

Pervasive E-Learning: Neue Technologien unterstützen lebenslanges Lernen

von Andreas Holzinger (Institut für Medizinische Informatik, Medizinische Universität Graz und Institut für Informationssysteme und Computer Medien, Technische Universität Graz)

Pervasive E-Learning · p-Learning · Ubiquitous · Wii · mobile learning · Augmented Reality · Mensch-Computer-Interaktion

Schlagworte

Überblick

Während beim Mobile oder auch Nomadic E-Learning (m-Learning) der Schwerpunkt auf der Verwendung von mobilen Computern (z. B. Laptop, Notebook, Mobiltelefon, Smartphone, Pocket-PC, PDA, iPod, iPad, Game Boy usw.) liegt, geht man beim Pervasive E-Learning (p-Learning) noch einen Schritt weiter: Hier steht das permanente, allgegenwärtige Lernen mit allen Arten zukünftig verfügbarer Technologien (Augmented Reality, Mobile Augmented Reality, Multitouchscreenwalls, iTV, Wii, WiiMote usw.) im Vordergrund, mit dem Zusatz, dass diese »so gut benutzbar« sind, dass deren Benutzung (Usability) gar kein Thema mehr ist, sondern die End-Benutzerinnen und End-Benutzer damit so selbstverständlich interagieren, als wäre es in unserer Welt »eingebettet«. Unter dem Begriff p-Learning werden somit auch alle Ansätze zusammengefasst, die mittels *neuer und zukünftiger Technologien* das sogenannte lebenslange Lernen (life long learning) unterstützen. Auch wenn der menschliche Lernprozess, also die genuine menschliche Informationsverarbeitung, damit weder ersetzt noch verändert werden können, so ergeben sich mögliche Vorteile im Bereich der Perzeption, Interaktion und Motivation, der allgegenwärtigen Verfügbarkeit von Information und der Möglichkeit Dinge zu tun, die sonst gar nicht möglich wären. Der Schlüssel, um solche Entwicklungen erfolgreich durchzuführen, sind daher stets Fragen der Effektivität und der Effizienz, die unter den Stichwörtern »Mehrwert« und »Nachhaltigkeit« zusammengefasst werden können. Um Fortschritte im Bereich p-Learning zu erreichen, ist es erforderlich, Erkenntnisse aus Psychologie/Pädagogik und Informatik zusammenfließen zu lassen und vor allem Forschung und Entwicklung nicht zu trennen. Der folgende Beitrag stellt den Begriff »pervasive E-Learning« dar, gibt einen kurzen Überblick über pervasive Technologien und zeigt exemplarisch einige Ansätze auf Mikroebene und welche didaktischen Settings hier angewandt werden können. Die beste und modernste Technologie ist nutzlos, wenn diese nicht in einem passenden didaktischen Setting eingesetzt wird.

1	Einführung und Motivation	2
2	Hintergrund Ubiquitous und Pervasive	3
2.1	Ubiquitous Computing-Metapher	4
2.2	Pervasive-Computing-Metapher	5
3	Pervasive-Computing-Technologien	6
3.1	Augmented Reality	6
3.2	Mobile Spielkonsolen	7
3.3	i-TV	7
3.4	Stationäre Spielkonsolen	7
4	Pervasive Learning Didaktik	8

5	Pervasive Learning Beispielprojekte	10
6	Fazit	10
7	Glossar	11
	Literaturhinweise	12

1 Einführung und Motivation

Es wird immer wieder gesagt, dass moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in Verbindung mit dem Einsatz sogenannter »Neuer Medien« das menschliche Lernen nachhaltig verändern. Hier muss man sehr vorsichtig sein. Was verändert wird, ist die Art und Weise der Zugänglichkeit und der Präsentation von Information. Aber Information darf nicht mit Wissen verwechselt werden und schon gar nicht mit Problemlösefähigkeit – dazu wird Intelligenz benötigt, und zwar menschliche Intelligenz.

Lernprozess Menschliches Lernen ist ein kognitiver *Prozess*, der von jedem Individuum selbsttätig durchlaufen werden muss (SKINNER 1954, GAGNE 1965, HOLZINGER 2000a). Lernen ist ein Prozess – kein Produkt. Daher ist Lernen auch so schwer – weil dafür ein kognitiver Aufwand erforderlich ist, es eben nicht als Produkt käuflich ist. Daher ist eine Bezeichnung wie »Kunden« für Lernende auch falsch. Daten und Information kann man kaufen – Wissen nicht. Menschliches Lernen ist eben viel mehr als lediglich Abspeichern von Information; Lernen enthält die gesamte Wahrnehmung der Umwelt, vor allem aber die Verknüpfung mit Vorwissen (Erfahrung) und die Fähigkeit zum aktiven und kreativen Problemlösen. Diese Tatsachen können nicht oft genug betont werden und führen unmittelbar zur Erkenntnis, dass der Nürnberger Trichter nicht existiert.

Nürnberger Trichter Die Idee des sogenannten Nürnberger Trichters meint eine Vorrichtung, mit der »Wissen« direkt in das Gedächtnis »eingefüllt« werden kann. Die Formulierung geht auf den Nürnberger Georg Philipp Harsdörffer (1653) zurück; darauf basiert die Redewendung »etwas eintrichtern« oder »etwas eingetrichtert bekommen« (OBERLE/WESSNER 1998). Allein schon die Formulierung »Wissen« übertragen (»Wissenstransfer«) ist strenggenommen falsch, denn es kann nur Information übertragen werden – das Wissen entsteht ja erst durch kognitive Verarbeitung in den Köpfen der Lernenden.

Vielleicht wird es den Nürnberger Trichter einmal geben (»Brain-Computer Interface«), aber bis dahin müssen Lernende die angebotene Information selbstständig verarbeiten (menschliche Informationsverarbeitung) und das ist eben mit Aufwand verbunden, auch wenn »Edutainment« das gerne anders sieht. Denken ist das wichtige (»Start thinking, Stop tagging«).

