 K: und sich hinlegen  
162 I: Das konnte man jetzt nicht am Computer (2) und ihr habt jetzt auch schon alle ganz oft das Wort **Schwarm** gesagt, was ist denn das ein Schwarm?  
163 M: Das ist wenn ähm, ganz viele sich zusammensammeln das heißt ähm Schwarm, ich kanns aber nicht genauer  
164 K: Zum Beispiel Mäuse, die sich ganz viel versammeln halt  
165 M: Genau  
166 I: Und was machen die dann wieso versammeln die sich?  
167 J: Dass sie essen können oder trinken  
168 M: Oder dass sie was sagen wollen  
169 I: Mhm (2) wisst **ihr** was ein Schwarm ist?  
170 J: Ein Schwarm

- 171 I: Hast du eine Vorstellung, warum das Schwarm heißt?  
 172 K: Im Moment nicht mehr  
 173 I: Im Moment nicht mehr? Und du?  
 174 M: Ich eigentlich auch noch nicht nicht mehr  
 175 I: Dann hab ich noch ne letzte Frage an euch okay? Und zwar, wollte ich euch bitten mir zu erzählen was euch am **aller**besten gefallen hat bislang?  
 176 J: Ja unten wo wir da laufen durften  
 177 I: Wo ihr laufen durftet?  
 178 M: Erst mal hatte ich keine Lust weil ich mich da nicht alleine drauf traute  
 179 M: Ja hatte ich auch nicht, aber so dann wo ich das gesehen hab bei den anderen hab ich gesagt ja, die probieren ja gar nichts richtig aus, die **fühlen** ja nicht mal wie sich das überhaupt anfühlt und so und daher hab ich auch gesagt ich möchte das gerne wissen und deswegen bin ich auch raufgegangen  
 180 I: Mhm  
 181 M: Ich fand es auch oben viel besser, da konnte man das richtig fühlen und ausprobieren  
 182 K: Ich hab voll Hunger (4)  
 183 I: Ja  
 184 K: Ich fand das auch oben besser  
 185 I: Ja, kannst du erzählen warum?  
 186 K: Nö  
 187 J: Andere sagen unten andere sagen oben  
 188 M: Was fandst du denn besser <Junge>?  
 189 J: ( )  
 190 J: Ja unten  
 191 K: oben  
 192 K: oben  
 193 K: oben  
 194 K: oben  
 195 M: Wir sind nach unten gefahren  
 196 M: Wir sind ein Stockwerk nach unten gefahren  
 197 J: Ah ja  
 198 I: Wollt ihr noch irgendwas sagen?  
 199 J: Nö

### Gruppe *Installation*

- 1 I: Ja ich möchte euch jetzt mal bitten dass ihr mir davon erzählt was euch in den letzten 30 Minuten passiert ist, und also hier mit dem Schwarm, und da könnt ihr mir alles erzählen und da könnt ihr euch soviel Zeit nehmen wie ihr wollt ich unterbreche euch auch nicht, ich mach mir erst mal nur ein paar Notizen und ähm ja, Also , möchtest du anfangen also zu erzählen was die letzten, 30, Minuten passiert ist also mit dem Schwarm?  
 2 J: Ähm, nein  
 3 K: Du fängst an  
 4 G: ((lachen))  
 5 K: Der Ton wurde immer leiser, wenn die weiß werden  
 6 I: Mhm Leiser wurde der?  
 7 J: Und höher  
 8 I: Mhm, Und was habt ihr generell beobachtet? Also was habt ihr denn überhaupt gemacht? Was ist denn das überhaupt da hinten was da steht?

- 9 J: Also wir sind da rauf gegangen und dann kamen immer so Käfer, und die wurden sauer oder nicht
- 10 I: Mhm
- 11 J: Oder beruhigten sich
- 12 I: Und was habt **ihr** jetzt in der letzten halben Stunde da drüben erlebt? Ach so jetzt kaust du grad ((lachen))
- 13 J: Es wurde immer lauter, als es rot wurde wurde es immer lauter.
- 14 I: Aber am Anfang hattet ihr erst mal gar keinen Klang ne, da war ja gar kein Ton dabei
- 15 J: Da hatten die nur Farben und haben uns umzingelt
- 16 K: Mhm
- 17 J: Vor allem <Junge>
- 18 I: Wer?
- 19 J: <Junge>
- 20 I: Ah okay, und warum war das so?
- 21 J: Weil <Junge> immer auf die getreten ist und dann wurden die rot und haben ihn umzingelt
- 22 M: Und <Mädchen>
- 23 J: Die sind auf einen raufgekrabbelt
- 24 J: ( )
- 25 I: Hm bitte?
- 26 J: Das sieht man ja nur vom Spiegel
- 27 J: Weil sie überall auf dem Körper rumkrabbeln
- 28 I: ach so, Wie funktioniert das denn? Kannst du das erklären? Hast du da äh ne Idee?
- 29 J: Vom Laptop der Beamer wird auf den Spiegel äh und dann wird das wieder weitergeleitet etwa hier zum anderen Spiegel wird das genau so ausgerichtet dass das weitergeleitet wird
- 30 I: Okay (2) und ihr hattet eben erzählt diese Tierchen, also wir nennen die immer der **Schwarm** könnt ihr erzählen wie ihr die erlebt habt so als Schwarm? Könnt ihr mir erklären was ihr unter einem Schwarm versteht?
- 31 M: Weil es ganz viele sind
- 32 I: Mhm (2) Und bewegen die sich irgendwie in einer besonderen Art und Weise oder
- 33 J: mal langsam mal schnell
- 34 I: Genau ihr habt ja eben schon erzählt
- 35 J: Normal
- 36 I: dass ihr die beruhigt habt, könnt ihr da noch was ein bisschen was dazu erzählen? Ich hab das nicht so richtig mitgekriegt
- 37 L: ((mitfühlend)) Grad nicht
- 38 I: Grad nicht (9) Aber <Moderatorin> hat euch ja auch die Aufgabe gestellt so ein bisschen rauszukriegen ähm was die Regeln sind von diesem Schwarm von diesen Tierchen, könnt ihr da was drüber sagen ?
- 39 J: ((leise)) Ne
- 40 I: Ne? Aber ihr habt ja eben schon gesagt dass sie die Farbe ändert und dass die
- 41 K: Mhm
- 42 I: Ja und dass der Ton sich verändert und ähm wann passiert das denn?
- 43 J: Wenn sie wütend sind wird der Ton lauter und etwas tiefer wenn sie wieder ruhig sind wird der Ton leiser und heller, höher
- 44 I: Und wann sind sie ruhig?
- 45 J: Wenn sie weiß sind
- 46 I: und das machen die einfach so?
- 47 J: Ähm, man kann die streicheln, antippen oder man kann sich hinsetzen
- 48 I: Mhm
- 49 J: dann ähm, sehen die einen nicht, wenn man sich nicht bewegt
- 50 I: Wie die sehen einen nicht?

