



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Anwendungen 2 - SoSe 2009 André Jeworutzki

Pädagogik intelligent verkleidet:
Lehre von Design, Elektrotechnik und Informatik
im Rahmen eines Workshops von Studenten für
Studenten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Einführung in das Thema	4
2.1	Designmöglichkeiten	4
2.2	Interaktionsmöglichkeiten	4
2.3	Kommunikationsmöglichkeiten	5
2.4	Pädagogik	5
3	Vergleichbare Arbeiten	6
3.1	LilyPad Arduino	6
3.2	Boda Blocks	7
3.3	Quilt Snaps	7
3.4	TeeBoard	8
3.5	Lego Mindstorm	8
4	Abgrenzung der eigenen Arbeit	9
5	Zusammenfassung	10
	Literatur	10

Kurzzusammenfassung

Diese Ausarbeitung handelt über intelligente Kleidung als pädagogisches Hilfsmittel, um Menschen an Design, Elektrotechnik und Informatik heranzuführen. Eine Definition bildet den Anfang, gefolgt von den Möglichkeiten, die intelligente Kleidung gegenüber normaler Kleidung bietet, um anschließend zu klären, warum ausgerechnet Kleidung sinnvoll für die Lehre von komplexen technologischen Themengebieten ist. Der Hauptteil umfasst einen Vergleich zwischen Arbeiten, die intelligente Kleidung in Workshops eingesetzt haben. Abschließend werden die eigenen Ziele für einen Workshop im Rahmen des Pentiments erörtert.

1 Einleitung

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit intelligenter Kleidung, ein junges Forschungsfeld, das bereits ausreichend Stoff liefert, um Designer, Informatiker, Elektro-, Kommunikations- und Mikrosystemtechniker zu beschäftigen, obgleich keine einheitliche Definition für intelligente Kleidung existiert. Im Gegenteil erschweren unzählige synonyme Bezeichnungen eine Zuordnung: Wearables, Smart Clothes, Electronic Textiles, Computational Fabrics sind nur einige und umfassen ähnliche oder gleiche Sachverhalte. Fest steht, dass intelligente Kleidung die Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche erfordert. In Zukunft ist daher beim Entwurf eines Kleidungsstücks Umdenken gefragt: Elektronische Verbindungen, Sensoren, Mikrocontroller und Stromversorgung sind an geeignete Stellen zu platzieren, sie müssen mit dem Design harmonieren und letztlich muss sich der Träger darin wohlfühlen. Dieser Mehraufwand zahlt sich erst aus, wenn die Kleidung von Morgen modisch aussieht und mitdenkt, also mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien zusätzliche Funktionen erfüllt, die uns künftig in vielen Lebensbereichen aktiv unterstützt. Welche Möglichkeiten intelligente Kleidung bereithält, soll in dieser Ausarbeitung untersucht werden. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf den Bereich Pädagogik und die Frage, ob sich intelligente Kleidung eignet, um technisches Grundwissen zu vermitteln.

2 Einführung in das Thema

Kleidung ist für jeden etwas Persönliches, denn sie drückt aus, wer wir sind, wie wir uns fühlen und welche Rolle wir in der Gesellschaft einnehmen. Durch die Wahl der Kleidung beeinflussen wir, wie sich andere uns gegenüber verhalten. Kurz ausgedrückt: "Kleider machen Leute". Diese Ausarbeitung ignoriert die soziologischen und psychologischen Auswirkungen, sowie die Gestaltung von Kleidung. Stattdessen geht es ums Handwerk. Kurz ausgedrückt: "Leute machen Kleider". Design spielt hier eine untergeordnete Rolle, worauf es ankommt, ist Technik und Funktionalität. Funktionale Kleidung existiert bereits: So schwimmt Olympiasieger Michael Phelps im Neoprenanzug allen davon und Neil Armstrong wäre ohne Raumanzug nicht auf dem Mond spaziert. Das richtige Textil befähigt uns zu Leistungen, die sonst nicht möglich wären. Aus technologischer Sicht drängt sich die Frage auf, welche Leistungen uns intelligente Kleidung eines Tages ermöglicht?