Lernen und Medien Den Umstand, dass »Medien das Lernen nicht ersetzen können« hat bereits CLARK (1994) in seinem treffend betiteltem Beitrag »*Media Will Never Influence Learning*« beschrieben, der seinerseits auf den Beiträgen von KOZMA (1993) und vor allem auf SALOMON (1984) aufbaut. CLARK fasst in seinem Beitrag zusammen, dass empirische Unterschiede beim Vergleich medialer Lernangebote vor allem auf die *Methode*, das sogenannte »treatment« zurückzuführen sind – *nicht* auf das Medium. Das technische Medium ist laut CLARK lediglich *Transportmittel* und – überspitzt formuliert – nahezu irrelevant für den eigentlichen Lernprozess. Aber auch andere Befunde der klassischen Lernforschung (vgl. z. B. ALESANDRINI 1984, WEIDENMANN 1994) zeigen, dass die kognitiven Pro-

zesse, die zum nachhaltigen Lernen erforderlich sind, vielmehr durch die Methode – vor allem durch die *Strukturierung des Inhalts* im jeweiligen medialen Angebot – beeinflusst werden.

Wo liegen dann die Chancen neuer, vielversprechender Technologien? Unsere großen Chancen beim Einsatz neuer Technologien zur Unterstützung des Lernens und Lehrens liegen zusammengefasst in drei großen Bereichen (HOLZINGER 1997, HOLZINGER/MAURER 1999, 2000a, 2000b, 2006b, HOLZINGER et al. 2008a, HOLZINGER et al. 2009a):

1. Sichtbarmachen von Vorgängen, die wir mit klassischen Medien (z. B. der grünen Tafel) einfach nicht darstellen können (wie z. B. interaktive Simulationen, Animationen, Visualisierungen, Virtual Reality, Augmented Reality usw.), rascher Zugriff auf relevante Information (unter Vermeidung irrelevanter Information) an jedem Ort zu jeder Zeit (learning on demand, genau dort wo die Information wirklich benötigt wird, z. B. im Feld, im Labor usw.) und vor allem
2. motivationale Effekte (motivation) und die Effekte der Aufmerksamkeit (attention), die für didaktische Zwecke sehr wertvoll sind und sehr wohl bewusst durch Technologie beeinflusst werden können (sowohl positiv als auch negativ).

**Chancen mit IT/
Informatik**

2 Hintergrund Ubiquitous und Pervasive

Zu den Begriffen: Ubiquitous (allgegenwärtig, von lat. *ubique* = überall) ist etwas, das praktisch überall vorhanden ist (*omnipresent*), wohingegen *pervasive* (durchdringend, von lat. *pervadere* = sich verbreiten) etwas ist, das praktisch überall als vorhanden empfunden wird. Deswegen werden die Worte *ubiquitous* und *pervasive* auch oft parallel oder synonym verwendet. Zwar sind die beiden Begriffe »ubiquitous« und »pervasive« in ihrer Bedeutung sehr ähnlich, haben aber einen unterschiedlichen Ursprung in der Informatik. Doch zunächst einige Grundlagen.

Dazu sollte stets erwähnt werden, dass die ersten Computer zur Lösung von Rechenaufgaben (Computing) entwickelt und verwendet wurden. Für die Spezialisten, die diese durchführten, stand die Lösung numerischer Aufgaben und nicht die Benutzung und Bedienung der Maschine im Mittelpunkt. Erst Schritt für Schritt, als das Potenzial der Computer zur Unterstützung und Automatisierung unterschiedlichster Anwendungsbereiche offensichtlich wurde, wurde die Benutzeroberfläche selbst zum Gegenstand des »Computing« und unabhängig von den ausgeführten Anwendungen. Die immer breitere Anwendung von Computern verlangte aber nun, dass immer mehr Nicht-Spezialisten den Computer nutzen konnten. Grafische Benutzer-Interfaces (Graphical User Interfaces, GUI), sind ein entscheidender Schritt, wie sich Computer an die Bedürfnisse und die Verstehenswelt der End-Benutzer anpassen können. Die zeichenbasierte Unabhängigkeit der Dialogsysteme wird weiter abstrahiert, weil auch andere als alphanumerische Zeichen für die Darstellung und den Dialog verwendet werden können. Grafische Elemente, die – analog zum alltäglichen Arbeiten – durch Zeigen, Nehmen, Verschieben, Ablegen manipuliert werden, stehen nun für abstrakte Befehle, die bisher über die Kommandozeile eingegeben wurden, zur Verfügung. Durch diese weitere Abstraktion wird der Dialog (die Interaktion)

Computer = Maschine

unabhängig von einer bestimmten Form von Zeichen und Kommandos der Maschinen- oder Kommandozeilenbefehle (FRIEDEWALD 2008).

WIMP – direct Manipulation

Die Entwicklung des Windows-Icons-Menu-Paradigmas (WIMP) bildete sich als Kern der sogenannten Desktop Metapher heraus, die nun eine *direkte Manipulation* von Objekten am Bildschirm erlaubte (SHNEIDERMAN 1983). Mechanismen wie »Point and Click« und »Drag&Drop« erlauben damit eine Arbeit am Bildschirm analog der Arbeit am klassischen Schreibtisch. Diese direkte Manipulation virtueller Objekte kommt den Bedürfnissen und den kognitiven Konzepten der Benutzer sehr entgegen und kann zu einer Reduktion der kognitiven Belastung (cognitive load) führen (SWELLER 1988). Die kognitive Belastung bei der Interaktion mit Computern niedrig zu halten, ist insbesondere bei Menschen mit geringer Computererfahrung, wie z. B. bei älteren Menschen, notwendig (HOLZINGER/SEARLE/NISCHELWITZER 2007) oder z. B. in komplexen Lernsituationen (HOLZINGER et al. 2009a).

Desktop-Metapher

Die Desktop-Metapher und ihre Standardkonstellation für die Ein-/Ausgabe (Bildschirm, Tastatur, Maus) ist die Basis für den Erfolg des PCs bis heute. Der Desktop erlaubt es, ohne technisches Detailwissen, seine Aufgaben am »Schreibtisch« zu ordnen und zu erledigen. GUI und Desktop werden damit zu stabilen und überdauernden Paradigmen der HCI, die zwar ständig erweitert und verbessert werden (z. B. durch Toolbars, Dialogboxen, adaptive Menüs usw.), aber vom Prinzip her konstant bleiben – eine Konstanz, die natürlich die Akzeptanz und Usability fördert und in sich schon ein wichtiges Prinzip der HCI unterstützt: die Reduktion der kognitiven Überlastung (HOLZINGER 2006a, HOLZINGER/KICKMEIER-RUST/ALBERT 2008b). Die Prinzipien des Interfaces bleiben für unterschiedlichste Anwendungen konstant, was die Benutzer kognitiv entlastet und die Lernbarkeit fördert.