- 51 J: die sehen einen eben nicht, die sehen den Menschen nicht (3) ich kann das nicht erklären
- 52 I: Wo ist denn der, was kannst du nicht erklären? Also wie wie die Tierchen sehen können oder
- 53 J: Ja, hm
- 54 I: Da hat <Moderatorin> den Tipp gegeben mit diesem gelben Kasten, kannst du dich da noch dran erinnern?
- 55 J: Ja richtig
- 56 K: ((flüstert)) Scanner
- 57 J: Ein Scanner
- 58 I: Da ist ein Scanner, ok, also es sind keine Tierchen eigentlich die sehen sondern der Scanner? oder wie ist das
- 59 J: Der Scanner sieht uns und gibt das dann weiter an die, ja
- 60 J: Wie Papa immer sagt an die Viecher
- 61 I: An die Viecher
- 62 G: ((lachen))
- 63 J: Sagt Papa immer
- 64 G: ((flüstern))
- 65 I: Ok (2) Und wenn die jetzt ruhig sind zum Beispiel? Was passiert dann mit dem Scanner oder was passiert mit den Tierchen?
- 66 J: Ja ähm, die Tierchen werden weiß
- 67 L: Super gut erzählt da vorhin <Junge>
- 68 J: Ja ich weiß
- 69 I: Erinnert euch mal was ihr vorhin erzählt habt
- 70 J: jadas weiß ich noch
- 71 L: Ja dann mach das doch erzähl ihm doch
- 72 J: Auf jeden Fall wenn man sich hinlegt, und, wenn die Musik dazu ist , dann hört man nichts mehr
- 73 I: Ah wenn man sich hinlegt, mhm, und
- 74 J: Dann sieht der Laser, den Menschen nicht mehr
- 75 I: Und dann hört die Musik auf
- 76 J: Ja
- 77 I: Ahja okay (2) Und was wär das Gegenteil davon? Wie kriegt man das andere Extrem quasi?
- 78 J: Wie Extrem?
- 79 I: Also wenn du ähm, das war jetzt quasi, hast du dich versteckt vor dem Scanner, aber du kannst ja dich auch ganz wild bewegen
- 80 K: Dann werden die rot
- 81 I: Genau, okay, und wie habt ihr diesen Klang diese Töne empfunden?
- 82 K: Ähm, ganz Laut
- 83 K: Schrecklich
- 84 I: Schrecklich ja, war er unangenehm?
- 85 K: Ja
- 86 I: War das für euch auch so?
- 87 K: Hm?
- 88 I: War das unangenehm ja? Für dich auch? (2) Und du? Fandst du auch nicht gut?
- 89 J: Zu laut
- 90 I: Okay (4) Und hättet ihr die andere Gruppe, die hat das am Computer ausprobiert, Hättet ihr das auch lieber am Computer gemacht?
- 91 K: M-M
- 92 I: Oder lieber hier?
- 93 K: Lieber hier
- 94 J: Das war cool.
- 95 I: Echt ja? Und warum ist das so?
- 96 M: Weil man da rauf gehen kann und die dann die Farbe verändern und so
- 97 I: Aha
- 98 J: Das ist echt cool
- 99 I: War bei euch auch?