2.1 Designmöglichkeiten

Fashiondesigner erhalten neue Elemente zur Gestaltung, besonders durch Leuchtdioden (LED) erstrahlen Kleider in neuem Licht. Visuelle Effekte heben Schnitte, Umrisse oder Muster hervor, ob dezent oder gewollt provokativ. Auch Farbspiele sind denkbar: zum Beispiel das intelligente Ballkleid, das beim Tragen seine Farbe wechselt. Neben Licht und Farbe schaffen Gedächtnisdraht (Nitinol), Motoren und Pumpen Bewegung. Viele Beispiele sind vorstellbar: Eine Kapuze, die sich bei Regen aufbläst, Flüssige Farbe, die durch Schläuche entlangläuft oder ein intelligenter Rock, der die Länge an der Außentemperatur anpasst. Fashiondesigner haben solche Technologien bereits eingesetzt, um Modeschauen reizvoller zu gestalten. Im Alltag hat sich intelligente Kleidung bisher nicht durchgesetzt - Gesellschaft und Akzeptanz sind wichtige Aspekte, die weiter untersucht werden müssen [3]. Eine weitere Herausforderung für Designer ist es, die Elektronik im Design zu integrieren oder zu verstecken [13].

2.2 Interaktionsmöglichkeiten

Herkömmliche Kleidung interagiert mit der Umwelt über spezielle Stoffe, sie kann beispielsweise schweißabweisend, wasserabweisend oder feuerfest sein. Diese Form der Interaktion findet jedoch passiv zwischen Träger und Kleidung statt. Intelligente Kleidung ermöglicht eine aktive Steuerung durch den Träger: über eingenähte Knöpfe steuert er mobile Geräte wie Handys und PDAs oder statische Geräte in seiner Umgebung wie PCs, Anlagen und Haushaltsgeräte. Hierzu drückt oder berührt er bestimmte Kleidungsregionen. Ein anderer Ansatz sind eingenähte Sensoren, um Bewegung und Gesten des Trägers zu interpretieren. Dieser Ansatz verspricht eine intuitive Steuerung, setzt jedoch eine heikle Interpretation der Sensordaten voraus.

Weitere Möglichkeiten bilden taktile Bauteile wie Vibratoren, Heizkörper oder Massagegeräte, die eingeflochten dem Träger auf Ereignisse aufmerksam machen oder im Alltag unterstützen. Speziell im medizinischen Bereich wird intelligente Kleidung unter anderen zur Rheumatherapie eingesetzt. Auch im Ambient Assisted Living spielt Body-Monitoring [24] eine wichtige Rolle, um Körpereigenschaften zu messen und entsprechend darauf zu reagieren: so kann beispielsweise bei Unterzuckerung dem Körper direkt Insulin zugeführt werden. Ein verwandter Bereich ist emotionale Kleidung [23], sie erkennt den Gemütszustand des Trägers und reagiert entsprechend: Angenommen ein Vorgesetzter beleidigt seine Sekretärin; die intelligente Arbeitskleidung erkennt daraufhin, dass die Sekretärin traurig ist und heitert sie auf, indem ihr sanft der Rücken massiert wird. Diese Variante ist dezent und fällt nur den Träger auf: "Cloth2Human".

2.3 Kommunikationsmöglichkeiten

Menschen kommunizieren im Alltag über Kleidung, indem Kleidung die gesellschaftliche Rolle, Funktion oder den Gemütszustand mitteilt. So erkennt jeder den Polizisten an seiner Uniform und eine Beerdigung am schwarzen Trauerzug. Mobile Kommunikationstechnologien wie WLAN, Bluetooth oder Zigbee [1] öffnen weitere Möglichkeiten. So könnte die intelligente Bergsteigerkleidung automatisch die GPS-Position des verschütteten Bergsteigers an den Rettungsdienst senden. Ein großes Einsatzfeld befindet sich weiterhin im Militärwesen. Die Generäle in der Zentrale überwachen und koordinieren die einzelnen Soldaten auf dem Schlachtfeld zum Sieg.

Weitere Beispiel für kommunikative Kleidung sind Lichtsignale oder eingenähte Displays, die Nachrichten anzeigen. Komplexer sind Nachrichten über Funk, um beispielsweise Information aus der Umgebung zu empfangen und sie dem Träger mitzuteilen oder Interaktion zwischen zwei Personen einzuleiten.