2.1 Ubiquitous Computing-Metapher

Genau in der Kritik an dieser Desktop-Metapher liegt der Ursprung des ubiquitous computing. Während seiner Arbeiten am Xerox Palo Alto Research Center (PARC) prägte 1988 WEISER gemeinsam mit BROWN den Begriff »Ubiquitous Computing« oder kurz »UbiComp« (WEISER 1991).

Post-Desktop-Modell

Ziel war eine vollständige Integration der Informationstechnologie in unseren Alltag, weg von den in den 1980er-Jahren etablierten Personal Desktop-Computern hin zu einem Post-Desktop-Modell (WEISER 1993). WEISER (1952–1999) spricht von »im Alltag verschwindenden« Technologien:

»The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it« (WEISER 1991).

Nach seiner Vision wird der »Computer«, so wie wir ihn als Gerät kennen, durch verschwindende »intelligente« Gegenstände ersetzt werden. Anmerkung des Autors: Bitte Vorsicht im Umgang mit dem Begriff »intelligent« – ich behalte mir vor, diesen Begriff für menschliches, problemlösendes Verhalten zu verwenden und bevorzuge für »sophisticated Technology« den Begriff »smart« (CULLER/MULDER 2004).

Jedenfalls besteht die zentrale Idee von WEISER darin, dass Computer selbst nicht Gegenstand der menschlichen Aufmerksamkeit sein sollen, sondern dass Computer im Alltag »verschwinden« (disappearing computer) und die

Menschen bei ihren alltäglichen Tätigkeiten (unmerklich) unterstützen. WEISERS Verdienst liegt in der Vorstellung, dass eben nicht die Technologie im Vordergrund steht, sondern dass wir Technologie als solche gar nicht mehr wahrnehmen (= ubiquitär). Es ist ein interessantes Phänomen, dass, wo auch immer Menschen mit Dingen sehr gut umzugehen lernen, die Wahrnehmung der Technologie (als Hürde) abnimmt und sogar verschwindet.

Der Hintergrund dieses Phänomens des »Verschwindens« wurde von Forschern unterschiedlich beschrieben: Herbert Simon bezeichnete dieses Phänomen als *compiling*, Michael Polanyi sprach von einer *tacit dimension* und John Seely Brown nannte es *periphery* (WEISER 1991).

WEISER (1998, 1999) fasste zusammen: »... that only when things disappear ... are we freed to use them without thinking and so to focus beyond them on new goals«.

**Verschwindende
Technologie**

2.2 Pervasive-Computing-Metapher

Während ubiquitous computing idealistisch aus der eher akademischen Kritik an der Desktop-Metapher heraus entstand, hat das pervasive computing einen pragmatischeren Ursprung. Pervasive computing entstand aus einem strategischen Projekt der Firma IBM gegen Ende der 1990er-Jahre und wurde von Mark Bregman sehr treffend zusammengefasst:

»Pervasive computing is about enabling people to gain immediate access to information and services anywhere, anytime, without having to scrounge for a phone jack. However, while mobility and wireless technology are a big part of it, it's really about making e-business personal. Thanks to the explosive growth of the Internet, people will soon expect to be able to engage in electronic business effortlessly« (nach FRIEDEWALD 2008, S. 267).

Anders nämlich als bei WEISER war das Konzept des Pervasive Computing nicht mit einer Kritik am Personal Computer verbunden, sondern es wurde lediglich argumentiert, dass die Benutzer in die Lage versetzt werden, jederzeit und überall mit jedem beliebigen Endgerät (inklusive Personal Computer) auf ihre Daten zugreifen zu können (FRIEDEWALD 2008).

Das Konzept des »ubiquitous und pervasive Computing« basiert auf einer Verschmelzung von Netztechnologien und Computersystemen, z. B. die Verbindung von Mobiltelefon mit ortsfesten Computern über das Internet. Darüberhinaus können die Endgeräte auch sogenannte »intelligente Objekte« sein und miteinander kommunizieren. Dadurch wird ein Datenaustausch von Geräten untereinander möglich (TAYLOR ET AL. 2007): der Kühlschrank, der bei Entnahme der letzten Milchflasche selbsttätig frische Milch bestellt (JANZEN/XIANG 2003). Hemden (smart shirt) die einer Waschmaschine »mitteilen«, welches Waschprogramm für sie geeignet ist (PARK/JAYARAMAN 2003). Auch Chipkarten (Smart Cards) gehören zu solchen Computersystemen. Eine Chipkarte hat zwar nur die Größe einer Kreditkarte, auf der ein Mikroprozessorchip untergebracht ist. Aber trotz der geringen Fläche des Chips enthält er alle Komponenten, die ihn mit einem PC vergleichen lassen. Zu sogenannten Wegwerf-Computern zählen die Chips in Glückwunschkarten, Spielzeug usw.

3 Pervasive-Computing-Technologien

Betrachtet man die Kurzlebigkeit von Hardware und die Dynamik, mit der ständig technologische Verbesserungen gemacht werden, so überrascht es doch, dass das Basiswissen über den Aufbau von Computern über mehr als 50 Jahre alt ist – und noch immer gültig ist (HOLZINGER 2002). Der Aufbau fast aller heute verwendeten Computersysteme (vom kleinsten Mikrocomputer bis zum größten Großrechner) basiert auf den durch John von Neumann (1903–1957) im Jahr 1947 formulierten Prinzipien eines speicherprogrammierten Rechners. Heute ist der Von-Neumann-Rechner praktisch überall zu finden. Im Folgenden nur einige Beispiele aus der Vielzahl von verfügbaren Technologien.

Beispiele verfügbarer Technologien

Das klassische Beispiel für »ubiquitäre und pervasive Computer« sind heutige Mobiltelefone (nur im deutschsprachigen Raum als »Handys« bezeichnet). Hierbei wurde ursprünglich der Begriff *Smartphone* für Handys mit Java-Fähigkeit verwendet. Beim *iPod* handelt es sich ursprünglich um einen tragbaren MP3-Player, wobei es mittlerweile eine Vielzahl verschiedener Varianten gibt, die selbst Videos in den Formaten MPEG-4 und H.264 wiedergeben können. Ebenfalls gibt es eine Vielzahl an *Personal Digital Assistants (PDAs)*, die im Prinzip kleine tragbare Computer sind. Ursprünglich – und daher auch der Name digitaler Assistent – wurden die Anwendungen auf PDAs unter der Bezeichnung PIM (Personal Information Management) zusammengefasst und enthielten beispielsweise Adressbuch, Terminplaner, Kalender, Notizblock, Aufgabenplaner, E-Mail usw. In heutigen Geräten sind aber nicht nur weitere Anwendungen (Videoplayer, Officeprogramme usw.) vorhanden, sondern auch Kameras, Mikrofone und Mobiltelefone. Wir wollen uns im Nachfolgenden nur auf einen Ausschnitt der für p-Learning relevanten Technologien konzentrieren.

