

Thomas Winkler, Florian Scharf, Claudia Hahn, Christian Wolters, Michael Herczeg

Tangicons: Ein be-greifbares Lernspiel mit kognitiven, motorischen und sozialen Aktivitäten

Tangicons: A Tangible Educational Game with Cognitive, Motor and Social Activities

Tangible programming_Tangibles_be-greifbare Interaktion_innovative Lernkonzepte_Lernspiele

Zusammenfassung. Dieser Beitrag diskutiert das Konzept der Tangicons, einem nicht-kompetitiven Lernspiel mit be-greifbaren Programmierbausteinen. Tangicons wurden in einem gemeinsamen Designprozess mit Kindern entwickelt. Ziel ist es, Kinder im Vor- und Grundschulalter in einer gemeinsamen Lernsituation mit logisch-abstrakten Problemstellungen zu konfrontieren, während sie fein- und grobmotorisch Handeln. Das Konzept, welches über drei Systemgenerationen in den letzten Jahren entwickelt worden ist, wird im Beitrag in der Forschung verortet, auf zeitgemäße pädagogische Ansätze bezogen und am Beispiel eines Spiels der dritten Systemgeneration erläutert. In Evaluationen gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse münden in einem Fazit. Abschließend werden Fragen für weitere Untersuchungen benannt.

Summary. This contribution discusses the concept of Tangicons, a non-competitive learning game with tangible programming cubes. Tangicons have been developed during the last years together with children within a co-design process. The aim of the game is to confront children of pre and primary schools with logical-abstract problems in the context of fine- and gross-motor activities. On the basis of the third generation of Tangicons, the concept will be described in relation to the research field and to contemporary pedagogic approaches in detail. Findings from the evaluation lead to conclusions and discussions about the further investigation.

1. Einleitung

Das Lernspiel Tangicons befindet sich in der dritten Systemgeneration und wurde in Zusammenarbeit mit Kindern der Zielgruppe entwickelt (Druin, 1999) und evaluiert (Scharf et al., 2008; Winkler et al., 2011; Scharf et al., 2012). Es handelt sich dabei um ein nicht-kompetitives Lernspiel für Kinder im Vorschul- bzw. Grundschulalter. Tangicons verwendet physische Programmierbausteine, die dem spielerischen Erlernen wesentlicher Konzepte des Programmierens dienen. Das Lernspiel Tangicons fällt in die Kategorie des Mixed-Reality-Learning (Herczeg, 2009; Herczeg, 2012).

Bei der Entwicklung der Tangicons fokussiert sich unsere Forschung, bezogen auf alle drei Systemgenerationen, insgesamt auf vier zentrale Fragen:

- Wird durch das physische Handhaben der Programmierbausteine, insbesondere im Kontext grobmotorischen Handelns, das Erlernen von einfachen Programmierschritten befördert?
- Welche Rolle spielt das gemeinsame Lernen für das Erlernen von Problemlösungsstrategien?
- Ab welchem Alter verfügen Kinder über das notwendige abstrakte Denkvermögen, um einfache Algorithmen zu entwickeln?
- Wie muss dieses Lernspiel gestaltet sein, damit Kinder in der Lage sind, das den abstrakten Vorgang der Programmierung im Kontext des Lernspiels erfolgreich zu bewältigen?

Das Lernspiel entstand vor dem Hintergrund zeitgemäßer pädagogischer Ansätze, die davon ausgehen, dass *kollaboratives Lernen* und *physische Aktivität* kognitive Leistung befördert (siehe Abschnitt 3). Dies unterscheidet es von ähnlichen Entwicklungen bei Wyeth (2001), Zuckerman (2005) oder Horn (2007), die nicht explizit diese Momente in den Vordergrund rücken. Das Lernspiel beinhaltet bis heute diese zwei wesentlichen Elemente. Aus diesem Grunde widmeten wir unsere Aufmerksamkeit während der iterativen Gestaltung des Lernspiels über die Systemgenerationen hinweg darauf, eine gegenseitige Unterstützung der Kinder untereinander, bei denen alle gleichermaßen aktiv beteiligt sind (Abbildung 1 links), als auch die grobmotorische Tätigkeit des Laufens (siehe Abbildung 1 mittig) neben der Handhabung der tangi-



Abbildung 1: Erste Skizze im Entwurfsprozess der Tangicons 2006. Links: Gemeinsames Problemlösen und Manipulation mittels Programmierbausteinen. Mitte: Laufen. Rechts: Eine entfernte Station als Anstoß für grobmotorische Bewegungen im Raum.

blen Objekte kognitive Lernprozesse, hier das Programmieren, befördern.

Im hier primär vorgestellten Lernspiel der Tangicons der neuesten, dritten Systemgeneration (siehe Abschnitt 5) ist es die Aufgabe der Lernenden, eine virtuelle Spielfigur auf einem Bildschirm mit Hilfe von Programmierbausteinen durch ein vorgegebenes Labyrinth zu steuern. Die Programmierbausteine, wir verwenden hier die Sifteo-Cubes (vgl. Merrill et al., 2007), sind bewegungsempfindliche $4 \times 4 \times 2$ cm große Objekte mit Vollfarbbildschirmen, die sich aneinandergelegt gegenseitig erkennen. Die Benutzer interagieren mit ihnen, indem sie diese anklicken, kippen, drehen, schütteln oder nebeneinander legen. Im Lernspiel kombinieren vier Kinder gemeinsam miteinander vier Programmierbausteine, auf denen spezifische Symbole dargestellt sind, zu einer „Programmsequenz“ aus vier Anweisungen (Abbildung 2).

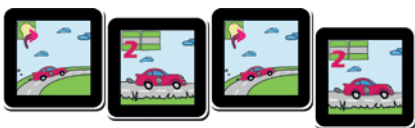


Abbildung 2: Beispiel einer mit vier Programmierbausteinen erstellten Programmsequenz.

Als kollaboratives Lernspiel für Kinder ab sechs Jahren sind die Tangicons 3.0 auf Teamwork ausgerichtet. Wenn einzelne Kinder Fehler machen, können diese von anderen erkannt und korrigiert werden, um das Ziel effizienter und mit weniger Versuchen zu erreichen. Zudem lernen die Spieler in Diskussionen voneinander.

Im Spiel werden die Kinder mit verschiedenen Problemstellungen konfrontiert: Sie müssen die Beziehung zwischen real-physischen Objekten (den Programmierbausteinen) und einem Geschehen auf einem Bildschirm, beispielsweise an einem Laptop, erkennen, damit sie die

Spielfigur (hier im Abbildung 3 beispielsweise ein rotes Auto) mit den Programmierbausteinen über das virtuelle Spielfeld steuern können. Um die Spielfigur gemeinsam richtig zu leiten, müssen die Kinder vor jedem Spielzug mentale Modelle seines Verhaltens bilden, was ein beträchtliches Maß an Konzentration und Vorstellungsvermögen erfordert. Eine besondere Schwierigkeit entsteht, wenn die Spielfigur im Labyrinth an eine Kurve gelangt und seine Bewegungsrichtung ändern muss. Die Perspektiven von Spielern und Spielfigur können in dieser Situation voneinander abweichen, so dass die Kinder die Perspektive der Spielfigur übernehmen müssen (mentale Perspektivenrotation), um die richtige Aktion zu bestimmen.

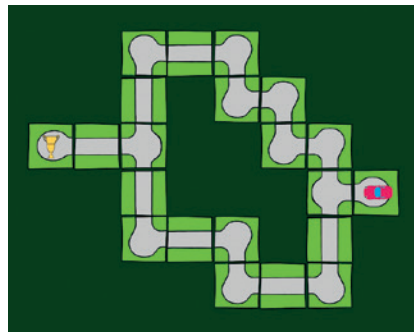


Abbildung 3: Screenshot mit dem Labyrinth.