100 M: Ja  
101 J: **<Mädchen>**  
102 I: Und warum war das bei dir so <Mädchen>?  
103 M: Weiß ich auch nicht  
104 I: Ist einfach spannender oder? (2) Ich hab euch ja ganz am Anfang ganz viel lachen gehört also was fandet ihr witzig also an dem Schwarm?  
105 J: Ähm, also <Junge> und so vorhin, weil <Mädchen> immer auf die tretet und so und die dann so, und weil sie immer so macht wenn welche auf dem Arm sind und so  
106 I: okay  
107 J: und wenn die am Kopf sind macht sie immer so  
108 I: weil sie probiert die wegzuwischen oder wie?  
109 J: Ja  
110 I: Aha  
111 J: Und weil wir die versuchen wollen auf die Hand zu nehmen wenn die so umkreisen und uns angreifen und das ist witzig  
112 I: Und wieso ist das witzig?  
113 J: Weiß nicht ist einfach witzig  
114 I: Und ihr habt auch keine Angst davor gehabt die anzugreifen  
115 K: Ne  
116 J: M-m  
117 I: Und warum hattet ihr keine Angst? Also wenn das jetzt richtige Tierchen gewesen wären  
118 K: Dann würde ich, dann hätte, ne ich würde die nicht anfassen  
119 I: Dann nicht  
120 K: Ne, ich mag nur Marienkäfer wir haben 20000 stück bei uns ungefähr weil ich immer wenn ich spazieren geh sammle ich die  
121 L: Hab ich mir gedacht, dass das nicht der Kanarienvogel ist  
122 I: Okay (3) Hm, Ja und könnt ihr mir nochmal erzählen was ihr unter einem Schwarm versteht? Das hatte ich eben schon gefragt, vielleicht habt ihr ja jetzt noch ein paar Ideen gekriegt  
123 J: Ne keine Ideen mehr  
124 I: Ne  
125 J: Ich auch nicht  
126 J: Ich auch nicht  
127 I: Na gut, letzte Frage was fandet ihr denn am Schönsten?  
128 J: Dass wir da rauf konnten und die ja ausprobieren konnten, und so  
129 M: Mhm  
130 I: Bei dir auch?  
131 J: Lustig war das  
132 I: Sag du doch nochmal was  
133 J: Was denn?  
134 I: na wie du was du schön fandst oder fandst du irgendwas gar nicht schön?  
135 J: Das wir da rauf konnten  
136 I: Ja (3) aber das Beobachten das hat eigentlich auch Spaß gemacht oder also da hab ich ein bisschen so ein paar von euch waren da ja ganz schön dabei, und ähm also da habt ihr dann auch quasi so ein bisschen Befehle erteilt oder habt probiert den in den Mitte zu beeinflussen ne  
137 J: bei ihr beruhig die mal, und ich sollte mich hinlegen und dann konnte ich im Spiegel sehen was die Käfer da auf mir treiben  
138 I: Wie, ach du hast in den Spiegel geschaut oder wie?  
139 J: Ja auch und da war ein Käfer sogar auf meinem Gesicht  
140 I: Ach so und das konntest du dann selbst sehen?  
141 J: Ja, weil da oben ja der Spiegel ist und da hab ich dann das gesehen  
142 I: Ah okay  
143 J: DAS WAR EKLIG

- 144 I: Das war eklig ja?  
 145 J: Das **KITZELT**  
 146 I: Wieso? Wie kann das Kitzeln?  
 147 J: Weiß ich nicht, auf jeden Fall hat das gekitzelt  
 148 I: Hm, ja, na gut, dann danke schön dass ihr mitgemacht habt, und,  
 dann gehts jetzt sicher gleich weiter

## Beobachtungsprotokoll

### 1 Freies Agieren mit dem Schwarm bei der Installation:

- 2 Die Kinder sitzen um die Spielfläche. Sie sind darauf bedacht, nicht die Spielfläche zu berühren. "Das sind Ameisen", sagt ein Junge. Die Kinder zögern, keiner will zuerst die Aktionsfläche betreten. "Oh die greifen dich an <Junge>. Jetzt hab ich Angst", sagt ein Mädchen am Rand. "Jetzt sehen die anders aus", sagt ein anderes Mädchen. Die Kinder lachen. Der Junge in der Mitte bewegt sich sehr langsam und vorsichtig. "Das fühlt sich komisch an, oder?", fragt ein Mädchen den Jungen in der Mitte. "Die greifen mich an", sagt der Junge in der Mitte.
- 3 Die Kinder gehen zögerlich auf die Aktionsfläche. Die Kinder um die Spielfläche herum lachen laut. Der Junge in der Mitte läuft vor dem Schwarm weg. "Wenn ich weglaufe greifen die mich an, die wollen das ich stehen bleibe", sagt der Junge in der Mitte. "Die laufen unter deinem Schuh durch. Einer ist am Kopf, einer am Nacken", sind Kommentare vom Rand. Die Kinder am Rand geben dem Akteur in der Mitte Anweisungen.
- 4 Die Kinder nehmen den großen Spiegel an der Decke wahr. Sie schauen auch hinein, wenn sie sich auf der Aktionsfläche auf den Rücken legen.

5

### 6 Detaillierte Einzelbeobachtung bzw. einzelne Interaktion mit dem Schwarm:

- 7 Ein Mädchen betritt die Aktionsfläche und tritt mit ihren Füßen auf die Lichtpunkte. "Die armen Tiere" und "Gleich werden sie schwarz" wird im Kreis bemerkt.
- 8 Der Schwarm ist weiß und umkreist ein Mädchen. Am Rand wird gesagt: "Man muss ihn streicheln, dann werden sie weiß". "Jetzt mögen sie dich" ist eine Feststellung am Rand.
- 9 Der Schwarm ist weiß und umkreist ein Mädchen auf der Aktionsfläche. "<Mädchen> sie lieben dich" sind Kommentare vom Rand.
- 10 Der Schwarm ist weiß und umkreist ein Mädchen. Die Gruppe am Rand kommentiert mit Aussagen wie "<Mädchen> du wirst geehrt", "Das kommt weil <Mädchen> nicht darauf rumgetreten ist", "Die mögen dich <Mädchen>" und "Als wären es ihre Hunde".
- 11 Ein Mädchen befindet sich auf der Aktionsfläche. "<Mädchen> leg dich mal hin. Versuch mal wie sich das anfühlt. Das ist kribbelig irgendwie", sagt ein Kind vom Rand. Das Mädchen legt sich auf den Rücken und sagt: "Ey das kitzelt wirklich".
- 12 "Ih, die krabbelt auf mein Bein" bemerkt ein Mädchen auf der Aktionsfläche. Sie möchte sich nicht auf den Boden legen.
- 13 Ein Mädchen ist auf der Aktionsfläche. Aus dem Kreis kommt der Vorschlag, sie solle eine Arm nach oben nehmen. "Das ist für die ein Zeichen", wird im Kreis gemutmaßt.
- 14 "Oh es kitzelt", bemerkt ein Kind als Lichtpunkte auf seinen Körper projiziert werden. <Moderatorin> fragt: Findest du das schön?". Das Kind stimmt zu: "Ja".