3.1 Augmented Reality

Realität und Virtualität verschmelzen miteinander

Bei der zu deutsch »erweiterten Realität« handelt es sich prinzipiell um die Überlagerung realer Sinneseindrücke durch künstlich bereitgestellte Informationen. Im Gegensatz zur virtuellen Realität (Virtual Reality, VR), bei der die Benutzer vollständig in eine virtuelle Computergrafik »eintauchen« können, werden in der Augmented Reality (AR) in Echtzeit erzeugte Grafiken so in das Sichtfeld der Benutzer (z. B. auf eine Brille) eingeblendet, dass diese auch bei Bewegung jederzeit wahrgenommen werden können: Realität und Virtualität verschmelzen miteinander. Der Begriff »Augmentation« geht auf Vannevar Bush und seinen Memory Expander (MEMEX) zurück (BUSH 1945) sowie in weiterer Folge auf Morton Heilig (Sensorama), Douglas Engelbart (oNLineSystem, NLS), Ted Nelson (XANADU) und Alan Kay (Dynabook). In der Augmented Reality werden zusätzlich zur kontextuellen Information auch aktuelle Informationen über die Position der Benutzer und die relative Position der Objekte in deren Umgebung benötigt. Insbesondere Mobile Augmented Reality (MAR)-Anwendungen haben großes Potenzial (BILLINGHURST/KATO 2002, CHRISTIAN et al. 2007, BEHRINGER et al. 2007).

3.2 Mobile Spielkonsolen

Der klassische Prototyp einer mobilen Spielkonsole (handheld video game device) ist der 1989 von der japanischen Firma Nintendo (www.nintendo.de) entwickelte Game Boy. Das Modell Nintendo DS (Dual Screen) verfügt über einen Touchscreen, ein eingebautes Mikrophon und einen WLAN-Adapter für Online-Multiplayer-Verbindungen. Die damit möglichen Game-Based-Learning-Konzepte sind sehr mächtige Konzepte (siehe unten).

Game Boy

3.3 i-TV

Spielkonsolen sind z. B. zu klein für ältere Menschen und die Akzeptanz ist auch nicht so groß, obwohl es Ausnahmen gibt. Womit aber alle älteren Menschen konfrontiert sind, ist ein Fernsehgerät. Hier ist die große Chance, interaktives Fernsehen für Lernzwecke zu nutzen.

Besondere Eignung
für Ältere

Als *i-TV* (interactive Television) wird Fernsehen bezeichnet, wobei es sich um eine auf digitalem TV basierende Variante handelt, die ein (interaktives) Eingreifen der Endbenutzer gestattet. Technisch ist die Voraussetzung für i-TV die Möglichkeit der digitalen Datenübertragung (Kabel-TV) und das Vorhandensein eines (ggf. breitbandigen) Rückkanals (Internet-Anschluss). Für den Empfang solcher digitalen Programme wird eine sogenannte Set-Top-Box benötigt, mit der die Zusatzinformationen aufbereitet werden. Die Navigation erfolgt über eine spezielle Fernbedienung und/oder eine i-TV-Tastatur. Als technische Plattform für interaktives Fernsehen ist die Multimedia Home Platform (MHP) des Digital Video Broadcast (DVB) Projekts in Europa Standard.

3.4 Stationäre Spielkonsolen

Prototypische Beispiele für stationäre Spielkonsolen (home video game consoles) sind die Playstation der Firma Sony, die Xbox 360 der Firma Microsoft und die Wii der Firma Nintendo. Bei letzterer besonders interessant ist das Steuergerät Wiimote (Wii remote control, (NINTENDO 2009)). Bei dieser wird mit Hilfe zweier Referenzpunkte in einer am TV-Gerät oben oder unten platzierbaren Sensorleiste die Position und Lage der Wiimote relativ zum Bildschirm ermittelt. Dadurch ist es möglich, Objekte auf dem Bildschirm direkt anzuvisieren. Die Präzision ist vergleichbar mit der eines Mauszeigers grafischer Benutzeroberflächen. Die Wiimote eignet sich nicht nur zum Spielen am TV, sondern insbesondere für E-Teaching (HOLZINGER et al. 2009b, 2010) und für viele andere Anwendungen (LEE 2008).

Die Wiimote enthält einen Beschleunigungssensor vom Typ ADXL330 der Firma Analog Devices. Es werden Beschleunigungen auf allen drei Bewegungsachsen (x, y und z) erkannt und, da ja die Schwerkraft als permanente Beschleunigung in negativer y-Richtung wirkt, kann der Sensor auch Drehungen um die z-Achse (Roll) und die x-Achse (Pitch) erkennen. Lediglich eine Drehung um die y-Achse kann nicht registriert werden, da sich dabei die Richtung der Schwerkraft in Bezug zur Wiimote nicht verändert (WINGRAVE et al. 2010). Damit man mit der Wiimote einen Zeiger auf dem Bildschirm besser steuern kann, hat Nintendo an der Stirnseite der Fernbedienung eine Infrarotkamera integriert. Sie wertet die Größe und Position von zwei Leucht-

Räumliche
Information

diodengruppen (LED) aus, die an den beiden Enden des Infrarotstabes leuchten. Ohne diese Positions-LEDs würde die Steuerung beim Gebrauch ständig drifteten – wenn ein fester Bezugspunkt fehlt. Die Einsatzreichweite beträgt ungefähr fünf Meter (bedingt durch die Infrarotsteuerung), bei Bluetooth-Betrieb ungefähr zehn Meter.

Haptische Rückmeldung Für zusätzliche haptische Rückmeldung an die Benutzer kann der Controller Vibrationseffekte erzeugen (Rumble Pak). Weiterhin verfügt die Wiimote über einen eingebauten Lautsprecher. Ein interner Speicher ermöglicht die Erfassung von Benutzerprofilen; dadurch können selbst erstellte Spielavatare (die sogenannten Mii's) gespeichert werden, um beispielsweise sein eigenes Mii von zuhause mit zu Freunden zu nehmen und dort damit spielen zu können.

