

Augmented Reality – Multimediale Lernumgebung der Wahl im 21. Jahrhundert

Jörg Zumbach
Stephanie Moser
Universität Salzburg

Lebenslanges Lernen ist zu einem essentiellen Bestandteil unserer Wissens- und Informationsgesellschaft geworden. Niemand kann sich alleine auf die Inhalte unserer formalen Bildung reduzieren, sondern muss sich stetig weiterqualifizieren und fortbilden, um den Ansprüchen des beruflichen wie auch des privaten Alltags gerecht werden zu können (vgl. Koper 2004; Zumbach 2010).

Koper (2004; vgl. auch Howell/Williams/Lindsay 2003) identifiziert hier insbesondere drei Dimensionen, welche konkrete Reformen und Anpassungen unseres bisherigen Bildungssystems erforderlich machen: (1) Gesellschaftlicher Wandel und daraus resultierende Anforderungen, (2) Veränderungen von Lehr-Lernprozessen und (3) Veränderungen in Bildungsinstitutionen. Obgleich diese drei Dimensionen nicht als disjunkt angesehen werden können, so zeigen sie dennoch Umbruch im Bildungssektor auf. Der gesellschaftliche Wandel hin zu einer Informationsgesellschaft bewirkt etwa, dass die Übergänge zwischen den Bildungsinstitutionen (z.B. zwischen Schule und Hochschule) immer weicher werden oder aufgrund der rapide abnehmenden Halbwertszeit von Wissen ein lebenslanges Lernen unabdingbar wird. Lehr- und Lernprozesse verändern sich ebenso, z.B. dass die Lernerorientierung und der nachhaltige Kompetenzerwerb immer weiter in den Vordergrund rückt. Aber auch die Nutzung von Bildungstechnologien spielt hier eine immer größer werdende Rolle, auch wenn zurzeit dieser Einzug in die formale Bildung eher schleichend vonstattengeht. Auf institutioneller Ebene findet nach und nach eine Dezentralisierung von Bildung in verschiedensten Bereichen statt, etwa auch weg von staatlich dominierten Bildungsinstanzen hin zu kommerziellen privaten Dienstleistungsanbietern.

Diese Entwicklungen sind nicht immer positiv zu bewerten. So ist etwa die zunehmende Kommerzialisierung von Bildung ein Problem dahingehend, dass etwa die Chancengleichheit auf Bildung für Personen mit einem niedrigeren sozioökonomischen Status vermindert wird. Dies ist ohnehin schon ein Problem, wie aus rezenten Berichten der OECD ersichtlich wird (z.B. OECD, 2009). Aus diesen Überlegungen heraus gilt es Ansätze und Lösungen zu finden, wie man diesem Wandel begegnen kann, ohne etwaige „Gewinner“ oder „Verlierer“ von Bildungsumstrukturierungen zu küren. Eine tragende Rolle können hier verschiedene Mediatoren liefern, zu denen etwa professionell agierende Lehrende als auch der vermehrte Einsatz von Bildungstechnologien zählen dürften.

Für Lehrende in formalen Bildungsinstitutionen heißt dies in der Konsequenz, verschiedene Kompetenzen des selbstgesteuerten Lernens aufzubauen und zu fördern und gleichzeitig die Chancengleichheit in der formalen Bildung zu wahren. Eine bedeutende Rolle spielen dabei Entwicklung und Einsatz von flexiblen und innovativen Lernszenarien, auch über den Schulalltag hinaus. Der rapide technologische Fortschritt schafft dabei die Voraussetzungen für immer neue Formen der Wissensvermittlung. Die Technologie selbst hierzu wird durch die Massenproduktion auch immer zugänglicher auch für Haushalte mit niedrigeren Einkommensverhältnissen. Ein Trend, der hier besonders interessant zu sein scheint ist etwa das „Aufbrechen“ traditioneller Lernräume durch eine immer stärkere Vernetzung von natürlicher Umwelt und pädagogisch-arrangierter Umwelt (vgl. Zumbach/Bachleitner 2007). Mobile Lernorte beispielsweise können selbstständiges sowie zeit- und ortonabhängiges Lernen stark vereinfachen. Ein vielversprechendes Konzept bieten etwa Lernumgebungen in Form von *Augmented Reality* (AR). Hierbei werden Informationen aus der realen Umgebung von Lernenden auf einem Bildschirm oder einem Display mit zusätzlichen virtuellen Informationen überlagert. Dieser Artikel untersucht genauer die Möglichkeiten, die AR für selbstständiges, experimentelles Lernen bietet und beleuchtet Einsatzmöglichkeiten für den