Im folgenden Text wird zunächst der Forschungsansatz, der der Entwicklung der Tangicons im Bereich tangibler (begreifbarer) Lernarrangements vorausgeht, verortet. Anschließend wird der pädagogische Hintergrund erläutert, der für die Entwicklung der Tangicons ausschlaggebend ist, bevor die Spielvarianten der Tangicons der ersten, zweiten und detailreicher der dritten Generation vorgestellt werden. Außerdem werden die wichtigsten Ergebnisse aus den Evaluationen der ersten und zweiten Systemgeneration dargestellt und die Ergebnisse

aus den jüngsten Evaluationen bezüglich der dritten Systemgeneration geschildert. Abschließend wird ein erstes Fazit aus der bisherigen Arbeit gezogen und auf offene Fragestellungen verwiesen.

2. Verortung zentraler Forschungsfragen

Die Entwicklung des tangiblen Lernspiels Tangicons, insbesondere der dritten Generation, zielt darauf ab zu erfahren, wie die spezifischen Rahmenbedingungen für eine didaktische Intervention aussehen sollen, die Kinder in der Vorschule und der beginnenden Grundschule beim Erwerb von Kompetenzen zum logisch-abstrakten Denken in Form einfacher Programmierung von Verhalten unterstützen können.

2.1 Wo fängt Programmieren an?

Allgemein beschreibt ein *prozedurales Computerprogramm* ein formal definiertes Verhalten, das von einem Computer ausgeführt werden kann. Das Definieren und Gestalten eines solchen Programms wird als *Programmieren* bezeichnet. Die kleinsten Einheiten eines Programms sind *Anweisungen (Statements)*. Diese lösen eine Aktion im Computersystem aus und rufen dadurch einen beabsichtigten Effekt hervor. Dieser Effekt lässt sich durch den Vergleich des Systemzustands vor der Aktion mit dem veränderten Folgezustand beschreiben (vgl. Dijkstra, 1971). Ein einfaches Computerprogramm besteht somit aus einer sequentiellen Abfolge von Anweisungen, wobei durch jede Anweisung der Systemzustand sukzessive verändert wird.

2.2 Warum Programmieren mit begreifbaren physischen Objekten?

Laut Bruner (1960) kann ein kognitiver Prozess durch das Nebeneinander unterschiedlicher Repräsentationsebenen unterstützt werden. Es werden drei Ebenen unterschieden: *enaktiv*, *ikonisch* und *symbolisch*. Mit Hilfe von physischen

Objekten können Handlungen ausgeführt werden (enaktiv), die über bildliche Repräsentationen (ikonisch) zu einem Verständnis abstrakter Sachverhalte (symbolisch) führen. Die Verschränkung von physischer Handlung, bildlicher Darstellung und symbolischer Repräsentation unterstützt den Erwerb logisch-abstrakter Denkfähigkeit. Bei den Tangicons handelt es sich um physische Objekte mit ikonischen und symbolischen Repräsentationen, an denen Handlungen ausgeführt werden. Sie fungieren als Tangible User Interfaces (TUI), da sie die Manipulation des digitalen Systems durch physische Repräsentation ermöglichen. Die Verwendung von TUI im Kontext des Erlernens logisch-abstrakter Problemlösungsfähigkeiten entspricht dem handlungsorientierten Lernen, bei dem sich im Sinne konstruktivistischer Didaktik die eigenaktiv Lernenden abstrakte Sachverhalte, etwa durch praktisch-konstruktives, zielorientiertes, ästhetisches, kommunikatives und spielerisches Handeln, nachhaltiger erschließen (Kaiser, 2012).

Auf dieser Ebene setzt das Konzept des Lernspiels Tangicons an: Die spielerisch lernenden Kinder werden gemeinsam mit dem Ausgangszustand eines Systems konfrontiert, den sie in einen Endzustand überführen sollen, indem eine virtuelle Spielfigur von einem Start zu einem Zielpunkt mit Hilfe physischer Objekte, die als TUI fungieren, bewegt werden soll. Zur gemeinsamen Lösung dieser Aufgabe stehen eine bestimmte Menge an „Bewegungsanweisungen“ für die Spielfigur zur Verfügung, aus denen kleine Sequenzen durch eine Aneinanderreihung von physischen Objekten zusammengesetzt werden, die in einem Folgeschritt vom Spielsystem abgearbeitet werden. Solange die Aufgabe noch nicht gelöst ist, müssen die Spieler nach jedem Sequenzdurchlauf den neuen Zustand des Spielfeldes gemeinsam analysieren und wieder eine geeignete Programmsequenz legen.

2.3 Verortung der Tangicons in einer Systematik tangibler Lernumgebungen

Die Tangicons können in einem Bezugsrahmen tangibler Lernarrangements ver-

ortet werden, wie ihn Price et al. (2008) aufstellte. Dieser Rahmen verdeutlicht zentrale Eigenschaften der Lernumgebung Tangicons und ist hilfreich, um generell die Effekte tangibler Technologien auf Interaktion und Kognition zu untersuchen. In tangiblen Lernumgebungen können auf unterschiedliche Art und Weise externe Repräsentationen ermöglicht werden, die möglicherweise Lernprozesse unterstützen.

Das Framework von Price et al. beinhaltet vier Parameter: die *Distanz von physischen zu digitalen Komponenten* des Lernsystems (*location*), den *Informationsfluss während der Interaktion* bezüglich Handeln, Intention und Feedback (*dynamics*), die verwendeten *Metaphern* bei der Repräsentation von Objekten und Handlungen (*correspondence*) sowie die *Rolle der unterschiedlichen Sinne*, die bei der Repräsentation für die Interaktion und den Lernprozess als solchen eine besondere Bedeutung haben (*modality*). Bezüglich „location“ findet bei den Tangicons bewusst eine räumliche Trennung von Eingabeschnittstelle (Programmierbausteinen) und einer Bildschirmausgabe, beispielsweise auf einem Laptop, statt. Dies dient einerseits, um eine Distanz zu schaffen, die eine Reflexion des eigenen Handelns befördert und andererseits, um eine Spielsituation zu erzeugen, in der die Kinder aufgefordert werden, Pausen in der von Kommunikation und logisch-abstraktem Denken dominierten Lernsituation zu machen, indem sie sich grobmotorisch bewegen. Hinsichtlich „dynamics“ ist im Lernspiel das Feedback auf dem Bildschirm von der Manipulation der physischen Programmierbausteine bewusst zeitlich versetzt, um Zeit für Kommunikation und Reflexion zu schaffen. Um die gemeinsame Reflexion weiter zu forcieren, ist auch das Verhalten der Spielfigur auf dem Bildschirm abhängig davon, dass die individuell manipulierbaren physischen Objekte (die jeweiligen Programmierbausteine), gemeinsam zueinander gelegt werden müssen. Die Wahl des singulären Verhaltens eines Spielsteins wie auch unterschiedliche Anordnungen der Spielsteine zueinander können so unterschiedliches Verhalten auslösen. Bezogen auf „correspondence“ werden Aktionen in der Weise strukturiert, dass

diese der zu erlernenden Domäne entsprechen – hier typische Basisbefehle einer Programmiersprache. Die bildlichen und ikonischen Visualisierungen auf den Programmierbausteinen verwenden dabei bewusst verschiedene Grade der symbolischen Abstraktion. Bezüglich „modality“ berücksichtigt die Gestaltung des Lernspiels über visuelle und auditive Elemente hinaus das sensorische und motorische Verhalten. Neben dem gemeinsamen taktilen Handhaben der Programmierbausteine spielt insbesondere die grobmotorische Bewegung des ganzen Körpers im Raum beim Laufen mit dem Programmierbaustein (einem Programmierbaustein) eine zentrale Rolle, auf die wir weiter unten im Text ausführlicher eingehen.