Nunchuk Die Wiimote kann über einen Steckkontakt an der Unterseite erweitert werden, wie z. B. um einen sogenannten Nunchuk-Controller: ein Analog-Stick mit eigenem Bewegungssensor, ein Classic Controller (Gamepad), Wii MotionPlus (Aufstecksatz zur Verfeinerung der Bewegungs- und Lagebestimmung) und vieles mehr.

Balance Board Ein weiteres sehr interessantes Zusatzgerät ist das sogenannte Wii Balance Board, das mit der Spielserie Wii Fit weite Verbreitung erzielt. Dabei handelt es sich um eine Waage, die aus vier Sensoren besteht. Dadurch können Position und Verlagerungen des Körpergewichts per Bluetooth an die Konsole gesendet werden, um das Spiel haptisch zu beeinflussen.

Die Wii-Konsole selbst wurde für die Verbindung mit dem Internet konzipiert, wodurch sämtliche Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten ermöglicht werden. Die zukünftigen Einsatzmöglichkeiten für Lehren und Lernen sind sehr groß – vor allem sprechen wir hier über ein low-cost device (Wii-console EUR 180,-, WiiMote EUR 24,- Stand Mai 2010).

4 Pervasive Learning Didaktik

Besondere Herausforderungen und Möglichkeiten, die pervasive Technologien bieten, stellen nicht der bloße Einsatz bzw. die Bereitstellung dar, sondern insbesondere die Umsetzung psychologischer Lernmodelle und Motivationsmodelle mit Hilfe dieser Technologien sowie die Berücksichtigung von informations- und kommunikationstechnologischen Ansätzen zur optimalen Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen. Dies umfasst kognitive, lerntheoretische und didaktische Aspekte sowie Rücksicht auf persönliche, soziale und kulturelle Aspekte. Die technischen Möglichkeiten, die pervasive Technologien bieten, begünstigen die Anwendung eines konstruktivistischen Ansatzes (PAPERT/HAREL 1991). Das wohl wichtigste dabei ist, auf die jeweiligen Benutzergruppen Rücksicht zu nehmen und vor allem deren individuell verschiedenes Vorwissen, deren Kenntnisse, Fähigkeiten und den Kontext zu kennen (HOLZINGER/NISCHELWITZER 2005, HOLZINGER/NISCHELWITZER/MEISENBERGER 2005, HOLZINGER/MOTSCHNIK-PITRIK 2005).

Definition von Pervasive Learning Die Definition von Pervasive Learning selbst erfolgt am besten anhand eines Szenarios: Lernen nicht nur orts- und zeitunabhängig, wie im klassischen E-Learning oder M-Learning, sondern zusätzlich kontextbezogen. So können Lernende in authentische Situationen gebracht werden oder in realen Situationen zusätzliche interaktive Informationen erhalten (siehe Augmented

Reality). Dadurch können mächtige didaktische Ansätze voll zum Zug kommen. Im Folgenden nur exemplarisch einige ausgewählte Möglichkeiten.

Hier gibt es verschiedene ähnliche Begriffe, wie z. B. Situational Learning (SCHANK, 1993, KLEINBERGER/HOLZINGER/MÜLLER 2008), Situation Learning, Situated Learning, situiertes Lernen (BILLETT 1996, CHEN/KINSHUK/WANG 2007), Situated Cognition, situierte Kognition (SMITH/SEMIN 2004) oder sogar Context-Based Learning (BENNETT/LUBBEN/HOGARTH 2007).

Situation-Based Learning

Problem-basiertes Lernen (PBL), auch problemorientiertes Lernen oder Case-Based Learning genannt, ist ein zentraler Ansatz der konstruktivistischen Lerntheorie (NEWELL/SIMON 1972, KIM/KOLKO/GREER 2002) und wurde ursprünglich in der Medizin angewandt (BARROWS/TAMBLYN 1976). Zur Unterstützung des aktiven Problemlösungsprozesses können pervasive Technologien ideal verwendet werden, und dies nicht nur in der Medizin, sondern in praktisch allen Bereichen (siehe z. B. SAFRAN et al. 2009).

Problem-Based Learning

Als eine Vorstufe dazu kann das sogenannte Exploratory Learning gesehen werden, das nicht ein wahlloses Probieren oder »Surfen« ist, sondern ein zielgerichtetes, aber eigenständiges Problemlösen (BRUNER 1961, SCHANK/KASS 1996). Dies kann auch in Form von Co-Discovery Learning im Team oder in der Peer-Group erfolgen. Bei all diesen Ansätzen spielt natürlich auch der Kontext und die Situation eine Rolle – aus konstruktivistischer Sichtweise erfolgt alles Lernen mehr oder weniger situationsbezogen (BROWN/COLLINS/DUGUID 1989, BILLETT 1996).

Der Begriff Digital Game Based Learning geht auf PRENSKY (2001) zurück. Durch die Verbindung der mächtigen Konzepte »Aufmerksamkeit« und »Motivation« in Verbindung mit pervasiven Technologien hat Game-Based Learning (GBL) enorm großes Potenzial (JOINER ET AL. 2006, KICKMEIER-RUST et al. 2007). Experimentelle Befunde zeigen die Möglichkeiten dieses Ansatzes, auch in schwierigen »harten« Disziplinen (siehe z. B. EBNER/HOLZINGER 2007).

Game-Based Learning

Damit ein Lernobjekt einem lerntheoretisch adequaten Ansatz entspricht, muss es nicht nur Lerninhalte (content) und Metainformation (metadata) enthalten, sondern auch Vorwissensfragen (pre-knowledge questions) und Selbstevaluierungsfragen (self-evaluation questions). Gute Fragen sind zwar schwierig zu erstellen und erfordern vom Lehrenden einen hohen Aufwand, sichern aber die *Interaktion* der Lernenden, die für erfolgreiches Lernen notwendig ist (HOLZINGER 2000a, HOLZINGER/MOTSCHNIK-PITRIK 2005).