Unterricht in Schule und Hochschule. Zunächst soll der Ansatz des selbstgesteuerten, experimentellen Lernens genauer vorgestellt werden. Darauf folgen eine Beschreibung der AR-Technologie und Gestaltungsrichtlinien für AR-Lernumgebungen. Anschließend werden Einsatzgebiete und Relevanz von AR für die Lehr-Lernforschung diskutiert sowie bereits existierende Beispiele genauer vorgestellt. Schließlich folgen ein Ausblick sowie ein kurzes Fazit auch im Hinblick auf Chancen aber auch mögliche Problemfelder dieser vielversprechenden Technologie.

1. Selbstgesteuertes, exploratives Lernen (Überschrift 2)

Selbstgesteuertes Lernen ist wie eingangs skizziert eine wesentliche Schlüsselkompetenz in unserer Wissens- und Informationsgesellschaft und wird immer mehr an Bedeutung gewinnen. Diese Form des Lernens umfasst eine Vielzahl an Methoden und Fertigkeiten und involviert neben kognitiven vor allen Dingen auch motivationale Prozesse (vgl. Pekrun/Schiefele 2006). Die Selbstbestimmtheit des Lernens erfährt hier allerdings nicht die volle Freiheit, da gewisse Parameter hinsichtlich dessen festgelegt sein können, was gelernt werden soll oder muss, etwa durch institutionelle oder alltägliche Anforderungen. Dies widerspricht in gewissem Maße der Ansicht von Forneck (2002, S. 247), der folgert „Selbstgesteuertes Lernen stellt sich (...) als eine Entprofessionalisierungsstrategie, genauer, als ein rückgängig machen bisheriger Modernisierungsprozesse in der Erwachsenenbildung dar“. Genauer betrachtet handelt es sich beim selbstgesteuerten Lernen aber tatsächlich weniger um eine solche „Entprofessionalisierung“, sondern wohl eher um eine professionelle Umstrukturierung von Lehr-Lernprozessen weg von eher gegenstandszentrierten Lernumgebungen hin zu lernerzentriertem Handeln (vgl. Reinmann-Rothmeier/Mandl 2006) in einem ggf. auch institutionalisierten Kontext. Betrachtet man die Ursachen bzw. den Zweck des selbstgesteuerten Lernens, so kann man grob drei Bereiche identifizieren (in Anlehnung an Salomon 1972, zit. n. Leutner 2002): Setzt man diese Form des Lernens ein um etwa ein höheres Maß an Kompetenzen zu erreichen (etwa verglichen mit anderen Lernenden etwa in einer Klasse oder auch am Arbeitsplatz), so kann man von einem *Fördermodell* ausgehen. Werden Phasen selbstgesteuerten Lernens darauf verwendet, etwaige Defizite aufzuarbeiten (etwa um Lernziele zu erreichen, die bei einer sozialen Vergleichsgruppe schon erreicht sind, z.B. in einer Schulklasse), so kann man von einem *Kompensationsmodell* ausgehen. Eine dritte Form liegt vor, wenn individuelle Interessen weiter verfolgt werden, welche nach und nach aufgearbeitet werden. Hier kann man von einem *Präferenzmodell* ausgehen, welches in erster Linie intrinsisch motiviert ist.