15 Ein Mädchen befindet sich auf der Aktionsfläche. "Sie sind ein bisschen wütend, weil sie sich ein bisschen mehr bewegt hat", wird im Kreis festgestellt. Dann kommt eine Anweisung vom Rand: "Trete sie mal, dann werden sie rot". Das Kind beim Schwarm kommt der Aufforderung nach. "Jetzt mach sie mal wieder ruhig", lautet die nächste Anweisung. Das Kind in der Mitte setzt sich hin. Vom Rand wird kommentiert: "Bleib mal ruhig, gleich sind sie wieder weiß".

16

17 **Aussagen der Kinder während des freien Agierens:**

18 "Ich will, dass die mich nicht berühren dürfen"

19 "Bei <Junge> bleiben sie rot"

20 "Die sind alle auf deinem \textbf{Körper}"

21 "Immer schön lächeln"

22 "Die wollen dich angreifen"

23 "Die Ameisen wollen die Punkte angreifen"

24 "Die eine hängt fest, <Junge> du musst sie retten"

25 "Kann ich eine in die Hand nehmen"

26 "Leg dich über den ganzen Schwarm"

27 "Ich nehm wenn ich drin bin einen Käfer in die Hand und geb ihn einen Namen"

28 "<Mädchen> greifen sie nicht an, bei Mädchen bleiben sie blau"

29 "Die sind \textbf{rot} und \textbf{größer}"

30 "Die haben vorne Fühler, die roten sind Pinkelameisen und sehen aus wie Spinnen"

31 "Die sind wütend auf dich weil die immer so auf dich zurasen"

32 "Jetzt haben sie sich verändert"

33 "Das hat sich komisch angefühlt. Irgendwie so kribbelig"

34 "Leg dich einfach hin und tu so als ob die Sonne scheint"

35 "Piksen die Dinger echt"

36 "Leg dich hin dann werden die Dinger blau"

37 "Sie beruhigen sich und gehen in jede Ecke"

38 "Nimm doch noch einmal ein Käfer in die Hand und streichle ihn."

39 "Du musst sie mal anfassen, das fühlt sich richtig komisch an"

40 "Jetzt kitzeln sie dich"

41 "Die sind so flink"

42 "Da steckt einer in der Ecke"

43 "Ich streichle die und die sind grün geworden"

44 "Streichle sie noch mal oder kraul sie"

45 "Und jetzt lauf ich im Kreis rum"

46

47 **Agieren mit der Software am Laptop in Gruppenarbeit:**

48 Die Kinder arbeiten konzentriert und haben viele Einfälle. Sie erkennen, dass das Programm Einstellungen zum Schwarm erlaubt. "Bleibt ruhig", lautet die Anweisung eines Mädchens. Sie haben herausgefunden, dass die Tonhöhe eine Rolle spielt und stellen fest: Je ruhiger der Schwarm wird, desto höher der Ton.

49

50 **Selber einen Schwarm bilden bei der Installation:**

51 Die Kinder sind auf den Schwarm konzentriert und vergessen die Aufforderung Klänge zu machen. Die Geräusche, die sie machen, haben nichts mit dem Schwarm zu tun. Die Kinder reden, die Lichtpunkte sind viel interessanter. "Wir müssen alle gemeinsam die Geräusche machen", sagt ein Kind. Der Klang, den die Kinder machen variiert richtig in der Tonhöhe: Wenn die Farbe sich verändert, werden die Klänge der Kinder höher. Die Kinder produzieren ein gleiches Klangbild, erst ein paar Töne höher, dann wieder ein paar Töne tiefer.

## C Das technische System *Der Schwarm*

### C.1 Funktionsübersicht

Dieses Kapitel liefert einen Überblick zur Funktionalität, die die Software von *Der Schwarm* zur Verfügung stellt. Es ist als Ergänzung zur Beschreibung des Systems in Kapitel 5 zu sehen. Die Funktionalität der Software ist in Tabelle 5 aufgelistet. Die enthaltenen Funktionen sind jeweils benannt und die Wirkung dieser kurz beschrieben. Sie orientieren sich an den Elementen der Benutzungsoberfläche.

Die aufgeführten Funktionen beziehen sich auf einen Stand der Software von September 2011. Da die Software nahezu ständig weiterentwickelt wird, kann es zu Abweichungen kommen. Die Tabelle wird möglichst aktuell gehalten. Die derzeitige Umstrukturierung der gesamten Administrationsoberfläche – das Vorhaben und den aktuellen Stand haben wir in Kapitel 5.5 gesehen – erschwert dies. Die beschriebene Funktionalität ist dennoch gegeben, wenn sie auch vielleicht an anderer Stelle der Benutzungsoberfläche zugänglich ist.