Metainformation

Das zentrale Ziel ist es, die Lerner zum Denken anzuregen. Dazu ist nichts besser geeignet als gute Fragen, wobei zwei Arten von Fragen wichtig sind: Vorwissensfragen und Selbstüberprüfungsfragen. Vorwissensfragen (pre-knowledge questions) haben die Funktion von advance organizers. Der Begriff *advance organizer* wurde von AUSUBEL (1960) geprägt. Dabei handelt es sich um einen instruktionspsychologischen Ansatz in Form einer »Vorstrukturierung«, die dem eigentlichen Lernmaterial vorangestellt wird. Allerdings driften die Forschungsbefunde auseinander: Die ältere Forschung betont, dass ein advance organizer nur dann wirksam wird, wenn dieser tatsächlich auf einem höheren Abstraktionsniveau als der Text selbst liegt, d. h. lediglich eine inhaltliche Zusammenfassung des nachfolgenden Textes ist noch keine Vorstrukturierung. Solche Vorstrukturierungen, die analog zu den Strukturen des Textes aufgebaut sind, bringen bessere Ergebnisse bei der inhaltlichen Zusammenfassung als solche, die zwar inhaltlich identisch, aber nicht in diesem Sinn analog aufgebaut sind. Andererseits hebt die jüngere Forschung

Fragen -> Denken

hervor, dass sich konkrete, d. h. weniger abstrakt formulierte Vorstrukturierung auf das Behalten längerer Inhalte positiv auswirkt. Sie aktivieren demnach das vorhandene Vorwissen und verbinden sich damit zu einer »reichhaltigen Vorstellung« – einem mentalen Modell (vgl. dazu AUSUBEL 1968, KRALM/BLANCHAER 1986, SHAPIRO 1999). Selbstevaluierung schließlich macht es für Lernende möglich, ihren Lernerfolg direkt zu messen (benchmarking) und zu vergleichen (BLOOM/HASTINGS/MADAUS 1971).

5 Pervasive Learning Beispielprojekte

Es gibt eine Fülle von Projekten zu dieser Thematik, im Folgenden sind nur einige exemplarisch und keinesfalls vollständig dargestellt.

- Projekt ARVIKA** Im vom BMBF geförderten Leitprojekt ARVIKA (www.arvika.de) wurde von Juli 1999 bis Juli 2003 in den Bereichen Augmented Reality zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service für komplexe technische Produkte und Anlagen geforscht und entwickelt. Für die AR-Anwendungen in ARVIKA wurden verschiedenste Ein- und Ausgabegeräte verwendet und ein skalierbares User-Interface-Konzept entwickelt, das alle erforderlichen Geräte vom Hand-Held-Display mit Touchscreen bis zum High-End-AR-System mit Head Mounted Display abdeckt (SCHMIDT et al. 2002).
- wearIT@work** Das Projekt wearIT@work war ein EU Projekt (www.wearitatwork.com) von Juni 2004 bis August 2008 unter der Federführung der Universität Bremen mit dem Ziel der Erforschung der Akzeptanz von tragbaren Lern- und Lehrsystemen in der industriellen Produktion, bei der Luftfahrzeugwartung, im Rettungsdienst und im Krankenhaus.
- MobiLearn** Das von der EU und dem NSF geförderte Projekt MobiLearn (www.mobilearn.org) erforschte von Juli 2002 bis März 2005 unter der Federführung der Giunti Labs Möglichkeiten und Szenarien von sogenannten »Next-generation paradigms and interfaces for technology supported learning in a mobile environment exploring the potential of ambient intelligence«.
- Kaleidoscope** Das EU Network of Excellence (NoE) Projekt Kaleidoscope (www.noe-kaleidoscope.org) arbeitete von Jänner 2004 bis Dezember 2007 unter der Federführung der France Innovation Scientifique et Transfert, um neue Konzepte und Methoden zur Erforschung zukünftigen Lernens mit digitalen Technologien zu finden.

6 Fazit

Alle Beispiele zeigen, dass noch enorm viel Forschungsarbeit in Bezug auf Design, Entwicklung und didaktischem Einsatz von Lernobjekten durchgeführt werden muss. Dabei ist es unerlässlich, Erkenntnisse aus Psychologie/Pädagogik und Informatik zusammenfließen zu lassen. Aber: So spannend auch immer Forschung mit neuen Technologien ist, und was auch immer gemacht wird, es muss uns stets klar sein: Lernen ist ein kognitiver Grundprozess, den jedes Individuum selbst durchlaufen muss – Technologie kann menschliches Lernen lediglich unterstützen – nicht ersetzen. Wichtig ist es auch, den gesamten Bildungsprozess inklusive der durch die neuen Medien entstehende Lehr-Lern-Kultur zu erforschen. Leider erfolgen Evalua-

tionen meistens nur im Labor oder in artifiziiell gestalteten Kurzzeitumgebungen in Kleinstgruppen. Was fehlt, sind longitudinale Analysen über eine große Anzahl von Lernenden. Vor allem aber muss man sich vom »Kundengedanken« loslösen. Bildung, Wissen, Lernstoff ist keine Ware, die man kaufen kann – was wir kaufen können sind nur Daten und Information. Die Analyse solcher Aspekte in und außerhalb von Bildungsinstitutionen sollte dabei stets im Verbund auf drei Ebenen erfolgen (BRONFENBRENNER 1977):

- Makroebene (Bildungssysteme und ihre Rahmenbedingungen),
- Mesoebene (Wirkung und Vergleich institutioneller Bedingungen) und auf der
- Mikroebene (Erforschung technologiegestützter Bildungs- und Lernprozesse).

Dabei sind sowohl Fragen der Effektivität (Ausmaß der Zielerreichung) und der Effizienz (Kosten-Nutzen-Relation) notwendig, die unter dem Stichwort »Mehrwerte« zusammengefasst werden können. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Psychologie/Pädagogik und Informatik liefert die notwendigen Erkenntnisse, aber verändert werden muss in der Entwicklung, daher dürfen Forschung und Entwicklung auch nicht getrennt betrachtet werden.