Allen diesen Modelle gemeinsam ist es, dass es sich um Prozesse handelt, welche in erster Linie darauf fokussiert sind, die Kompetenzen der Lernenden auszubilden und zu fördern (zum Kompetenzbegriff vgl. Weinert 2001). Aus professioneller instruktionspsychologischer Sicht muss es ein zentrales Anliegen sein, diese unterschiedlichen Modelle des selbstgesteuerten Lernens zu unterstützen, indem entsprechende Handlungsmodelle und -maßnahmen zur Verfügung gestellt werden. Dies betrifft neben den Lernmethoden auch etwa die Gestaltung übergreifender Lernumgebungen, innerhalb dessen das selbstgesteuerte Vorgehen nur ein Teil ist (z.B. in institutionalisierten Kontexten wie etwa der Schule oder der Hochschule).

Auch die entsprechende mediendidaktische Anpassung muss dabei erfolgen, indem etwa gezielt die Fertigkeiten zur Entschlüsselung von Symbolsystemen, die in unterschiedlichen Medien repräsentiert sind, vermittelt werden. So muss bei externen Repräsentationen, die etwa am Computer dargestellt werden (z.B. dynamische Datendiagramme), zunächst das zugrunde Symbolsystem entschlüsselt werden, bevor man mit den neuen Informationen überhaupt erst etwas anfangen kann (vgl. Ainsworth/van Labeke 2004; van der Meij/ de Jong 2006). Bei mangelndem Vorwissen kann die Übersetzung zwischen unterschiedlichen Repräsentationsformen nicht oder nur unzureichend durchgeführt werden (vgl. Bodemer et al. 2004; Kozma 2003). Gerade beim explorativen Lernen müssen solche Kompetenzen vorhanden sein, bzw. entsprechend entwickelt werden, damit selbstgesteuerte Lernende überhaupt erfolgreich sein können. Weidenmanns (2001) Modell der Komponenten der pädagogischen Situation folgend, erfordert die Gestaltung solcher

selbstgesteuerter, explorativer Lernumgebung eine Berücksichtigung aller Dimensionen, welche Einfluss auf Lehren und Lernen nehmen sowie deren Interaktion. Dazu zählen als zentrale Instanzen der Lernende und dessen Eigenschaften (z.B. Vorwissen, Intelligenz, Motivation), die Merkmale der Lehrenden/Erziehenden (Motivation, Engagement, didaktische Kompetenzen etc.), die natürliche Umwelt (soziodemographische Umgebung, Kultur oder auch geographische Verortung etc.), der Einfluss von Medien (z.B. Lehrbücher, digitale Medien) und die pädagogisch-arrangierte Umwelt (z.B. welche Form des Unterrichts wird gewählt oder welche Methoden stehen zur Verfügung). Gerade hinsichtlich der Nutzung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien ist und wird die sorgfältige Analyse dieser Aspekte und den daraus abgeleiteten Maßnahmen ein wesentlicher Prädiktor dafür sein, ob eine didaktisch inszenierte Lernumgebung zum selbstgesteuerten, explorativen Lernen erfolgreich sein kann (vgl. zur Mediennutzung auch Röll 2009).

Zusammengefasst zeigen diese Überlegungen, dass selbstgesteuertes Lernen, insbesondere in formalisierten Bildungskontexten eine professionelle Planung verschiedenster Parameter erforderlich macht, um Lernende sowohl motivational als auch hinsichtlich ihrer kognitiven Fertigkeiten entsprechend zu unterstützen und weder zu unter- noch zu überfordern. Wie dies in naher oder mittlerer Zukunft mit Hilfe technologischer Unterstützung erfolgen kann oder wird, soll in den folgenden Abschnitten näher thematisiert werden. Hier steht insbesondere das o.a. Fördermodell im Vordergrund, bei dem überlegt werden soll, wie man mithilfe erweiterter Realität zusätzliche Lerngelegenheiten bieten kann.