Eine Herausforderung in diesem Bereich ist Sicherheit und Datenschutz. Die sensiblen Sensordaten des Körpers sind vor Dritte zu schützen. Dieses Thema liegt allerdings außerhalb des Rahmens dieser Ausarbeitung und sei der Vollständigkeit erwähnt.

2.4 Pädagogik

Neben zusätzlichen Funktionen in Beruf und Alltag bietet intelligente Kleidung eine Chance völlig anderer Natur: in der Pädagogik. Intelligente Kleidung hat das Zeug, Jugendliche wie Erwachsene spielerisch an technische Themen heranzuführen, denn Kleidung allein ist für jeden ein bedeutendes Thema, regelmäßiges Ausprobieren neuer Stile dient der Identifikation und Selbstfindung. Betrachtet man intelligente Kleidung als Werkzeug und nicht als fertiges Produkt, dann erfüllt sie den Wunsch, eigene Sachen persönlich zu gestalten. Dabei bewegt

man sich zeitgleich zwischen wissenschaftlicher Arbeit und kreativer Kunst. Diese Grauzone macht den Reiz aus, motiviert zur geistigen Arbeit und befriedigt unser Bedürfnis zu Schaffen. Ist das Handwerk vollendet, erhält man schließlich ein individuelles Stück, das man anfassen, anziehen, mit nach Hause nehmen kann oder das Interesse anderer weckt und zur Diskussion anregt [22], [12], [4], [10], [21].

Intelligente Kleidung verspricht außerdem, nicht technikaffine Gruppen anzusprechen und für Technologie zu begeistern. Da unterschiedliche Bereiche wie Design, Elektrotechnik und Informatik abgedeckt sind, ist für jeden etwas dabei. Leah Buechley möchte insbesondere Frauen und Mädchen motivieren, sich stärker mit Technologie zu beschäftigen [7].

Allerdings verheißt intelligente Kleidung nicht nur Vorteile für die Pädagogik. Zunächst treffen Studenten auf alle Probleme, die auch professionelle Ingenieure haben. Darüber hinaus ist das Nähen wegen Kurzschlüsse fehleranfällig und das Finden optimaler Leitungsbahnen ist nicht trivial. Fehler lassen sie im Nachhinein nur mit Aufwand korrigieren. Dies behindert Prototyping und verlangt eine gründliche Planungsphase. Zudem sind Embedded Systeme sind zudem eine Herausforderung, um Programmieren zu lernen, da eine zusätzliche Ebene zwischen virtueller und physikalischer Welt dazukommt [18], [15].

3 Vergleichbare Arbeiten

Das nachfolgende Kapitel beinhaltet einen Vergleich wissenschaftlicher Arbeiten, die Baukästen in der Pädagogik einsetzen. Alle hier vorgestellten Baukästen basieren auf dem Sense-Plan-Act-Modell, das aus der Robotik stammt.

3.1 LilyPad Arduino

Leah Buechley ist zurzeit Professorin am MIT Media Lab in Boston. Ihr Forschungsschwerpunkt ist Pädagogik. Seit 2004 forscht sie an Baukastensysteme für die Lehre, um Kinder und Jugendliche spielend an Technik heranzuführen. Aus dieser Forschung sind 2006 spezielle Minicomputer entstanden, LilyPads genannt [5]. LilyPad Arduino ist ein System für Experimente mit Embedded Systeme. Es erlaubt Anwendern Mikrokontrollern, Sensoren und Aktoren in eigene Kleidungsstücke mit leitfähigem Garn zu verbinden. Mit Hilfe der LilyPads sollen Kinder und Erwachsene mit Informatik und Elektronik in Kontakt treten und auf kreative Weise fundamentale Fähigkeiten erlernen. Hauptmerkmal der LilyPads ist die einfache Handhabung: selbst unerfahrene Anwender erzielen mit LilyPads schnelle Erfolge [7]. Ziel der LilyPads ist es, ein analoges Baukastensystem zu den Lego Mindstorm zu sein.