7 Glossar

E-Education:	alle Formen von elektronischen bzw. elektronisch gestützten Bildungsangeboten für praktisch alle Zielgruppen in allen Bildungsebenen (Primar-, Sekundar- und Tertiärbereich)
E-Learning:	alle Formen elektronisch unterstützten Lernens; da heute praktisch nur Von-Neumann-Maschinen verwendet werden, ist auch die Bezeichnung »digital« zutreffend
GUI:	Graphical User Interface (grafische Benutzeroberfläche)
HCI:	Human-Computer Interaction (Mensch-Computer Interaktion)
IKT:	Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT, EU-Jargon)
IT:	Informationstechnologie
i-TV:	interactive Television (interaktives Fernsehen)
PBL:	Problem-Based Learning (problembasiertes Lernen, fallbasiertes Lernen)
PDA:	Personal Digital Assistant
Pervasive:	aus lat. pervadere = durchdringen, durchdringend
p-Learning:	pervasive E-Learning
SCeL:	Student Centered e-Learning
SCL:	Student Centered Learning
Ubiquitous:	aus lat. ubique = überall, allgegenwärtig
u-Learning:	ubiquitous E-Learning

Literaturhinweise

- ALESANDRINI, K. L.: Pictures and adult learning. *Instructional Science*, 13, 1, 1984, pp. 63–77.
- BARROWS, H. S./TAMBLYN, R. M.: An evaluation of problem-based learning in small groups utilizing a simulated patient. *Journal of Medical Education*, 51, 1976, pp. 52–54.
- BEHRINGER, R./CHRISTIAN, J./HOLZINGER, A./WILKINSON, S.: Some Usability Issues of Augmented and Mixed Reality for e-Health Applications in the Medical Domain HCI and Usability for Medicine and Health Care. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4799)*. Berlin, Heidelberg, New York 2007, pp. 255–266.
- BENNETT, J./LUBBEN, F./HOGARTH, S.: Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91, 3, 2007, pp. 347–370.
- BILLET, S.: Situated learning: bridging sociocultural and cognitive theorising. *Learning and Instruction*, 6, 3, 1996, pp. 263–280.
- BILLINGHURST, M./KATO, H.: Collaborative augmented reality *Communications of the ACM* 45, 7, 2002, pp. 64–70.
- BRONFENBRENNER, U.: Toward an Experimental Ecology of Human-Development. *American Psychologist*, 32, 7, 1977, pp. 513–531.
- BROWN, J./COLLINS, A./DUGUID, P.: Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 1, 1989, pp. 32–42.
- BRUNER, J. S.: The Act of Discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 1961, pp. 21–32.
- BUSH, V.: As We May Think. *Atlantic Monthly*, 176, 1, 1945, pp. 101–108.
- CHEN, N. S./KINSHUK/WANG, Y. H.: Cyber schooling framework: Improving mobility and situated learning. *International Journal of Engineering Education*, 23, 3, 2007, pp. 421–433.
- CHRISTIAN, J./KRIEGER, H./HOLZINGER, A./BEHRINGER, R.: Virtual and mixed reality interface for e-training: examples of applications in ultralight/light sport aircraft maintenance. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4556)*. Berlin, Heidelberg, New York 2007, pp. 520–529.
- CLARK, R. E.: Media will never influence Learning. *Educational Technology, Research and Development*, 42, 2, 1994, pp. 21–29.
- CULLER, D. E./MULDER, H.: Smart sensors to network the world. *Scientific American*, 290, 6, 2004, pp. 84–91.
- EBNER, M./HOLZINGER, A.: Successful Implementation of User-Centered Game Based Learning in Higher Education – an Example from Civil Engineering. *Computers & Education*, 49, 3, 2007, pp. 873–890.

- FRIEDEWALD, M.: Ubiquitous Computing: Ein neues Konzept der Mensch-Computer Interaktion und seine Folgen. In: HELLIGE, H.-D. (Ed.) Mensch-Computer-Interface: Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung. Bielefeld 2008, S. 259–277.
- GAGNE, R. M.: The Conditions of Learning. New York 1965.
- HOLZINGER, A.: Computer-aided Mathematics Instruction with Mathematica 3.0. *Mathematica in Education and Research*, 6, 4, 1997, pp. 37–40.
- HOLZINGER, A.: Basiswissen Multimedia Band 2: Lernen. Kognitive Grundlagen multimedialer Informations Systeme (www.basiswissen-multimedia.at). Würzburg 2006a.
- HOLZINGER, A.: Effektivität von Multimedia – Motivation, Aufmerksamkeit und Arousal. *GMW FORUM, Zeitschrift der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft*, 1, 00, 2000b, S. 10–13.
- HOLZINGER, A.: Basiswissen IT/Informatik: Band 1 Informationstechnik (IT). Das Basiswissen für die Informationsgesellschaft des 21. Jahrhunderts (www.basiswissen-it.at). Würzburg 2002.
- HOLZINGER, A.: E-Learning Erfolgsfaktor Usability. In: ZECHNER, A. (Ed.) *E-Austria Guide: e-Government, e-Learning, e-Health, e-Business*. Wien 2006a, S. 112–117.
- HOLZINGER, A.: Pervasive e-Education: Zukünftige Ansätze technologiegestützten Lernens. In: HÜFFEL, C./REITER, A. (Eds.) *Praxisguide für New Media*. Wien 2006b, S. 327–342.
- HOLZINGER, A./EMBERGER, W./WASSTHEURER, S./NEAL, L.: Design, Development and Evaluation of Online Interactive Simulation Software for Learning Human Genetics. *Elektrotechnik & Informationstechnik (e&i)*, 125, 5, 2008a, pp. 190–196.
- HOLZINGER, A./KICKMEIER-RUST, M./ALBERT, D.: Dynamic Media in Computer Science Education; Content Complexity and Learning Performance: Is Less More? *Educational Technology & Society*, 11, 1, 2008b, pp. 279–290.
- HOLZINGER, A./KICKMEIER-RUST, M. D./WASSTHEURER, S./HESSINGER, M.: Learning performance with interactive simulations in medical education: Lessons learned from results of learning complex physiological models with the HAEMOdynamics SIMulator. *Computers & Education*, 52, 2, 2009a, pp. 292–301.
- HOLZINGER, A./MAURER, H. (1999). Incidental learning, motivation and the Tamagotchi Effect: VR-Friends, chances for new ways of learning with computers. *Computer Assisted Learning, CAL 99*, London, Elsevier, 70.
- HOLZINGER, A./MOTSCHNIK-PITRIK, R.: Considering the Human in Multimedia: Learner-Centered Design (LCD) & Person-Centered e-Learning (PCeL). In: MITTERMEIR, R. T. (Ed.) *Innovative Concepts for Teaching Informatics*. Vienna 2005, pp. 102–112.