2. AR – Was ist das und welche Vorteile bringt diese Technologie? (Überschrift 2)

Neue Medien und neue Technologien haben entscheidende Auswirkungen auf verschiedenste Bereiche unseres Lebens, nicht zuletzt auch auf den Bildungssektor. Lernende wollen heutzutage überall in unterschiedlichsten Situationen schnell über aktuell relevante Informationen verfügen können. Der zunehmend einfache Zugang zu neuen Technologien trägt diesen Anforderungen in verstärktem Maße Rechnung und erleichtert den beständigen Zugriff auf die benötigten Informationen immens. Waren früher Lernort sowie Lernzeit oftmals vordefiniert und vom Lehrenden abhängig, sind auch durch den Einsatz von Computern, Internet und mobilen Geräten, Lernort und –zeit mittlerweile immer beliebiger und das Lernen wird immer mehr vom Lerner selbst bestimmt (vgl. Weidenmann 2001). Neue Medien können somit selbstständiges und unmittelbares Lernen fördern, z.B. um kurzfristig Probleme zu lösen oder aktuell anstehende Aufgaben zu bewältigen (Zumbach, 2010). Die Herausforderung besteht nun darin, diese neuen Technologien auf eine Art und Weise anzuwenden, die sowohl zu erfolgreichem Lernen führt als auch gleichzeitig für den Lerner herausfordernd und motivierend ist. Flexible Lernumgebungen, die überall und schnell einsetzbar sind, erweisen sich hier von Vorteil. Mobile mediale Lernorte bieten unter dem Begriff „Ubiquitous Computing“ beständigen Zugriff auf Informationen. Lernende können dabei eigenständig zu jeder Zeit für sie aktuell wichtige Informationen abrufen. Mobiles Internet und/oder Technologien wie beispielsweise PDAs, Smartphones oder Tablets machen dies zusammen mit entsprechend didaktisch aufbereiteten Lernumgebungen möglich. SchülerInnen können so etwa bei explorativem Lernen im Schulgarten durch PDAs unterstützt werden, indem sie Informationen über Pflanzen und deren Bedürfnisse direkt vor Ort erhalten (Haider et al. 2010). Durch Ubiquitous-Computing-Technologien werden Lernumgebungen immer stärker personalisiert und selbstständiges Lernen vereinfacht.

Eine weitere Entwicklung in diesem Bereich sind so genannte *Augmented Reality* (AR) Lernumgebungen, also Lernumgebungen mit angereicherter oder erweiterter Realität. Sie schließen die Lücke zwischen realer und virtueller Welt indem sie die vom Lerner wahrgenommene natürliche Umgebung mithilfe eines Head-mounted-displays - einer Spezial-Brille – oder auf einem (mobilen) Display mit computergenerierten Daten erweitern. Die Informationen, die der User beispielsweise mit einer Handykamera einfängt, werden mit gespeicherten virtuellen Informationen auf dem Display ergänzt. Multimediale Darstellungsformen wie Bilder, Texte, Videos, Animationen und 3D-

Objekte können kombiniert und via digitaler Darstellung auf dem Display oder Bildschirm in die wirkliche Umgebung integriert werden. Virtuelle Elemente erweitern so auf vielfältige Weise die reale Umwelt und bereichern sie mit zusätzlichen auditiven und/oder visuellen Informationen an. Die Grenzen zwischen natürlicher und künstlicher Umgebung werden somit stark aufgeweicht. Durch AR wird Lernern selbstgesteuertes und aktives Lernen durch eine gleichzeitige Interaktion mit realer und virtueller Welt in ganz neuer Art und Weise geboten. Neuere Handy-Generationen verfügen zumeist standardmäßig über eine Kamera und Standort-Informationen. In Verbindung mit Cloud-Sevices und schnell und einfach zu installierenden Applikationen (Apps) können AR-Anwendungen unkompliziert auf mobilen Geräten installiert werden.