Tabelle 5: Übersicht der Funktionalität in der Software zu *Der Schwarm*

| Funktionalität        | Beschreibung  |
|-----------------------|---|
| Positionserkennung    | Startet/Beendet die Positionserkennung des gewählten Eingabegeräts z. B. Maus, Datei oder Laserscanner. Die eingegebenen Offset-Werte werden berücksichtigt.  |
| Wesen                 | Startet/Beendet die Berechnung der Schwarmagenten.  |
| Info-Grafik           | Startet/Beendet die Darstellung des Schwarms im Simulationsfenster des Bildschirms.   |
| Beamer-Grafik         | Startet/Beendet die Darstellung des Schwarms in einem zusätzlichen Fenster. Die Schwarmagenten werden mit der ausgewählten Bilderserie dargestellt, der Hintergrund ist schwarz. Diese Darstellung wird i. d. R. zur ganzkörperlichen Interaktion auf den Boden projiziert. |
| Presets konfigurieren | Erlaubt die Modifikation, Speicherung und Wiederherstellung der voreingestellten Presets, also der Regelsätze für den Schwarm. Es können Anpassungen der Schwarm-Parameter wie Größe, Anzahl, Geschwindigkeit zu jeweils einem Preset vorgenommen werden.                   |
| Wii-Remote            | Startet/Beendet eine Bluetooth-Verbindung zu einer in der Nähe befindlichen Wii-Remote.   |

Fortsetzung auf nächster Seite

| Funktionalität            | Beschreibung   |
|---------------------------|--|
| Konsole                   | Zeigt in Abhängigkeit des ausgewählten Logging-Levels die Meldungen des Programms an.  |
| Port                      | Ermöglicht die Auswahl des Geräts zur Positionserkennung z. B. Maus, Laserscanner, Datei.  |
| Wii-Menü erlauben         | Erlaubt den Aufruf eines Menüs mit der Wii-Remote, das über die Beamer-Grafik eingeblendet wird.   |
| Bewegungsmuster-erkennung | Startet/Beendet die Bewegungsmustererkennung.  |
| Klassifizierung           | Startet den Modus Klassifizierung, die Erkennungsroutine.  |
| Training                  | Startet den Modus Training, das Hinzufügen neuer Muster.   |
| Name der neuen Klasse     | Ermöglicht die Eingabe eines Namens für ein neues Muster.  |
| Spielfeld                 | Eingabe der Spielfeldbreite in Pixel, die Höhe wird im Verhältnis 4 : 3 berechnet.   |
| Offset XY                 | Eingabe der Verschiebung des Geräts zur Positionserkennung im Verhältnis zur Darstellung der Simulation. Ermöglicht Kalibrierung der Ansicht mit der Erkennung. Die Änderung der Werte wird beispielsweise nötig, wenn der Laserscanner mittig der Aktionsfläche installiert ist. Die Koordinate (0,0) beschreibt die rechte, untere Ecke bei Ansicht des Simulationsfensters der Administrationsoberfläche. |
| sehr ruhig                | Aktiviert das Preset <i>sehr ruhig</i> .   |
| ruhig                     | Aktiviert das Preset <i>ruhig</i> .  |
| normal                    | Aktiviert das Preset <i>normal</i> .   |
| lebhaft                   | Aktiviert das Preset <i>lebhaft</i> .  |
| sehr lebhaft              | Aktiviert das Preset <i>sehr lebhaft</i> .   |
| Normalisieren             | Versetzt den Schwarm durch die Zuweisung <code>irritation = 0</code> in den Zustand <i>Beobachtung</i> .   |
| Benutzer-Modus            | Wechselt in die Ansicht für Benutzer, die weniger Rechte haben. Die Ansicht ist bei öffentlichen Ausstellungen des technischen Systems hilfreich.  |
| Grafik-Auswahl            | Ermöglicht die Auswahl eines Verzeichnisses, aus der die Bilder der Schwarmagenten für die Beamer-Grafik geladen werden. Die Bilder müssen das Dateiformat GIF haben.  |
| Dancing Sounds            | Startet/Beendet die Benutzungsoberfläche der Komponente <i>Swarming Sounds</i> .   |