Arduino [2] allein ist eine open-source Hardware-/Softwareplattform, um Computer selbst zu bauen, die über Sensoren und Aktoren mit der physikalischen Welt interagieren. Da die Hardwarespezifikation offen ist, ist es möglich, einen eigenen Mikrokontroller zu entwickeln, der mit der Arduino-Plattform kompatibel ist: Das LilyPad von Leah Buechley ist ein solcher Arduino. Das LilyPad besitzt einen Atmel ATmega328V Mikrokontroller mit 8 MHz Taktgeschwindigkeit, 2 KB SRAM flüchtigen Speicher und 1 KB EEPROM dauerhafter Speicher, 32 KB Flash Memory für Programme und arbeitet mit einer Betriebsspannung zwischen 2,7 und 5,5 Volt. Der Vorteil des LilyPads ist, dass andere Programme die für Arduino geschrieben sind, ebenfalls funktionieren. Neben Arduino existieren andere Mikrokontroller wie Parallax Basic Stamp, Phidgets, Netmedia's BX-24, MIT's Handyboard; sie haben alle gemeinsam, dass eine umfangreiche Bibliothek die komplizierten Hardwareinternas vor dem Anwender versteckt, jedoch sind sie nicht vollständig offen wie Arduino und damit nicht erweiterbar.

Leah Buechley unterscheidet grob zwischen drei Handwerksaktivitäten: Elektronik (Hardware), Stoff und Software. Diese Themengebiete sind in sich komplex und können unterschiedlicher nicht sein. Da intelligente Kleidung sie alle vereint, besteht die Gefahr, Kursteilnehmer zu überfordern. Unterschiedliche Vorkenntnisse der Teilnehmer erschweren den Aufbau eines Kurses weiter. Insgesamt sind die LilyPads durch ihre offene Hardware sehr vielfältig einsetzbar. Das aufwändige Nähen erschwert jedoch das Prototyping, hierzu sollte Draht mit Krokodilsklemmen verwendet werden. Größere Projekte mit LilyPads erfordern trotzdem eine gründliche Planung.

3.2 Boda Blocks

Boda Blocks [6] ist eine weitere Kreation von Leah Buechley, vor den LilyPads entstanden, handelt es sich um handgroße Blöcke, die in unterschiedlichen Farben leuchten. Die Blöcke lassen sich beliebig zusammenstecken. Die eingebauten LEDs programmiert man über eine speziell angepasste Software, die zellulären Automaten abbildet: Jeder Boda Block kann auf seinen Nachbarblock reagieren und seine Farbe ändern.

Im Vergleich zu den LilyPads bieten die Boda Blocks kaum Spielraum zur Selbstentfaltung, da sie sich nicht um Sensoren oder Aktoren erweitern lassen. Außerdem ist fraglich, ob zelluläre Automaten das Mittel der Wahl ist, um Unerfahrene an die Informatik heranzuführen, da diese Automaten nur einen sehr speziellen Themenbereich abdecken. Auf der anderen Seite besticht die Einfachheit der Boda Blocks - schnelle Erfolge sind vorprogrammiert.

3.3 Quilt Snaps

Für Quilt Snaps [9] zeichnet sich Leah Buechley erneut verantwortlich, vor den Boda Blocks entstanden, handelt es sich um Stoffquadrate in Ritter-Sport-Format mit Druckknöpfen an den

Kanten. Auf den Druckknöpfen lässt sich ein weiteres Quilt Snap aufstecken, so dass beliebig große Quilt Snap Teppiche entstehen, die über die Druckknöpfe kommunizieren und Energie erhalten. Jedes Snap besitzt einen Mikrokontroller und ist frei dekorierbar zum Beispiel mit LEDs.

Gegenüber den LilyPads lassen sich die Quilt Snaps über die Druckknöpfe sehr einfach erweitern. Da die Stromversorgung über die Druckknöpfe läuft, entfallen Probleme aus der Elektrotechnik, wie Stromverbindungen, Stromversorgung und Widerstand, da die Leitungen bereits fest vorgegeben sind. Der Anwender hat daher mehr Zeit für Design und Programmierung.