Über die Vorschläge zu einem Bezugssystem tangibler Lernumgebungen von Price et al. hinausgehend, werden mit den Tangicons insbesondere die Aspekte kollaborativen Lernens und grobmotorischen Handelns in besonderer Weise adressiert. Diese spielen in der jüngeren pädagogischen Forschung eine besondere Rolle, wie im folgenden Abschnitt dargestellt wird.

3. Pädagogische Grundlagen

Die Entwicklung der Tangicons beruht auf einer systemisch-konstruktivistisch geprägten Pädagogik, die sich von output-orientierten Vermittlungsmodellen abwendet. Die Aufgabe von Pädagoginnen und Pädagogen besteht darin, einen Lernraum zu schaffen, der die Selbstlernkompetenz der Lernenden stärkt. Lernen wird nicht länger als individuelle Informationsaneignung und Verhaltensänderung angesehen, vielmehr wird es im Kontext komplexer Bezüge zwischen biologischen Gegebenheiten, soziokultureller Eingebundenheit sowie emotionaler und motivationaler Vorgänge als Wissenskonstruktion betrachtet (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1997). Wichtig sind hierbei kooperative Bezüge: Teilung, Weiterentwicklung und Aktualisierung von Wissen setzen eine Situierung von Lernen im Sinne einer Einbindung in Handlungs- und Anwendungskontexte voraus. Indem Ler-

nende eine aktive und interaktive Rolle einnehmen, ihre eigenen Erfahrungen, Fragestellungen und Einsichten in die gemeinsame Konstruktion von Problemlösungen einbringen, kann nachhaltiges Lernen stattfinden.

Die Tangicons entstanden in der Absicht, eine digital angereicherte, interaktive Lernumgebung für Kinder in der Vorschule und Grundschule zu entwickeln, mit dessen Hilfe Pädagogen adäquate Rahmenbedingungen für Lernarrangements gestalten können, die den Kindern Grundlagen des Programmierens vermitteln. Sowohl aus Gründen der Lernmotivation als auch um bestmögliche körperliche Voraussetzungen für ein konzentriertes Arbeiten an kognitiven Problemen zu schaffen, wurde in Auseinandersetzung mit gegenwärtigen systemisch-konstruktivistischen pädagogischen Theorien ein Lernarrangement entworfen, bei dem eine haptische Schnittstelle zum digitalen System (die Programmierbausteine) physische Aktivitäten im fein- und grobmotorischen Bereich sowie kollaboratives Lernen forcieren.

3.1 Systemisch-konstruktivistische Didaktik

Jeder Mensch ist ein in sich geschlossenes einmaliges System mit einer eigenen Bewusstseinsstruktur. Die Konstruktion von Wissen geschieht in hohem Maße durch Selbstorganisation des Individuums als soziales Wesen. Heute wird Lernen als ein Prozess aktiver Aneignung verstanden und nicht als Aufnahmeprozess in einer beherrschenden Wissensvermittlung oder als Akkumulation von Information über einen „Nürnberger Trichter“. Dabei spielen Kommunikations- und Interaktionsprozesse im Kontext physischer Tätigkeit im real-physischen Raum eine besondere Rolle. Diese zeitgemäßen systemisch-konstruktivistisch pädagogischen Ansätze finden sich etwa in der *Subjektiven Didaktik* von Kösel (1993–2007) oder die *Ermöglichungsdidaktik* von Arnold (2007). Die Schülerinteraktion in der Lerngruppe spielt bei der kollektiven Konstruktion von Wissen eine wesentliche Rolle.

3.2 Kollaboratives Lernen

Anders als kooperatives Lernen, welches mehr auf die individuelle Leistung, die zu einer Lösung eines Problems in der Lerngruppe führt, ausgerichtet ist, drückt kollaboratives Lernen eine stärkere Gemeinschaftsarbeit aus. Kollaboratives Lernen wird hier im Sinne eines minimal von außen strukturierten Lernens verstanden, bei denen die Gruppenmitglieder ihre Ziele und Vorgehensweisen selbst bestimmen (siehe dazu auch Damon & Phelps 1989; Reinmann-Rothmeier & Mandl 1999). Dabei spielt eine intensive Kommunikation zwischen den Lernenden die entscheidende Rolle. Die wesentlichen Vorteile kollaborativen Lernens bestehen darin, dass Lernende von den Erläuterungen anderer Lernender profitieren, indem sie beispielsweise neue und andere Perspektiven kennenlernen oder sich gegenseitig motivieren, aber auch indem die Lernenden, wenn sie etwas erklären, Rückmeldungen zur Gültigkeit ihres Wissens erhalten und so ihre Überlegungen neu bewerten und ordnen können.

Intendiert ist dabei auch, dass bei allen Lernenden der Gruppe die Konstruktion von Wissen nicht zu bloßem passivem oder „trägem“ Wissen führt, d. h. bei jedem einzelnen der gemeinsame Erfolg in der Lernsituation auf einen gemeinsamen Erfolg in einer Anwendungssituation zurückgeführt werden kann. Deshalb sind die Tangicons als Gruppenaktivität konzipiert, um die beschriebenen gewünschten Effekte zu unterstützen.

3.3 Physische Aktivität und kognitive Leistung

Die moderne Pädagogik geht davon aus, dass sich Bewegung positiv auf die Wahrnehmung, die Leistung, das Selbstwertgefühl und auf das Sozialverhalten von Kindern auswirkt.

Lange wurde in der Vor- und Grundschule darüber hinweg gesehen, dass körperliche Bewegung und Konzentration unmittelbar miteinander verschränkt sind. Kinder haben einen *Bewegungsdrang*. Wird das Bedürfnis nach Bewegung von Kindern unterdrückt, so führt dies zu Unaufmerksamkeit, Unlust, mo-

torischer Unruhe und schneller Ermüdung (siehe z. B. Zahner et al. 2004).

Weitere Aussagen der Pädagogik zum Einfluss von Bewegung auf das Lernen sind in großem Maße Ergebnissen der neueren Hirnforschung geschuldet. Hier kann zwischen der *lernunterstützenden* und der *lernbegleitenden Funktion von Bewegung* unterscheiden werden.

Bei der *lernbegleitenden Funktion* geht es grundsätzlich um die Frage wie stehen und gelegentliche Bewegung durch den Raum, statt nur ruhig zu sitzen, einen Zusammenhang von Lernen und kognitiver, emotionaler oder sozialer Entwicklung befördern können. Untersuchungen zeigen, dass Kinder, die sich im Unterricht mehr körperlich bewegen dürfen, eine deutlich bessere Konzentrationsfähigkeit aufweisen, als Kinder ohne Bewegungsaktivierung. Zudem zeigen bewegungsaktivierte Kinder eine bessere Gesamtkörperkoordination (vgl. z. B. Wamser & Leyk, 2003, S. 110; Müller & Petzold, 2003, S. 104).