Fortsetzung auf nächster Seite

| Funktionalität  | Beschreibung  |
|---|---|
| Mustererkennung Presets   | Erlaubt die Modifikation und Speicherung von Parametern der Bewegungsmustererkennung, wie die abzuwartende Zeit zur automatischen Aktivierung der Erkennung oder die Reduzierungs-/Zuwachsraten des Schwarm-Irritationswerts. |
| Merk:Mal  | Startet/Beendet die Benutzungsoberfläche der Komponente <i>Merk:Mal</i> .   |
| Boids Regeln  | Startet/Beendet die Benutzungsoberfläche der Komponente <i>Boids Regeln</i> .   |
| Beenden   | Beendet das laufende Programm.  |
| <i>Benutzer-Modus</i>   |   |
| Benutzungsoberfläche mit beschränkten Rechten, beispielsweise zum Einsatz in Ausstellungen.           |   |
| Über den Schwarm  | Öffnet/Schließt ein Fenster, das generelle Informationen zum technischen System <i>Der Schwarm</i> bereitstellt.  |
| Administration  | Wechselt nach der korrekten Eingabe eines Passworts in den Administrations-Modus, der auch direkt mit dem Start des Programms angezeigt wird.   |
| Normalisieren   | Versetzt den Schwarm in den Zustand <i>Beobachtung</i> .  |
| sehr ruhig, ruhig etc.  | Aktiviert das jeweils gleichnamige Preset.  |
| Anzahl, Größe etc.  | Ermöglicht die stufenlose Modifikation der jeweiligen Schwarm-eigenschaft.  |
| Zurücksetzen  | Startet die Darstellung des Schwarms neu.   |
| <i>Swarming Sounds</i>  |   |
| Auditives Display und Benutzungsoberfläche zur Zuordnung von Klangmerkmalen und Schwarmeigenschaften. |   |
| Play/Stop   | Startet/Beendet die Klangausgabe.   |
| Tonhöhe   | Zuordnung des Klangmerkmals <i>Tonhöhe</i> zur einer der auswählbaren Schwarmeigenschaften.   |
| Tempo   | Zuordnung des Klangmerkmals <i>Tempo</i> zur einer der auswählbaren Schwarmeigenschaften.   |
| Kurve   | Zuordnung des Klangmerkmals <i>Kurve</i> , also der Tonabfolge (z.B. aufsteigend, absteigend, gleich bleibend) zur einer der auswählbaren Schwarmeigenschaften.   |
| Instrument  | Auswahl des Synthesizers z.B. <i>Moving Strings</i> oder <i>Tuned Drums</i> .   |

Fortsetzung auf nächster Seite

| Funktionalität  | Beschreibung   |
|---|--|
| Anwenden  | Aktiviert die aktuelle Auswahl für die laufende Schwarmsimulation.   |
| <i>Merk:Mal</i>   |  |
| Adaptive Bewegungsmustererkennung zum Trainieren und Erkennen von zweidimensionalen Bewegungsmustern. Benutzungsoberfläche zur Verwaltung der Muster, Exploration von maschinellem Lernen und Zuordnung von Bewegungsmustern zu Schwarmeigenschaften. |  |
| Liste der Muster  | In der linken Spalte zeigt eine Liste die dem System bekannten Bewegungsmuster an.   |
| ^ und v   | Ermöglicht das Auf- und Abscrollen in der Liste.   |
| Muster löschen  | Löscht das in der Liste ausgewählte, farblich hervorgehobene Bewegungsmuster unwiderruflich.   |
| Muster trainieren   | Erlaubt das Hinzufügen neuer Bewegungsmuster durch Eingabe mit der Maus.   |
| Name des Musters  | Ermöglicht die Eingabe eines Namens für das Muster.  |
| Trainingsqualität   | Zeigt die Qualität des aktuellen Musters an, sie steigt mit jeder Wiederholung der Eingabe des Musters während des Trainings.  |
| Trainingsätze   | Zeigt die Anzahl der bisherigen Eingabewiederholungen des Musters an.  |
| Neues Muster hinzufügen   | Startet die Routine, die die Eingabe eines Musters ermöglicht. Ein Linksklick fügt einen Bewegungspunkt hinzu, ein Rechtsklick entfernt den jeweils letzten Bewegungspunkt.  |
| OK  | Bestätigt die Eingabe des Musters, das über <i>Neues Muster hinzufügen</i> , erstellt wurde. Damit wird das Training gestartet und die Eingabe des Musters muss mehrmals wiederholt werden, um es für das System wieder erkennbar zu machen. Die Eingabe einer Wiederholung wird mit einem <i>Linksklick</i> begonnen und beendet. |
| Abbrechen   | Bricht die aktuelle Eingabe eines neuen Musters ab. Die Anzeige des Musters in der Liste aller dem System bekannten Bewegungsmuster (links angezeigt) wird gelöscht.   |
| Beispiel bestätigen   | Speichert die eingegebene Wiederholung des Musters und verwendet sie zur Merkmalsberechnung des Musters.   |

Fortsetzung auf nächster Seite

| Funktionalität   | Beschreibung   |
|--|--|
| Muster konfigurieren   | Ermöglicht die Zuordnung von Bewegungsmustern zu Schwarmeigenschaften. Die Reaktion durch die entsprechende Schwarmeigenschaft wird ausgelöst wenn ein eintrainiertes Bewegungsmuster im Erkennungsmodus vom System klassifiziert werden konnte. |
| Muster erkennen  | Ermöglicht die Eingabe von Bewegungsmustern im Erkennungsmodus mit der Maus oder auch auf der Aktionsfläche mit dem Körper bei laufender Schwarmsimulation.  |
| <i>Boids Regeln</i>  |  |
| Interface zur Exploration der drei Regeln des Algorithmus zur Simulation von Schwarmverhalten. |  |
| Simulation starten   | Startet das Interface zum Erforschen der drei Regeln des Schwarmalgorithmus.   |
| Boids Erklärung  | Startet den Dialog, in dem die drei Regeln des Schwarmalgorithmus mit Referenz zu natürlichen Schwärmen und die Handhabung von <i>Boids Regeln</i> erklärt werden.   |
| Regel 1  | Ermöglicht die Exploration der Regel <i>Separation</i> , hier <i>Abstand halten</i> genannt.   |
| Regel 2  | Ermöglicht die Exploration der Regel <i>Ausrichtung</i> , hier <i>Richtung anpassen</i> genannt.   |
| Regel 3  | Ermöglicht die Exploration der Regel <i>Kohäsion</i> , hier <i>In die Mitte</i> genannt.   |
| Schwarm  | Ermöglicht die Exploration des Zusammenspiels aller drei Regeln, hier <i>Schwarm bilden</i> genannt.   |
| Boids starten/stoppen  | Startet/beendet die Darstellung des Schwarms im Simulationsfenster des <i>Boids Regeln</i> -Bildschirms.   |
| Nachbarschaft  | Ermöglicht die Modifikation der Parameter <i>Radius</i> und <i>Winkel</i> von der Nachbarschaft eines Schwarmagenten.  |
| Wichtigkeit  | Ermöglicht die Modifikation des Einflusses der aktuellen Regel in Relation zu den anderen beiden Regeln. Das Verhältnis der Wichtigkeit der drei Regeln ist in einem Kreisdiagramm angezeigt.  |