3.4 TeeBoard

Das TeeBoard [20] wurde am Department of Computing in Hong Kong entwickelt und kombiniert ein T-Shirt mit einer Lochrasterplatte. Durch das gesamte T-Shirt sind Strom- und Datenleitungen vorgenäht. Der Anwender kann nun beliebige Sensoren oder Aktoren auf das T-Shirt platzieren und an die vorhandenen Leitungen ankoppeln. Diese Leitungen im TeeBoard haben den Vorteil, dass der Anwender sich keine Gedanken über Stromversorgung und Datenanbindung machen muss. Außerdem beschleunigt dies die Entwicklung intelligenter Kleidung, da das aufwendige und fehleranfällige Nähen langer Verbindungen entfällt; im Vergleich zu den LilyPads verzeiht das TeeBoard mehr Fehler, die sich durch seine Steckverbindung zudem schneller korrigieren lassen. Dadurch lädt das TeeBoard zu inkrementellen Arbeiten ein, währenddessen bei den LilyPads eine Vorabplanung dringend anzuraten, jedoch nicht erforderlich ist.

Das TeeBoard wird in einem Guss hergestellt und besitzt dadurch einen sehr geringen Widerstand. Bei den LilyPads machen besonders lange Strecken große Probleme, weil die Spannung stark abschwächt. Insgesamt fordert das TeeBoard den Teilnehmern weniger Kenntnisse ab, da die elektrischen Leitungen wie bei den Quilt Snaps bereits eingebettet sind. Jedoch geben sowohl TeeBoard als auch Quilt Snaps bereits das Grundmaterial vor, mit dem gearbeitet wird. Bei den LilyPads hat der Anwender die Freiheit, jegliche Textilien zu verwenden: Ob Hose, Hemd, Schuhe, Decke, Armband, Umhang oder Stofftier ist alles denkbar.

3.5 Lego Mindstorm

Lego Mindstorm [17] ist ein kommerzielles Produkt basierend auf Lego-Bausteinen, ergänzt um Sensoren und Aktoren, die ein Mikrokontroller ansteuert. Lego-Bausteine sind als Spielzeug beliebt. Zudem erlaubt die vielfältige Anzahl an Bausteinen beliebige, komplexe Gebilde für Roboter und Fahrzeuge. Wie bei den TeeBoards lassen sich Änderungen schnell und mühelos vornehmen. Im Vergleich zu den vorgestellten Arbeiten, liegt der Schwerpunkt bei Lego Mindstorm auf Bewegung. Passende Module sind bereits im Angebot enthalten und auf

die vorhandene Energieversorgung ausgelegt. Lego Mindstorm bietet als Spielzeug eine gute Plattform für pädagogische Kurse, die Technik als Kernpunkt haben. Auf der anderen Seite treffen Roboter nicht jedermanns Geschmack und wirken anfangs durch ihre Vielfältigkeit sehr kompliziert. [8]

4 Abgrenzung der eigenen Arbeit

Von 03.08.2009 bis zum 15.08.2009 findet im Rahmen des Pentiments [11] ein Workshop von Studenten für Studenten statt. In diesem zweiwöchigen Workshop werden die Teilnehmer mit LilyPad Arduino eigene Ideen umsetzen und am Ende ihre Ergebnisse dem breiten Publikum der Pentimentaustellung präsentieren. Der Autor dieser Ausarbeitung gehört zu dem Projektteam Textile Network ¹ (nachfolgend als Kursleiter bezeichnet), das für die Planung und Umsetzung des Workshops zuständig ist.