Bei der *lernerschließenden Funktion* der Bewegung wird davon ausgegangen, dass sich durch eine Bewegungshandlung unmittelbar ein Lerngegenstand erschließt. Das jeweilige „Erfassen“ und das „Platzieren“ eines Symbols in einer Aufreihung von Symbolen, das als singulärer „Befehl“ in einer Programmsequenz des Lernspiels Tangicons steht, wird hier mittels überwiegend feinmotorischer Bewegung im physischen Raum zum Thema (vgl. dazu ähnliche Beispiele aus der Mathematik bei Müller & Obier, 2003). Ergebnisse neuerer Studien aus der Hirnforschung bestätigen diese Aussagen. Bereits mittels minimaler körperlicher Aktivität lässt sich die Gehirndurchblutung verbessern, ebenso der Gehirnstoffwechsel (Hollmann, 2004). Bewegung regt die Hirnentwicklung auch in jenen Regionen an, die nichts mit Motorik zu tun haben. Wenn etwa kognitive Lernprozesse mit körperlicher Aktivität verbunden sind, also eine gleichzeitige Stimulation von kognitiven und motorischen Arealen stattfindet, kommt es nachweislich zu einer höheren Neuroplastizität, d. h. synaptische Verbindungen werden schneller und nachhaltiger gestärkt (Min-Fang, 2007). Körperliche Aktivitäten führen zu gesteigerter Produktion von Neurotrophinen, die das Wachstum von Nervenzellen

anregen, was wiederum längerfristig zu verbesserter Lernleistung führen kann. Auch wird durch körperliche Aktivität die Konzentration der Transmitterstoffe Dopamin und Serotonin derart beeinflusst, dass stimmungssteigernde, antiaggressive und angstlösende Wirkungen nachgewiesen werden können und somit kognitive Leistungen unmittelbar verbessert werden können (Kubesch, 2005). Des Weiteren kann körperliche Aktivität zu einer gesteigerten regionalen Hirndurchblutung und besserer Versorgung des Gehirns führen. Prozesse der Neubildung und Erhaltung neuronaler Netze werden unterstützt und damit Lernen erleichtert (Ritteser, 2007).

Vor diesem Hintergrund sind die Tangicons nicht als rein kognitives Spiel, sondern als hybrides Modell einer körperlichen und kognitiven Problemlösungssituation konzipiert.

4. Technische Entwicklung

Aufgrund der Forschungsfragen, die der Entwicklung des Systems der Tangicons zu Grunde liegen, ähnelt sich die grundsätzliche Spielidee der Tangicons bei allen drei Systemgenerationen. Allerdings wurden auf der technischen Seite wesentliche Veränderungen vorgenommen, die auch eine zunehmend bessere Fokussierung auf die zentralen Fragestellungen (die Bedeutung physischer Aktivität, der Visualisierung abstrakter Elemente, des Alters des Lernenden und des gemeinsamen Problemlösens) ermöglichte.

4.1 Tangicons 1.0

Während eines Spiels mit den Tangicons 1.0 (Scharf et al., 2008) müssen Kinder ab fünf Jahren das Verhalten verschiedenfarbiger Lichter und Töne, die von einer Box erzeugt werden, beobachten und daraus Rückschlüsse auf deren Programmierung ziehen, um mit Hilfe von programmierbaren Holzwürfeln die gleiche Sequenz nachzubilden (Abbildung 4).

Allerdings gab es technische Schwierigkeiten, die einen reibungslosen Spielablauf verhinderten. Zur Erkennung der einzelnen Programmierwürfel und deren Abfolge wurden „Topcodes“ (Horn,



Abbildung 4: Gemeinsames Programmieren mit Holzwürfeln auf denen Topcodes via Kamera erfasst werden können, die an einen Laptop angeschlossen ist. Dahinter die Box zur Ausgabe des Codes mit zwei Mikrocontrollern, LEDs und Sumner. Die Fläche zur Ablage von Bausteinen befindet sich am Ende des Raums im Bild rechts oben.

2012) verwendet, die von einer Digitalkamera erfasst wurden. Das Stillhalten der Kamera beim Fotografieren bereitete kleinen Kindern häufig Schwierigkeiten, so dass es oft zu Verwicklungen kam und mehrere Versuche erforderlich waren, bis eine erfolgreiche Erkennung der Topcodes gewährleistet war. Die Übertragung des Programmcodes zum Computer erfolgte kabelgebunden. Das Auslösen des Codes in Form von Lichtern und Tönen erfolgte über einen LEGO RCX, welcher innerhalb einer Holzbox mit LEDs untergebracht war, an welchen die Daten per Infrarot von einem PC übertragen wurden. Es stellte sich heraus, dass das Kabel und die Infrarotverbindung Störfaktoren waren, die die Kinder in ihrer Bewegungsfähigkeit einschränkten. Aus diesem Grund wurde entschieden, eine weitere Version der Tangicons zu bauen, bei der die Technologie in die Würfel integriert ist. Durch die Einführung der neuen Technologie konnten Kamera, Kabel und Infrarotverbindung entfallen, was sich innerhalb weiterer Evaluationen als positiv für den Spielfluss herausgestellt hat (Abbildung 5).

4.2 Tangicons 2.0

Für Tangicons 2.0 (Winkler et al. 2011) wurden Würfel entwickelt, die mit einem ATmega8-Mikrokontroller, Beschleunigungssensoren und einem Funkmodul ausgestattet wurden. Sie konnten per

Funk mit der Hauptstation kommunizieren, um Daten auszutauschen. Die Hauptstation diente u.a. als Ladestation für die Würfel, hatte ebenfalls einen Mikrokontroller, ein Funkmodul, eine Soundausgabe und mehrere farbige LEDs, über die sie den ausgeführten Code visualisieren konnte sowie ein WLAN-Modul. Das Spielprinzip und Ziel der ersten Version blieb bei den Tangicons 2.0 erhalten. Durch den Einsatz der neuen Technologie wurde aber die Programmierung den neuen technischen Gegebenheiten angepasst. Sie erfolgte mit Hilfe der Erkennung der Lage der Würfel über den Beschleunigungssensor. Hierfür mussten die Würfel paarweise in der richtigen Reihenfolge, beginnend mit einem gelben, gefolgt von einem orangen und als letztes einem roten Würfelpaar, zueinander gelegt werden. Die einzelnen Würfelpaare wiederum bestanden aus einem *Statement (Aktion)* und einem *Modifikator (Parameter)*. Durch die Einführung der neuen Technologie konnten Kamera, Kabel und Infrarotverbindung entfallen, was sich innerhalb weiterer Evaluationen als positiv für den Spielfluss herausgestellt hat. Allerdings gab es auch hier Probleme, die eine weitere Entwicklung der Tangicons auf der gegebenen Basis schwierig erschienen ließ. Die Technik innerhalb der Würfel war anfällig, teuer und nicht geeignet, um als robustes Spielzeug eingesetzt zu werden. Aus diesem Grund wurde nach einer weiteren Lösung gesucht.



Abbildung 5: Paarweise zusammenzulegende, farbige Kunststoffwürfel mit integrierten Lagensensoren und Funkmodul zum gemeinsamen Programmieren und weiße Box mit zentralem Kontroller, Funkmodul, LED-Anzeigen und Sumner. Ein entfernter Ablageort für Bausteine befindet sich am Ende des Raums im Bildhintergrund.

4.3 Tangicons 3.0

Bei der dritten Generation der Tangicons wurde schließlich bei den Programmierbausteinen auf die Sifteo-Cubes (<https://www.sifteo.com>) zurückgegriffen (Scharf et al., 2012), eine kommerzielle Weiterentwicklung der Siftables (Merill et al., 2007). Für die Entwicklung kam die erste Sifteo-Generation zum Einsatz. Die Programmierbausteine sind robuste, technisch ausgereifte Ein- und Ausgabegeräte. Sie verfügen über einen kleinen Bildschirm, mit einer Auflösung von 128 × 128 Pixel, der über einen integrierten Taster auch als Bedienelement genutzt werden kann. Weiterhin können über einen Beschleunigungssensor Schüttel- und Kippbewegungen sowie über seitlich angebrachte Infrarotschnittstellen andere Programmierbausteine erkannt werden, wenn sie direkt aneinander gelegt werden.