Häufig sind solche neue technologische Errungenschaften bereits im privaten Bereich im alltäglichen Einsatz, bevor im Bildungsbereich davon Gebrauch gemacht wird. AR stellt hier keine Ausnahme dar: oftmals genutzte einfachere Applikationen sind zumeist Spiele oder Helfer für Alltag und Freizeit. Die Spielekonsole Nintendo 3DS™ beispielsweise bietet ihren Nutzern verschiedene Anwendungen an. Dazu werden die beigelegten AR-Karten benötigt, die von der Kamera des Geräts erkannt werden und die jeweilige AR-Spieleumgebung auslösen: Beispielsweise die AR-Anwendung „Angeln“ (siehe Abbildung 1). Die natürliche Umgebung (hier bspw. die Tischplatte) wird auf dem Display nun „flüssig“ dargestellt. Der Spieler wirft eine virtuelle Angel aus und lenkt diese zu den zu fangenden Fischen, die quasi auf der Tischoberfläche schwimmen.



(Abbildung 1: AR-Angeln mit den Nintendo 3DS™)

Weiterhin bekannt sind beispielsweise virtuelle Reiseführer für Smartphones und/oder Tablets (etwa iPhones/iPads™ oder Android™-Handys). Diese erfassen den aktuellen Standpunkt des Nutzers (z.B. per GPS und Kompass) und/oder überprüfen die von der Kamera eingefangene Umwelt nach bekannten Formen und Mustern, wie etwa den Umrissen eines Gebäudes. Bei Übereinstimmung von gespeicherten und aufgenommenen Bildern erhält der Nutzer zusätzliche Informationen. Dies können Einträge in Online-Reiseführern oder Wikipediaartikel sein, je nachdem mit welchen Seiten

die Software verknüpft ist oder additive Animationen oder Videos. Steht man beispielsweise vor dem Londoner Tower kann man so Zusatzinfos zu dessen Geschichte abrufen und auf dem Display anzeigen. Vielfältige Angebote lassen sich für solche oder ähnliche Zwecke bereits finden, sie zeigen etwa dem User in seiner nächsten Umgebung Haltestellen für öffentlichen Verkehr an (mit den entsprechenden Abfahrtszeiten etc.) oder lassen an den richtigen Orten historische Gebäude wie etwa eine virtuelle Berliner Mauer entstehen (Berliner Mauer –APP / Bildungszentrale für Politische Bildung). Kontrovers hinsichtlich Datenschutz und Privatsphäre diskutiert werden zurzeit AR-Apps die zur Gesichtserkennung dienen und zusätzliche Daten über Personen etwa aus sozialen Netzwerken einblenden (Recognizr / The Ashtoning Tribe).

Eine Kerncharakteristik von AR besteht darin, dass die Informationen auf dem Display auf die Eingaben der Nutzer reagieren können. Durch berührungsempfindliche Bildschirme lassen sich die virtuellen 3D-Objekte beispielsweise bewegen oder drehen. Der Nutzer kann entweder um das reale Objekt herumgehen oder das virtuelle Objekt auf dem berührungsempfindlichen Display bewegen und es so aus jeder von ihm gewünschten Perspektive betrachten. Die einhergehende Miniaturisierung der Technik und physiologisch gesteuerte Interfaces rücken dabei die Geräte immer mehr in den Hintergrund – vielmehr wird direkt mit der Information interagiert. Neuere Versionen von AR-Software, z.B. der Anbieter Aurasma (www.aurasma.com) erlauben eine direkte Manipulation der Daten durch Gestensteuerung. Da sie die Handgesten der User erkennen, müssen die Nutzer nun nicht mehr auf dem Bildschirm mit den virtuellen Daten interagieren, sondern können die Daten bequem direkt vor der Kamera mit ihren Händen steuern. Ein kreativer Ansatz, der digitale und reale Welt auf innovative Weise miteinander verbindet, ist dem MIT media lab mit der SixthSense Technologie gelungen (Mistry/Maes 2009). Das System besteht aus einem sehr kleinen Projektor, einer Kamera, einem Spiegel sowie einem mobilen Gerät, die zu einer tragbaren Einheit kombiniert werden. Diese AR-Umgebung erweitert die natürliche Umgebung indem sie digitale Informationen auf verschiedenste Oberflächen (z.B. Wände, Tische, Zeitschriften...) projiziert und diese wiederum als Interfaces nutzt. Der User kann die dargebotenen Informationen mit Gesten kontrollieren und steuern. So können etwa Landkarten angesehen und per Fingerzeig ein- oder ausgezoomt werden. Ein Zeitungsartikel kann mit Zusatzoptionen wie Videos angereichert werden, die vor- oder zurückgespult werden können. Eine Geste mit den Händen, die einen Rahmen darstellt, reicht beispielsweise aus um ein Foto zu machen. Wenn der User ein @-Zeichen in die Luft malt, werden ihm seine E-mails angezeigt. Ein Ansatz der zeigt, zu welchen Leistungen die AR-Technologie fähig und welches enorme Potenzial auch zur Wissensvermittlung noch vorhanden ist.