Zunächst fällt die Wahl des Werkzeugs für den Workshop auf die LilyPad Arduino-Plattform, weil intelligente Kleidung zum Thema des Pentiments passt und LilyPads große Flexibilität bieten. Denn im Gegensatz zu vergleichbaren Kursen [16], [7], [8] und [20], besteht die Zielgruppe nicht aus Kindern und Jugendlichen sondern aus erwachsenen Studenten. Daher stellen zum einen die Kursleiter höhere Ansprüche, an die Projektergebnisse der Teilnehmer, zum anderen erwarten die Kursleiter, dass die Teilnehmer außergewöhnliche Wünsche stellen werden, um intellektuelle, ausgefallene oder schlicht coole Kunstwerke anzufertigen. Dies erfordert von den Kursleitern eine intensive Einarbeitung in die Kernbereiche Design, Elektrotechnik und Informatik, um auf selbst abstruse Ideen vorbereitet zu sein und die Teilnehmer im Zweifel so umzulenken, dass sie trotz eventueller Abstriche am Ende mit ihren Ergebnissen zufrieden sind. Erforderlich ist also ein Balanceakt auf den schmalen Grat zwischen künstlerischer Freiheit und den Einschränkungen durch die Rahmenbedingungen des Workshops. Diese Rahmenbedingungen erschweren die Kursvorbereitung extra: Zum einen sind zwei Wochen für Einarbeitung und Umsetzung zu kurz, zum anderen sind den Kursleitern die Vorkenntnisse der Teilnehmer unbekannt. Bestünde der Kurs zum Beispiel nur aus Informatikern, dann wären zwar wenige Programmieraufgaben erforderlich, dafür aber viel Einarbeitung in Nähen und Design. Die Kursleiter planen, die Teilnehmer in Dreiergruppen aufzuteilen, um den Organisations- und Kommunikationsaufwand möglichst gering zu halten. Der Idealfall ist, wenn jede Gruppe aus Studenten unterschiedlicher Fachbereiche besteht, womit auch eines der Ziele des Workshops erreicht wäre, dass Studenten verschiedener Fachbereiche miteinander diskutieren. Die Kursleiter erhoffen sich, dass die Teilnehmer so einen Blick über den Tellerrand erhalten und vielleicht Interesse für andere Bereiche entwickeln.

¹ Ekaterina Ibraimova (Fakultät DMI), Larissa K. Müller (Fakultät TI), Svenja Keune (Fakultät DMI) und André Je-worutzki (Fakultät TI)

In den Auswertungen vergleichbarer Kurse lautet ein Ergebnis, dass die Teilnehmer große Schwierigkeiten bei der Programmierung hatten, während Design und Elektrotechnik vergleichsweise schnell aufgenommen wurde. Als Erklärung liegen drei Gründe vor: Erstens besteht eine hohe Hemmschwelle, weil viele Teilnehmer Programmierung als komplex und kompliziert einschätzen. Zweitens haben die Teilnehmer lieber ihre Zeit in die Ideenfindung und Ästhetik gesteckt als in die Umsetzung. Drittens sind Embedded Systeme als Einstieg in die Programmierung schwieriger, da sie eine Abstraktion zwischen physikalischer Welt und virtueller Welt bedürfen. Um diese Probleme für den Pentiment-Workshop einzudämmen, entwickeln die Kursleiter eine Bibliothek für die einzelnen Sensoren und Aktoren, damit die Teilnehmer auf einer abstrakten, höheren Ebene entwickeln können, während auf der unteren Ebene die Bibliothek typische Schwierigkeiten wie beispielsweise das Auslesen von geglätteten Sensordaten im Vorfeld abfängt. Eine weitere Idee umfasst eine spezielle Entwicklungsumgebung für LilyPads, in der die Teilnehmer Sensoren und Aktoren als grafische Objekte anfassen und verbinden, um dazu den passenden Arduino-Code durch die Entwicklungsumgebung zu erzeugen. Zusätzlich sind regelmäßige Übungen erforderlich, damit die Teilnehmer sich nicht zu sehr auf Design und Ästhetik konzentrieren und dabei die Programmierung aus den Augen verlieren.

5 Zusammenfassung

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit den Möglichkeiten und Problemen von intelligenter Kleidung in der Pädagogik. Intelligente Kleidung hat das kreative Potential, Menschen mit Technikphobie an Themen wie Elektronik und Informatik heranzuführen.

Es existieren verschiedene Technologien, um intelligente Kleidung umzusetzen. Die LilyPad Arduino Plattform ist offen und bietet im Vergleich ausreichend Flexibilität, so dass keine großen Einschränkungen bei der Umsetzung von Ideen zu erwarten sind.

Im Rahmen des Pentiments erfolgt ein zweiwöchiger Workshop von Studenten für Studenten. Da die Zielgruppe wesentlich älter und vielfältiger ist, als bisherige Gruppen in vergleichbaren Arbeiten, entstehen neue Herausforderungen an die Kursleiter. Besonders der Einstieg in die Programmierung von Embedded Systemen soll den Teilnehmern durch eine vorgefertigte Bibliothek erleichtert werden.

Literatur

- [1] ZigBee Alliance. Zigbee, Juni 2009. <http://www.zigbee.org/>.