Sifteo-Programme laufen dabei nicht auf den Programmiersteinen selber, sondern auf einem separaten Computer in einer eigenen Ablaufumgebung, dem sog. Siftrunner. Dieser empfängt über Funk die Sensordaten der Programmierbausteine, interpretiert diese und ändert, wenn nötig, die Bildschirmausgabe. Über die Soundkarte des Computers ist es außerdem möglich, Klänge abzuspielen; die Sifteo-Steine selbst besitzen keine Lautsprecher.

Da es von Werk aus nicht vorgesehen ist, andere als die in die Steine eingebauten Bildschirme in Sifteo-Spielen zu verwenden, wurde die Spiellogik von der Ein- und Ausgabebehandlung der Programmierbausteine getrennt. Der Siftrunner ist weiterhin für die Kommunikation mit den Programmierbausteinen zuständig, während die eigentlich Spiellogik, die Soundausgabe und die in der Einleitung bereits vorgestellte Labyrinth-Karte von einem eigenen Java-Programm zur Verfügung gestellt wird.

5. Tangicons – das Lernspiel in der dritten Systemgeneration

Die Forschungsfragen bezüglich der dritten Generation befassen sich im Wesentlichen mit Vergleichen: individuelles vs.

gemeinsames Lernen sowie Laufen vs. Nicht-Laufen (siehe Kapitel 6.3). Anders als in den ersten beiden Spielgenerationen, wird das narrative Element in den Umgang mit der digitalen Technologie selber verlagert, um das gemeinsame Problemlösen und das grobmotorische Handeln besser miteinander zu verschränken. Die Aufgabe des hier etwas detaillierter vorgestellten Tangicons-Lernspiels der dritten Generation besteht für die Lernenden darin, mit Hilfe physischer Objekte gemeinsam eine virtuelle Spielfigur durch ein Labyrinth auf einem Bildschirm zum Ziel zu navigieren. Dafür muss die jeweilige Spielsituation erkannt, analysiert und mit gegebenen Mitteln eine passende Lösung gefunden werden.

5.1 Spielablauf der Tangicons 3.0

Wie auf Abbildung 7 zu sehen, besteht das Spiel der dritten Generation aus zwei Komponenten: Einem PC für die akustische Ausgabe und den visuellen Ablauf des Spiels sowie Programmierbausteine, die zur Steuerung der Spielfigur auf dem Bildschirm des PCs (vgl. Abbildung 11a) dienen. Zum Spiel für vier Kinder werden insgesamt sechs Programmierbausteine benötigt.

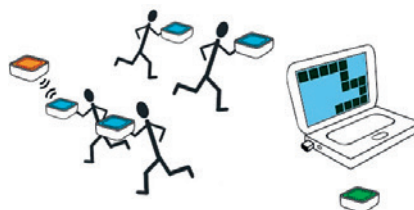


Abbildung 6: Programmierbausteine und PC.

Um eine Spielfigur über den Bildschirm zum Ziel laufen zu lassen, müssen einzelne Teilabschnitte geplant und mit Hilfe von vier Programmierbausteinen (in Abbildung 6 blau markiert) ausgeführt werden. Die vier *Programmierbausteine*, die diese Funktion übernehmen, nennen wir hier *Spielsteine*. Aneinandergelegt bilden diese eine Sequenz von Anweisungen. Diese Anweisungen entsprechen den Schritten, welche in richtiger Reihenfolge gelegt, die Spielfigur auf dem

Bildschirm des PC abschnittsweise zum Ziel führen. Um eine Sequenz zu starten, wird der Startstein (siehe Abbildung 6 grün markiert) gedrückt. Nach jeder ausgeführten Sequenz müssen die vier Spielsteine bei einem weiteren, räumlich getrennten *Aufladestein* (in Abbildung 6 orange markiert) geladen werden, damit die Spielfigur auf dem Bildschirm des PC wieder neue Schritte ausführen darf. Die räumliche Trennung veranlasst die Spieler kurze Pausen der kognitiven Konzentration zu machen, in denen sie sich bewegen. Dieser Ablauf wiederholt sich so lange, bis die Spielfigur auf dem Bildschirm im Ziel angekommen ist.

Die vier Spielsteine, mit denen eine Sequenz von Anweisungen gelegt wird (in Abbildung 6 blau markiert) bieten den Kindern zwei Modi an, zwischen denen durch Drücken des Displays gewechselt werden kann. Die Modi beinhalten entweder „Gehen“ oder „Rotieren“ der Spielfigur. Jedes Kind erhält seinen persönlichen Spielstein (blau), für den es verantwortlich ist. Dadurch wird motiviert, dass sich jedes Kind aktiv am Spiel beteiligt und diskutiert.

Zusätzlich zu den bisher erwähnten Spielsteinen gibt es noch einen *Modifikatorstein*, der gemeinsam von allen Spielern verwendet wird (in Abbildung 6 grün markiert). Dieser ermöglicht es dem Spielsteinen erweiterte Parameter zuzuweisen und so den Funktionsumfang und die Möglichkeiten der Spielsteine zu erhöhen. Der Modifikatorstein hat an seinen vier Seiten Symbole (siehe Abbildung 8 rechts und 9 rechts), die die Funktionen der Spielsteine abhängig vom Modus verändern können. Sie geben an, wie viele Schritte die Spielfigur gehen (siehe Abbildung 7), ob sie pausiert oder in welche Richtung sie sich drehen soll (siehe Abbildung 8). Wird ein Spielstein an die entsprechende Seite des Modifikatorsteins gelegt, übernimmt er die ausgewählte Option des Modifikatorsteins.

Insgesamt bietet jeder Spielstein den Kindern somit eine Auswahl von bis zu sieben möglichen Ausführungen der Bewegungen einer Spielfigur an, die dazu genutzt werden können, möglichst schnell und effizient durch das Labyrinth zu kommen. Die Beziehung der Steine zueinander und deren damit verbunde-

ner Funktionsumfang stellen für Kinder eine anspruchsvolle kognitive Leistung dar, die es zu bewältigen gilt.

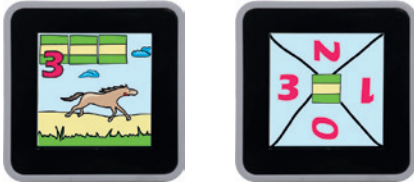


Abbildung 7: Spielstein im Bewegungsmodus (links) und Modifikatorstein im Bewegungsmodus (rechts).

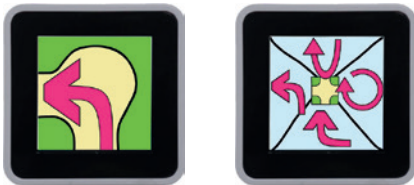


Abbildung 8: Spielstein im Rotationsmodus (links) und Modifikatorstein im Rotationsmodus (rechts).

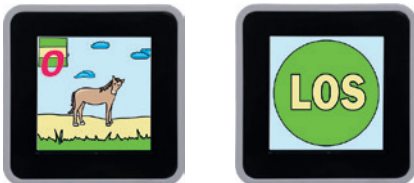


Abbildung 9: Spielstein im Pausenmodus (links) und Modifikatorstein im Spielstartmodus (rechts).

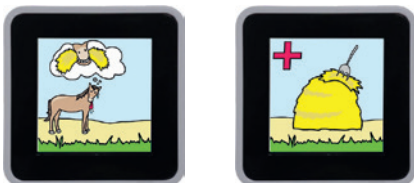


Abbildung 10: Spielstein der anzeigt, dass er aufgeladen werden muss (links) und Aufladestein (rechts).