- HOLZINGER, A./NISCHELWITZER, A.: Chameleon Learning Objects: Quasi-Intelligente doppelt adaptierende Lernobjekte: Vom Technologiemo­dell zum Lernmodell. OCG Journal, 30, 4, 2005, S. 4–6.
- HOLZINGER, A./NISCHELWITZER, A./MEISENBERGER, M.: Lifelong-Learning Support by M-learning: Example Scenarios. ACM eLearn Magazine, 5, 2005.
- HOLZINGER, A./SEARLE, G./NISCHELWITZER, A.: On some Aspects of Improving Mobile Applications for the Elderly. In: STEPHANIDIS, C. (Ed.) Coping with Diversity in Universal Access, Research and Development Methods in Universal Access, Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4554). Berlin, Heidelberg, New York 2007, pp. 923–932.
- HOLZINGER, A./SOFTIC, S./STICKEL, C./EBNER, M./DEBEVC, M.: Intuitive E-Teaching by Using Combined HCI Devices: Experiences with Wiimote Applications. In: STEPHANIDIS, C. (Ed.) Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services, Lecture Notes in Computer Science LNCS 5616. Berlin, Heidelberg, New York 2009b, pp. 44–52.
- HOLZINGER, A./SOFTIC, S./STICKEL, C./EBNER, M./DEBEVC, M./HU, B.: Nintendo Wii Remote Controller in Higher Education: Development and Evaluation of a Demonstrator Kit for e-Teaching. Computing & Informatics, in print (2010).
- JANZEN, M./XIANG, Y.: Probabilistic reasoning for meal planning in intelligent fridges. In: XIANG, Y./CHAIBDRAA, B. (Eds.) Advances in Artificial Intelligence, Proceedings. Berlin 2003, pp. 575–582.
- JOINER, R./NETHERCOTT, J./HULL, R./REID, J.: Designing educational experiences using ubiquitous technology. Computers in Human Behavior, 22, 1, 2006, pp. 67–76.
- KICKMEIER-RUST, M. D./PEIRCE, N./CONLAN, O./SCHWARZ, D./VERPOORTEN, D./ALBERT, D.: Immersive Digital Games: The Interfaces for Next-Generation E-Learning? In: STEPHANIDIS, C. (Ed.) Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services (Lecture Notes in Computer Science 4556). Heidelberg, Berlin, New York 2007, pp. 647–656.
- KIM, S./KOLKO, B. E./GREER, T. H.: Web-based problem solving learning: third-year medical students' participation in end-of-life care Virtual Clinic. Computers in Human Behavior, 18, 6, 2002, pp. 761–772.
- KLEINBERGER, T./HOLZINGER, A./MÜLLER, P.: Adaptive multimedia presentations enabling universal access in technology enhanced situational learning. Universal Access in the Information Society, 7, 4, 2008, pp. 223–245.
- KOZMA, R. B.: Will Media Influence Learning: Reframing the Debate. Educational Technology Research and Development, 42, 2, 1993, pp. 7–19.
- LEE, J. C.: Hacking the Nintendo Wii Remote. IEEE Pervasive Computing, 7, 3, 2008, pp. 39–45.
- NEWELL, A./SIMON, H. A.: Human Problem Solving. Englewood Cliffs (NJ) 1972.

- NINTENDO: Wii Gaming Console. Online available: <http://www.nintendo.com/wii>, last access: 2009-01-25
- OBERLE, T./WESSNER, M.: Der Nürnberger Trichter – Computer machen Lernen leicht!? Alsbach 1998.
- PAPERT, S./HAREL, I.: Constructionism. Norwood (NJ) 1991.
- PARK, S./JAYARAMAN, S.: Smart textiles: Wearable electronic systems. *Mrs Bulletin*, 28, 8, 2003, pp. 585–591.
- PRENSKY, M.: Digital game-based Learning. New York 2001.
- SAFRAN, C./EBENER, M./KAPPE, F./HOLZINGER, A.: m-Learning in the Field: A Mobile Geospatial Wiki as an example for Geo-Tagging in Civil Engineering Education. In: EBNER, M./SCHIEFNER, M. (Eds.) Looking Toward the Future of Technology-Enhanced Education: Ubiquitous Learning and the Digital Native. New York 2009, pp. 444–454.
- SALOMON, G.: Television is »easy« and print is »tough«. *Journal of Educational Psychology*, 76, 1984, pp. 647–658.
- SCHANK, R./KASS, A.: A goal-based scenario for high school students. *Communications of the ACM*, 39, 4, 1996, pp. 28–29.
- SCHANK, R. C.: Goal-Based Scenarios: A radical look at education. *The Journal of the Learning Sciences*, 3, 1993, pp. 429–453.
- SCHMIDT, L./OEHME, O./WIEDENMAIER, S./BEU, A./QUAET-FASLEM, P.: Usability Engineering für Benutzer-Interaktionskonzepte von Augmented-Reality-Systemen it + ti – Informationstechnik und Technische Informatik, 44, 1, 2002, S. 31–39.
- SHNEIDERMAN, B.: Direct manipulation: A step beyond programming languages. *IEEE Computer*, 16, 8, 1983, pp. 57–69.
- SKINNER, B. F.: The Science of Learning and the Art of Teaching. *Harvard Educational Review*, 24, 2, 1954, pp. 86–97.
- SMITH, E. R./SEMIN, G. R.: Socially situated cognition: Cognition in its social context. *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 36. San Diego 2004, 53–117.
- SWELLER, J.: Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 2, 1988, pp. 257–285.
- TAYLOR, A. S./HARPER, R./SWAN, L./IZADI, S./SELLEN, A./PERRY, M.: Homes that make us smart. *Personal and Ubiquitous Computing*, 11, 5, 2007, pp. 383–393.
- WEIDENMANN, B.: Psychologie des Lernens mit Medien. In: WEIDENMANN, B./KRAPP, A. (Eds.) *Pädagogische Psychologie*. Weinheim 1994, S. 495–554.
- WEISER, M.: The computer for the twenty-first century. *Scientific American*, 265, 3, 1991, pp. 94–104.

- WEISER, M.: Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, 36, 7, 1993, pp. 75–84.
- WEISER, M.: The future of ubiquitous computing on campus. *Communications of the ACM*, 41, 1, 1998, pp. 41–42.
- WEISER, M.: The computer for the 21st century. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications*, 3, 3, 1999, pp. 3–11.
- WINGRAVE, C. A./WILLIAMSON, B./VARCHOLIK, P. D./ROSE, J./MILLER, A./CHARBONNEAU, E./BOTT, J./LAVIOLA, J. J./SCHANK: The Wiimote and Beyond: Spatially Convenient Devices for 3D User Interfaces. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 30, 2, 2010, pp. 71–85.