- [2] Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, and David Mellis. Arduino, Juni 2009. <http://www.arduino.cc>.
- [3] Sharon Baurley. Interactive and experiential design in smart textile products and applications. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(3-4):274–281, 2004.
- [4] Leah Buechley. A construction kit for electronic textiles. In *ISWC*, pages 83–90. IEEE, 2006.
- [5] Leah Buechley. Lilypad tutorial, Juni 2009. <http://web.media.mit.edu/~leah/LilyPad/index.html>.
- [6] Leah Buechley and Eisenberg. Boda blocks: A collaborative tool for exploring tangible three-dimensional cellular automata. ACM, 2007.
- [7] Leah Buechley, Mike Eisenberg, Jaime Catchen, and Ali Crockett. The lilypad arduino: using computational textiles to investigate engagement, aesthetics, and diversity in computer science education. In *CHI '08: Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 423–432, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [8] Leah Buechley, Mike Eisenberg, and Nwanua Elumeze. Towards a curriculum for electronic textiles in the high school classroom. In *ITiCSE '07: Proceedings of the 12th annual SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education*, pages 28–32, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [9] Leah Buechley, Nwanua Elumeze, Camille Dodson, and Michael Eisenberg. Quilt snaps: A fabric based computational construction kit. In *WMTE*, pages 219–221. IEEE Computer Society, 2005.
- [10] Leah Buechley, Nwanua Elumeze, and Michael Eisenberg. Electronic/computational textiles and children's crafts. In *IDC '06: Proceedings of the 2006 conference on Interaction design and children*, pages 49–56, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [11] HAW DMI. Pentiment, Juni 2009. <http://www.pentiment.de>.
- [12] Michael Eisenberg, Leah Buechley, and Nwanua Elumeze. Computation and construction kits: Toward the next generation of tangible building media for children. In Kinshuk, Demetrios G. Sampson, and Pedro T. Isaías, editors, *CELDA*. IADIS, 2004.
- [13] Michael Eisenberg, Ann Eisenberg, Leah Buechley, and Nwanua Elumeze. Invisibility considered harmful: Revisiting traditional principles of ubiquitous computing in the context of education. In *WMTE*, pages 103–110. IEEE Computer Society, 2006.
- [14] Franziska Huebler, Kai von Luck, and Gunter Klemke. Ambient awareness, Juni 2009. <http://www.ambientawareness.de>.

- [15] Mark T. Jones, Thomas L. Martin, and Braden Sawyer. An architecture for electronic textiles. In *BodyNets '08 March*, pages 13–17. ACM, 2008.
- [16] Winnie W.Y. Lau, Grace Ngai, Stephen C.F. Chan, and Joey C.Y. Cheung. Learning programming through fashion and design: a pilot summer course in wearable computing for middle school students. In *SIGCSE '09: Proceedings of the 40th ACM technical symposium on Computer science education*, pages 504–508, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [17] Lego. Lego mindstorm, Juni 2009. <http://mindstorms.lego.com>.
- [18] Diana Marculescu, Radu Marculescu, and Pradeep K. Khosla. Challenges and opportunities in electronic textiles modeling and optimization. In *DAC 02: Proceedings of the 39th annual Design Automation Conference*, pages 175–180, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [19] Gauri Nanda, Adrian Cable, V. Michael Bove, Moneta Ho, and Han Hoang. byob [build your own bag]: a computationally-enhanced modular textile system. In *MUM '04: Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia*, pages 1–4, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [20] Grace Ngai, Stephen C.F. Chan, Joey C.Y. Cheung, and Winnie W.Y. Lau. The teeboard: an education-friendly construction platform for e-textiles and wearable computing. In *CHI '09: Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pages 249–258, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [21] Mitchel Resnick. Computer as paint brush: Technology, play, and the creative society. In *Oxford University Press*, pages 13–17, 2006.
- [22] Mitchel Resnick and Brian Silverman. Some reflections on designing construction kits for kids. In *IDC '05: Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children*, pages 117–122, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [23] Lisa Stead, Petar Goulev, Caroline Evans, and Ebrahim Mamdani. The emotional wardrobe. *Personal Ubiquitous Comput.*, 8(3-4):282–290, 2004.
- [24] Olaf Tetzla. Bodymonitoring: Entwicklung eines prototypen für intelligente kleidung. Masterarbeit, HAW Hamburg, 2008.