Der Spielaufbau wird mit zunehmendem Grad komplexer und erfordert von den Kindern Zusammenarbeit. Da das Spiel (vgl. Abbildung 11a) weder auf Zeit noch auf Wettbewerb ausgelegt ist, haben die Kinder genügend Zeit, sich abzusprechen und gemeinsam die nächsten Spielzüge zu planen. Hier kommt es zu Diskussionsprozessen zur Bestimmung des Lösungswegs (vgl. Abbildung 11b). Um einen korrekten Ablauf zu gewährleisten, müssen die Kinder vor der Ausführung jedes Spielzuges darüber reflektieren, ob die Anweisungen ihrer Spielsteine zu dem gewünschten Ablauf der Spielfigur entsprechen. Jede Ausführung wird durch akustisches positives oder negatives Feedback begleitet. Anschließend kommt es nach jedem Zug zu einer kurzen Unterbrechung der kognitiven Aktivität der Spieler. Dabei laufen sie zu dem entfernt gelagerten Aufladestein, um ihre Spielsteine wieder aufzuladen (vgl. 11c).

Während dieser kurzen Unterbrechung werden die Kinder grobmotorisch gefordert. Phänomenologische Betrachtungen zeigten bereits hier, dass gelegentliches Laufen den Kindern Freude bereitet, doch um im Spiel weiter zu kommen, ist es nachteilig, zu häufig zu laufen. Angeregte Diskussionsprozesse anstatt unreflektiert über Versuch und Irrtum vorzugehen, führen hierbei zu einer Reduktion des Laufens. Bei Erreichen des Ziels werden die Kinder optisch und akustisch belohnt, indem sie, abhängig von der Spielfigur, einen virtuellen Pokal oder eine Karotte (für das Pferd) sowie Applaus erhalten.

Besondere kognitive Herausforderungen bei dem geschilderten Spielablauf

bestehen darin, dass die Kinder zuerst den Zusammenhang zwischen Sifteo-Steinen und Bewegungen des Avatars begreifen müssen. Sie müssen weiterhin in Abstimmung mit den anderen Spielern eine Aktion auswählen. Entstehende Fehler bei der Planung werden bei der Ausführung nicht direkt offensichtlich, da mehrere Schritte der Spielfigur auf einmal geplant werden müssen. Zudem werden die Kinder während des Spieles durch die mentale Rotation des Avatars bezüglich der Bewegungsrichtung derselben in besonderer Weise gefordert.

5.2 Spielablauf von Tangicons 3.1

Die Version 3.1 der Tangicons widmet sich der Frage, wie ein geeignetes Spiel mittels Sifteo Cubes und PC, bereits für Kinder ab vier Jahren gestaltet werden kann. Dazu wurde wiederum mittels eines Co-Design-Prozesses (Druin, 1999) eine weitere Variante der dritten Generation der Tangicons entwickelt. Allerdings ist aufgrund der kognitiven Fähigkeiten der Zielgruppe keine mentale Perspektivrotation mehr vorgesehen, der Avatar bewegt sich lediglich von links nach rechts (Abbildung 12). Bei den Tangicons 3.1 (Hahn et al., 2012) wird ein Frosch durch eine Teichlandschaft bewegt, die sich in Spielfelder gliedert. Der Frosch kann sich auf verschiedene Arten (Hüpfen, Schwimmen, Gehen und Klettern) und über verschiedene Entfernungen fortbewegen (Abbildung 13). Dabei ist es unter anderem von der Position des Froschs in der Teichlandschaft abhängig,

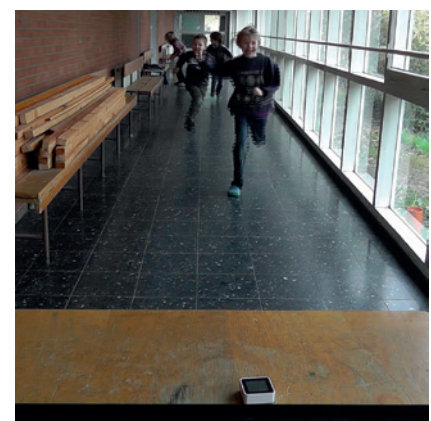


Abbildung 11a: PC mit Display und vier Spielsteine; **11b:** Diskussion, **11c:** Laufen zum „Aufladen“ und zurück.

welche Bewegungsarten und welche Entfernungen zulässig sind.

Auf den Bildschirmen der Steine werden die Bewegungsarten und die Entfernungen in unterschiedlichen Abstraktionsgraden dargestellt, wobei die optimale Darstellungsform ermittelt werden sollte.

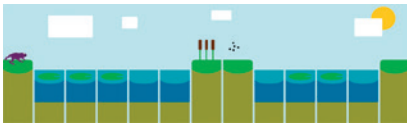


Abbildung 12: Die Teichlandschaft (hier eine einfache, mögliche Variante) dient als Aufgabenstellung.



Abbildung 13: Diverse Fortbewegungsmöglichkeiten in einer der erprobten Gestaltungsvarianten: Die Anzahl der roten Punkte entspricht der Anzahl der zurückgelegten Spielfelder (das Spiel ist ja auch für Kinder gedacht, die noch nicht Zahlen lesen können), der Frosch repräsentiert die Fortbewegungsart, die Mücke den Aufladestein.

6. Evaluation

Das Evaluationssetting aller Evaluationen bestand aus Auswertungen von Videoaufzeichnungen jeweils mehrerer Kameras, Interviews mittels Handpuppen, dem gemeinsamen Ausfüllen einer fünfstelligen Smiley-Skala und dem Messen der Anzahl der Schritte und der Zeit für die Bewältigung einzelner Aufgaben. Die Evaluationen fanden an mehreren Kindergärten und Schulen statt. Die Evaluationsgruppen bestanden in der ersten und zweiten Version aus je 20, der Version 3.0 aus 32 und in einer längeren Evaluation, 8 Probanden. Die Version 3.1. befindet sich noch in der Entwicklung und wurde noch nicht systematisch evaluiert. Die Spielphasen waren jeweils zwischen ca. 10 und ca. 20 Minuten lang und wurden in Kleingruppen zu maximal vier Kindern evaluiert. Je nach Fragestellung variierte jedoch die Anzahl der gemeinsam spielenden Kinder. Um eine Aussage über einen Mehrwert durch gemeinsames Spielen treffen zu können war es auch notwendig, Kinder einzeln spielen zu las-

sen. Detailinformationen zu den Evaluationen sind den jeweiligen hier angeführten Veröffentlichungen zu entnehmen.

Während die Evaluationen der Tangicons der ersten und zweiten Systemgeneration vor allem Fragen des Erwerbs kognitiver Kompetenzen beim Lernen und einer Bestimmung einer unteren Altersgrenze behandelten, fokussierte sich die Evaluation der Tangicons der dritten Generation in der Version 3.0 auf die Vergleiche „individuelles vs. gemeinsames Lernen“ und „Laufen vs. Nicht-Laufen“. Nachfolgend werden die wichtigsten Aspekte der Evaluation der drei Generationen beschrieben.

6.1 Erste Generation

Der evaluative Schwerpunkt bei den Tangicons 1.0 (Abbildung 4) lag auf der Motivation der Kinder während des Spiels und einer Überprüfung der Reaktion auf das System. Dafür wurde das Spiel mit jeweils acht Kindern einer Vorschulgruppe und einer ersten Jahrgangsstufe evaluiert. Die Schüler wurden während des Spiels gefilmt und nach dem Spiel einzeln befragt. Die Beobachtung ergab, dass die Kinder sehr schnell Fortschritte im Spiel machten und die Dauer der Spielzeit im Verlauf stark abnahm. Zudem wurde beobachtet, dass die Kinder Freude am Spiel hatten. Zunächst zeigten sich Probleme beim Erinnern der Sequenz, die ebenfalls im Spielverlauf abnahmen, wobei sie manchmal ein zweites Mal nachsehen mussten. Weitere Probleme zeigten sich bei der Handhabung der Digitalkamera, da die Kinder unter anderem auf Fertigstellung des Fotos durch die Kamera zu lange warten mussten und die Bilder häufig verwackelten (Scharf et al., 2008).