## C.2 Code-Richtlinien

Die aufgeführten Code-Richtlinien sind von mir erstellt und gewährleisten stabile Qualität des Programmcodes. So wird die Einarbeitungszeit für neue Personen, die mit dem Code arbeiten, maßgeblich verkürzt, die Lesbarkeit aufrechterhalten und die Wartbarkeit gesichert.

**Plattform** Die Software ist in Java<sup>7</sup> (JDK6<sup>8</sup>) auf einem Windows System<sup>9</sup> (XP bzw. Vista) implementiert. Als Entwicklungsumgebung wird Eclipse 3.4.1<sup>10</sup> (Eclipse Classic SDK) verwendet.

**Verzeichnisstruktur** Im Grundverzeichnis schwarm befinden sich alle nötigen Dateien zum Ausführen und Bearbeiten der Software.

Tabelle 6: Inhalt vom Schwarm Repository

| Pfad                             | Beschreibung  |
|----------------------------------|---|
| <code>./.checkstyle</code>       | von Eclipse benötigte Programmdatei   |
| <code>./.classpath</code>        | von Eclipse benötigte Programmdatei   |
| <code>./.project</code>          | von Eclipse benötigte Programmdatei   |
| <code>..*</code>                 | vom Programm benötigte Einstellungen (Grafikverzeichnis und Presets)  |
| <code>./lib</code>               | benötigte Bibliotheken  |
| <code>./src</code>               | Sourcecode  |
| <code>./resources</code>         | Grafikdateien für den Schwarm   |
| <code>./resources/eclipse</code> | XML-Templates zum automatischen Formatieren und Kompilieren des Sourcecodes gemäß den Vorgaben (CheckStyle, Formatter). |

**Versionskontrolle** Der Sourcecode wird mit einem Versionskontrollsystem verwaltet und ist über ein SVN-Repository<sup>11</sup> schwarm zugänglich. Als SVN-Nutzungssoftware wird TortoiseSVN<sup>12</sup> und/oder das Eclipse-Plug-in Subclipse<sup>13</sup> verwendet. Der bearbeitete Sourcecode muss regelmäßig eingchecked werden und muss dann kompilierbar sein. Die Kommentarfunktion des SVN-Clients ist zur Beschreibung der vorgenommenen Änderungen zu benutzen.

<sup>7</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/>

<sup>8</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/javase/downloads/widget/jdk6.jsp>

<sup>9</sup>Microsoft, <http://www.microsoft.com/windows/>

<sup>10</sup>The Eclipse Foundation, <http://www.eclipse.org>

<sup>11</sup>The Apache Software Foundation, <http://subversion.apache.org/>

<sup>12</sup>Tigris.org, <http://tortoisetsvn.net/>

<sup>13</sup>Tigris.org, <http://subclipse.tigris.org/>

**Auschecken und Editieren** Das Projekt `branches/1.3` kann direkt als Javaprojekt in die Entwicklungsumgebung ausgecheckt werden. Diese Version enthält, neben den grundlegenden Funktionalitäten vom Schwarmprojekt, die Erweiterungen *Swarming Sounds* als Klangausgabe, das Interface *Boids Regeln* und die Bewegungsmustererkennung *Merk:Mal*. Das gesamte Schwarmprojekt befindet sich zur Drucklegung im Refactoring wodurch viele strukturelle Änderungen vorgenommen werden. Dadurch kann es zu Unregelmäßigkeiten kommen und das temporäre Ausschalten einiger Plug-ins (wie Checkstyle) erfordern. Die Richtlinien zur Gewährleistung der Codequalität sind trotzdem einzuhalten.

**Ausführen** In Eclipse erreicht man die Einstellungsmaske zum Ausführen der Anwendung über `Run/Run Configurations...` Dort kann eine neue Konfiguration angelegt werden, die dann unter `Java Application/<NameDerKonfiguration>` zu verwalten ist. Die Software mit `Run` zu starten.

Die benötigten Daten:

|                        |  |
|------------------------|--|
| Main/Project           | <code>schwarm</code>   |
| Main/Main class        | <code>edu.uni.bremen.dimeb.schwarm.SchwarmApp</code>               |
| Arguments/VM arguments | <code>-Djava.library.path=.\lib\jogl-1.1.0-windows-i586\lib</code> |

**Sourcecode** Zur Gewährleistung einer gleich bleibenden Codequalität hat die Formatierung des Sourcecodes über den in Eclipse enthaltenen Formatter zu erfolgen. Die Vorlage befindet sich im XML-Format im SVN-Repository (siehe Kapitel Verzeichnisstruktur). Der Formatter muss unter `Window/Preferences/Java/CodeStyle/Formatter/Active profile` ausgewählt werden. Die automatisierte Formatierung kann in der Entwicklungsumgebung über `Source/Format` angestoßen werden.