6.2 Zweite Generation

Ein Versuch mit den Tangicons 2.0 (Abbildung 5) befasste sich dezidiert mit der unteren Altersgrenze. Dazu wurde das Spiel von drei- und vierjährigen Kindern gespielt. Es zeigte sich, dass Dreijährige generell nicht in der Lage waren, das Spiel zu spielen und zielgerichtet zu programmieren; Vierjährige kamen jedoch mit

dem Lernspiel nach der Lernphase gut zurecht. Ein weiteres Ergebnis war, dass das Erleben des Spiels durch eine Erhöhung der zeitlichen Nähe zwischen Programmiersequenz und Ausführung verbessert werden konnte (Winkler et al., 2011).

6.3 Dritte Generation

Der evaluative Ansatz zu den Tangicons 3.0 (Abbildung 6) erbrachte in einem phänomenologischen Vergleich von „individuellem vs. gemeinsamen Lernen“, dass Kinder, die in der Gruppe spielen und zwischendurch laufen müssen, mehr Freude am Spiel haben und beim Programmieren schneller und lebhafter sind. Möglicherweise induziert das Laufen eine höhere Geschwindigkeit und Erlebnishaftigkeit im Spiel. Im Vergleich zur Gruppensituation hat es den Anschein, dass die Kinder, wenn sie alleine spielen, sich eher langweilen und weniger Freude haben.

Außerdem wurde untersucht, ob die Unterbrechung des kognitiven Spiels, welche durch das Laufen herbeigeführt wird, einen Effekt auf verschiedene Variable (benötigte Zeit, Anzahl der benötigten Spielzüge und Anzahl der fehlerhaften Spielzüge) im Spiel hat. Es wurde vermutet, dass beim Vorliegen einer Unterbrechung weniger Zeit zur Lösung der Aufgaben benötigt wird, weniger Spielzüge und weniger Fehler gemacht werden (vgl. Abschnitt 3.2). Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in diesen Variablen, was eventuell auch auf den geringen Umfang der Stichprobe (acht Gruppen à vier Kinder) zurückzuführen sein mag. Mit einem Fragebogen wurde eine Bewertung wesentlicher Aspekte des Spiels durch die Schüler erfasst (N=32). Es zeigte sich, dass das Spiel insgesamt, also ohne Berücksichtigung der Versuchsbedingung, positiv bewertet wurde: Die Urteile zum Gefallen des Spiels, zum Zurechtkommen beim Auswählen der Symbole und zum Spielen in der Gruppe fielen positiv aus. Das Spiel wurde weiterhin als leicht beurteilt und mit Ausnahme von zwei Kindern wollten alle Kinder das Spiel noch einmal spielen. Dies kann als überwiegende Akzeptanz des Spiels interpretiert werden (Hahn et al., 2012).

7. Fazit und Ausblick

Das interaktive Lernspiel Tangicons schafft eine strukturierte Lernumgebung, die einen gemeinsamen Lernprozess ermöglicht. Dieser gründet auf reflexiven Kompetenzen und beinhaltet auch das Verständnis von Objekten, Prozessen und Zusammenhängen. Zeitgemäße pädagogische Ansätze fokussieren daher nicht nur fachliches Wissen und Können, sondern auch darüber hinausgehende Fähigkeiten wie Methodendenken oder die Fähigkeit gemeinsam Probleme zu lösen.

Kognitive Lernprozesse werden dabei in fein- und grobmotorische Aktivitäten eingebettet. Das Lernspiel ist mit tangiblen Elementen als Gruppenaktivität konzipiert, da für kollaboratives Lernen eine Reihe positiver Effekte angenommen wird (vgl. Abschnitt 3.1). Die phänomenologischen Beobachtungen legen nahe, dass diese Entscheidung gerechtfertigt ist (vgl. Abschnitt 5).

In weiteren Evaluationen könnte der Frage nachgegangen werden, inwiefern solche Effekte über die phänomenologische Beobachtung hinaus statistisch nachgewiesen werden können. Auch ist die Frage von Interesse, ob in der Gruppe nachhaltiger gelernt wird. Bezüglich eines Nachweises der Frage, ob eine Unterbrechung des kognitiven Spiels durch Laufen einen Effekt auf das Spiel hat, müsste allerdings die Stichprobe vergrößert werden.

Über die vorliegenden Untersuchungen hinaus sind weitere Fragestellungen von Interesse. Eine Fragestellung liegt in der Eignung des Spiels für verschiedene Altersgruppen. Es kann untersucht werden, ob die Schwierigkeit des Spiels für Sechs- und Neunjährige gleichermaßen angemessen ist bzw. ob Anpassungen oder Erweiterungen für ältere Kinder angezeigt sind, um eine geeignete Herausforderung zu bieten.

Das pädagogische Konzept des Spiels liefert weitere Ansatzpunkte für weitergehende empirische Untersuchungen. So könnte das Spiel mit einer Aktivität unterbrochen werden, die nicht motorisch ist. Auf diese Weise kann untersucht werden, ob während der Unterbrechung auch nicht physische Aktivitäten im Sinne einer Abwechslung denselben Effekt aus-

lösen. Andererseits könnte untersucht werden, ob eine Verstärkung der physischen Aktivität, beispielsweise indem die Kinder ein Stück der Strecke balancieren müssen, zu einer Verringerung der benötigten Zeit zur Lösung der Aufgaben, der Anzahl der Spielzüge sowie gemachten Fehler führt. Weiterhin könnte untersucht werden, wie das Spiel beurteilt wird, wenn ein längerfristiger Zugang zum Spiel vorhanden ist. Dies gilt auch für die Untersuchung von Lerneffekten, wie z. B. die Leistung beim Lösen ähnlich strukturierter Probleme.

Wir sehen das System der Tangicons als eine wertvolle Untersuchungsmethodik und -plattform an, um zeitgemäße didaktische Konzepte in gemischt physischen und digitalen Umgebungen, insbesondere für Kinder im Vor- und Grundschulalter, zu untersuchen und weiterzuentwickeln.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts „Kinder- und jugendgerechte Vermittlungskonzepte von körper- und raumbezogenen interaktiven Computersystemen und Medien (Ambient Learning Spaces)“ sowie den teilnehmenden Schulen und vorschulischen Einrichtungen der Hansestadt Lübeck.

Literatur

- Arnold, R. (2007): Ich lerne, also bin ich. Eine systemisch-konstruktivistische Didaktik. Heidelberg: Carl Auer Verlag.
- Damon, W. & Phelps, E. (1989): Critical distinctions among three approaches to peer education. *International Journal of Educational Research*, 13, Amsterdam: Elsevier, 9–19.
- Dijkstra, E. W. (1971): EWD 316: A short introduction to the art of Programming. T. H. Eindhoven, The Netherlands, Aug. 1971.
- Druin, A. (1999). *The design of children's technology*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Hahn C., Wolters C., Winkler T., Herczeg M. (2012). Programmieren im Vorschulalter mit Hilfe von Tangicons. In Reiterer, H & Deussen, O (Eds.) *Mensch & Computer 2012 – Workshopband: interaktiv informiert – allgegenwärtig und allumfassend!?* Oldenbourg Verlag. 135–140.
- Herczeg, M. (2009): *Medieninformatik NXG – Die nächste Generation: Wie Kinder und*

- Jugendliche heute die Medien von morgen erlernen können.* *IT Information Technology*, Vol. 51(6), München: Oldenbourg, 303–308.
- Herczeg, M. (2012): *Mixed Reality Learning*. In Seel, N M (Ed.) *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Vol. 5: M-N, 1. Edition. Berlin: Springer, 2284–2287.
- Högger, D. (2013): *Körper und Lernen. Wie Bewegung, Körperwahrnehmung und Raumorientierung das Lernen unterstützen*. Bern: Schulverlag.
- Holmann, W. (2004). *Bewegung und Körperaktivität als Lebenselixier*. Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin. Deutsche Sporthochschule Köln. http://www.clubofrome.de/schulen/schulen/downloads/holmann_bewegung_koerperaktivitaet_lebenselixier.pdf, (Letzter Zugriff: 30. 04. 2013).
- Horn, M. S., & Jacob, R. J. (2007, April). *Tangible programming in the classroom with tern*. In CHI'07 extended abstracts on Human factors in computing systems (pp. 1965–1970). ACM.
- Horn, M. (2012). *TopCode: Tangible Object Placement Codes*. <http://users.eecs.northwestern.edu/~mhorn/topcodes/> (Letzter Zugriff: 12. April 2012).
- Min-Fang, K. (2007): *Neuroplastizität: Induktion und Modulation mittels externer Stimulation und pharmakologischer Intervention*. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. Elektronische Publikation: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2007/kuo/>.
- Müller, C. & Obier, M. (2001): *Lernen durch und beim Bewegen*. In: Zimmer R. & Hunger, I, 1. (Hrsg.): *Kindheit in Bewegung*. Schorndorf, S. 206–208.
- Kaiser, A. (2012): *Praxisbuch handelnder Sachunterricht Band 2*. 8. Auflage. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Kösel, E. (1993–2007): *Die Modellierung von Lernwelten*. 3 Bände. Bahlingen: SD Verlag.
- Kubesch, S. (2005): *Das bewegte Gehirn – Exekutive Funktionen und körperliche Aktivität*. Dissertation, Universität Ulm. Elektronische Publikation: http://vts.uni-ulm.de/docs/2006/5708/vts_5708_7562.pdf
- Merrill, D.; Kalanithi, J. & Maes, P. (2007): *Siftables: towards sensor network user interfaces*. TEI '07, Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction. New York: ACM.
- Price, S.; Sheridan, J.G.; Falcão, T.P. & Roussos, G. (2008): *Towards a framework for investigating tangible environments for learning*. *International Journal of Arts and Technology. Special Issue on Tangible and Embedded Interaction*. Vol.1, Nos. 3/4, 351–368.

- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1997): Lernen neu denken: Kompetenzen für die Wissensgesellschaft und deren Förderung. Schulverwaltung 3, 74–76.
- Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H. (1999): Teamlüge oder Individualisierungsfalle? Eine Analyse kollaborativen Lernens und deren Bedeutung für die Förderung von Lernprozessen in virtuellen Gruppen. Forschungsbericht 115 des Instituts für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik der Universität München.
- Ritteser, M. (2007): Bewegung und Lernen – Evaluation: Auswirkungen von Bewegung in der Schule auf Konzentration, Merkfähigkeit und Befindlichkeit. München: GRIN Verlag GmbH.
- Scharf, F.; Winkler, T. & Herzeg, M. (2008): Tangicons: Algorithmic Reasoning in a Collaborative Game for Children in Kindergarten and First Class. In Proceedings of ACM IDC 2008. Chicago: Northwestern University, 242–249.
- Scharf, F.; Winkler, T.; Hahn, C.; Wolters, C. & Herzeg, M. (2012): Tangicons 3.0 – An Educational Non-Competitive Collaborative Game. In Proceedings of ACM IDC 2012. Bremen.
- Thiel, A.; Teubert, H. & Kleindienst-Cachay, C. (2006): Die Bewegte Schule auf dem Weg in die Praxis. 3. Auflage. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Voelcker-Rehage, C. (2005): Der Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung im frühen Kindesalter – Ein Teilergebnis der MODALIS-Studie. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Jahrgang 56, Nr. 10, 358–363.
- Wamser, P. & Leyk, D. (2003). Einfluss von Sport und Bewegung auf Konzentration und Aufmerksamkeit: Effekte eines „Bewegten Unterrichts“ im Schulalltag. In: Sportunterricht Jg. 52, Nr. 4/2003, 108–113.
- Winkler T.; Scharf F.; Peters J. & Herzeg M. (2011): Tangicons – Programmieren im Kindergarten. In Eibl, M & Ritter, M (Hrsg.) Workshop Proceedings der Tagung Mensch & Computer 2011 – überMEDIEN ÜBERmorgen. Chemnitz: Universitätsverlag, 23–24.
- Wyeth, P., & Wyeth, G. (2001). Electronic blocks: Tangible programming elements for preschoolers. Proc. of the Eighth IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (pp. 496–503). IOS Press.

- Zahner, L.; Pühse, U.; Stüssi, C.; Schmid, J. & Dösselger, A. (2004). Aktive Kindheit – Gesund durchs Leben, Handbuch für Fachpersonen, Münsingen: Fischer.
- Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005, April). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In Proc. of CHI'05 (pp. 859–868). ACM.

1 Dr. Thomas Winkler, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter am Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS) der Universität zu Lübeck. Thomas Winkler ist Projektkoordinator für Projekte im Bereich Computergestütztes Lernen für Kinder und Jugendliche. Die Hauptarbeitsgebiete sind Interaktionsdesign, Computerunterstütztes Lernen und Lehren, Schul- und Erwachsenenpädagogik, Medien-, Design- und Kunsttheorie, neuere Kunst- und Kulturgeschichte sowie Ästhetik.
E-Mail: winkler@imis.uni-luebeck.de
<http://imis.uni-luebeck.de/de/imis/mitarbeiter/thomas-winkler>

2 Florian Scharf, Dipl.-Inf., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS) der Universität zu Lübeck. Florian Scharf arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Projekt „Ambient Learning Spaces“ am IMIS. Die Hauptarbeitsgebiete sind Human-Computer-Interaction, Tangible-User-Interfaces, Cross-Device-Interaction und Vernetzte Systeme.
E-Mail: scharf@imis.uni-luebeck.de
<http://imis.uni-luebeck.de/de/imis/mitarbeiter/florian-scharf>

3 Claudia Hahn, Dipl.-Psych., wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS) der Universität zu Lübeck. Claudia Hahn arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin im DFG-Projekt „Ambient Learning Spaces“ am IMIS. Das Hauptarbeitsgebiet ist die Evaluation von multimedialen und interaktiven Systemen.
E-Mail: hahn@imis.uni-luebeck.de
<http://imis.uni-luebeck.de/de/imis/mitarbeiter/claudia-hahn>

4 Christian Wolters, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS) der Universität zu Lü-

beck. Christian Wolters arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMIS im Forschungsbereich „Computergestütztes Lehren und Lernen“ und im BMBF-geförderten Projekt „Dozierenden-Service-Center“.

E-Mail: wolters@imis.uni-luebeck.de
<http://imis.uni-luebeck.de/de/imis/mitarbeiter/christian-wolters>

5 Prof. Dr. Michael Herzeg, Universitätsprofessor für Praktische Informatik und Direktor des Instituts für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS) der Universität zu Lübeck. Die Hauptarbeitsgebiete sind Mensch-Computer-Kommunikation, Software-Ergonomie, Interaktionsdesign, Multimediale und Interaktive Systeme, Computergestütztes Lehren und Lernen sowie Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme.
E-Mail: herzeg@imis.uni-luebeck.de
<http://www.imis.uni-luebeck.de/de/imis/mitarbeiter/michael-herzeg>



1



2



3



4



5