**Programmieren** Die Code Conventions von Sun Java<sup>14</sup> sind einzuhalten. Die Qualität des Codes wird durch die Verwendung von Checkstyle<sup>15</sup> gewährleistet. Es gibt für Eclipse ein Checkstyle Plug-in<sup>16</sup>. Als Checkstyle-Vorlage dient das XML-Template, das mit dem Projekt ausgecheckt wurde. Die Einstellungen sind über `Window/Preferences/Checkstyle` einsehbar, wo auch das Template ausgewählt werden muss.

Neue Module, die sich inhaltlich zusammenfassen lassen wie *Swarming Sounds* oder *Boids Regeln*, sind in einem separaten Java-Package abzulegen. Änderungen am bestehenden

<sup>14</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/docs/codeconv/>

<sup>15</sup>Oliver Burn, <http://checkstyle.sourceforge.net/>

<sup>16</sup>Oliver Burn, <http://eclipse-cs.sourceforge.net/>



Sourcecode sind grundsätzlich zu vermeiden und Zugriffe mit den Prinzipien der Objektorientierung zu realisieren. Falls nicht vermeidbar, sind jegliche Änderungen mit einem Blockkommentar kenntlich zu machen, aus dem das Ziel der Änderung und der Name des Programmierers hervorgeht.

**Kommentare** Als Standard für Kommentare wird Javadoc<sup>17</sup> verwendet. Es gewährleistet mit den anderen Tools wie Checkstyle und Formatter eine Wartbarkeit des Sourcecodes durch Einheitlichkeit.

**Benutzung der Software** Nach dem Start der Software öffnet sich die Administrationsoberfläche. Der Port beschreibt das Eingabegerät, i. d. R. Maus oder der COM-Port, an dem der Laserscanner angeschlossen ist.

Die Daten Spielfeld, Offset, Beamer, Maus-Person sind nur für den Betrieb mit Laserscanner und Projektor relevant. Die sog. Presets (ruhig, aktiv, . . .) sind voreingestellte Parametersets, die Verhalten, Größe/Anzahl der Schwarmwesen etc. bestimmen.

Normalisieren versetzt den Schwarm in einen ruhigen Status. Benutzer-Modus wechselt die Ansicht (Passwort: dimeb)

Der Schwarm wird wie folgt gestartet.

1. Klick auf Positionserkennung
2. Klick auf Wesen
3. Klick auf Info-Grafik

Beamer-Grafik startet und beendet die Projektionsansicht. Vor der Benutzung ist einmalig die Eingabe des Verzeichnisses mit den entsprechenden Grafiken über Grafik-Auswahl (./resources) erforderlich. Presets konfigurieren lässt Änderungen an den einzelnen Schwarm-Parametern und Presets zu.

Es wurde eine Steuerung mit der Wii-Remote implementiert, die nur mit einer Wii-Remote und passender Bluetooth-Schnittstelle verfügbar ist. Sie lässt die Steuerung des Schwarms sowie eine einfache Parametereditierung (nur auf der Beamer-Grafik möglich) über die Wii-Remote zu.

**Kontakt** Bei organisatorischen und technischen Fragen ist Anja Zeising Ansprechpartnerin.

<sup>17</sup>Oracle, Sun Microsystems, <http://java.sun.com/j2se/javadoc/>

### C.3 Material zur Tanzperformance mit *Der Schwarm*

Dieser Abschnitt enthält zusätzliche Informationen zur der Ausstellung von *Der Schwarm* bei *shamba - Geheimnisvolle Gartenräume* an der Universität Bremen im April 2008. Im Folgenden ist das Gedicht abgedruckt, das vor beiden Tanzaufführungen vorgetragen wurde. Das Gedicht ist ebenfalls im Programmheft der Ausstellung enthalten. Anschließend zeigen die Abbildungen 3(a)-(f) die Bildserie *Libelle*, die während der Ausstellung zur Darstellung der Schwarmagenten verwendet wurde.

#### shambaSchwarm

ins chaos stürzt ein kick  
 erregen einer reaktion  
 im toten winkel des geschlossenen systems  
 verstecken  
 körper: hülle? projektion!  
 körperloses streifen schmecken  
 farben wechsel, bläue – fort!  
 schritt im kopf  
 – los! berechenbare schönheit  
 tanzt im kopf, erkennt  
 mich und meine rhythmus box...

immer eine hand im maul des zu-  
 falls ETWAS passiert  
 ALGO rhythmisches in diesen  
 gärten der sinnes-synästhesie  
 sprießen zähne, flügel, klauen...  
 ins chaos stürzt ein kick.  
 zieht der schöpfer sich zurück  
 von diesem fließen, den spielwiesen  
 durch unmöglichkeit determiniert?  
 oder lehnt er oder sie  
 am geländer eigener autonomie  
 misstrauend?

Anja Kümmel

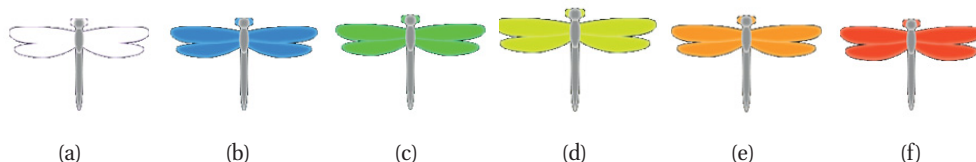


Abbildung 3: Bilderserie *Libelle* nach Status: (a) Müßiggang/Vertrauen, (b) Neugier, (c) Beobachtung, (d) Flucht, (e) Verwirrung, (f) Aggression.