3. Design von AR-Lernumgebungen (Überschrift 2)

Bei der Gestaltung von AR-Lernumgebungen sind, wie bei anderen multimedialen Lernumgebungen auch, unterschiedliche Aspekte zu beachten, die Einfluss auf den Lernprozess haben können. Aus lehr-lernpsychologischer Sicht sollten bei der Gestaltung von Multimedia u.a. die individuellen Eigenschaften unterschiedlicher Lerner, die Vor- und Nachteile verschiedener Darstellungsformen und Aufgabenstellungen sowie die gewünschte Art der Lernergebnisse mitberücksichtigt werden (Ainsworth 2008, s.o auch Weidmann 2001). Eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Lernsituation im Hinblick auch auf selbstgesteuertes und exploratives Lernen ist also nötig. Grundlegende Erkenntnisse zur Informationsverarbeitung beim Lernen mit Multimedia bieten beispielsweise die Arbeiten von Mayer (2001, 2005). Er betont etwa die Vorteile multimodaler Präsentationsformen, bei der auditive Informationen mit visuellen Informationen ergänzt werden. Durch den so genannten Modalitätseffekt findet somit eine gleichzeitige Ausnutzung mehrerer Sinneskanäle statt, welche eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses von Lernern vermeidet. Weiterhin wichtig zur Integration von Informationen wie sie bei AR-Lernumgebungen vorkommt, ist etwa auch das Kontiguitätsprinzip, welches besagt, dass zwischen Bild (bspw. dem von der Kamera eingefangenen Abbild der realen Umgebung) und Texten (z.B. der additiven digitalen Information wie zusätzliche informative Texte) keine räumliche Trennung stattfinden sollte. Die Texte sollten vielmehr direkt nahe bei den jeweiligen Bezugspunkten im Bild stehen (vgl. auch Zumbach 2010).

Liarokapis und Anderson (2010, S. 2) beschreiben folgende Bedingungen, die AR-Lernumgebungen auch auf technischer Ebene erfüllen sollten. Sie sollten

- (1) einfach und robust sein
- (2) dem Lernenden klare und präzise Informationen bieten
- (3) dem Lehrenden ermöglichen, unkompliziert und effektiv Informationen einzugeben
- (4) Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden ermöglichen
- (5) komplexe Prozesse für Lehrende sowie Lernende transparent machen
- (6) kosteneffektiv sowie leicht zu erweitern sein

Zu (1) Es sollten keine komplexen Applikationen entwickelt werden (z.B. mit überwiegend hochauflösenden Videos) die eventuell zu hohe Systemanforderungen an die mobilen Geräte stellen. Die Programme müssen vielmehr problemlos und zuverlässig arbeiten. Zu (2) Das Lerngebiet sollte vom Lehrenden unbedingt zunächst genauer analysiert werden, um relevante Informationen herauszuarbeiten, das Thema optimal zu strukturieren, sich auf Wesentliches zu beschränken und auch hier auf die Gestaltungslinien für Multimedia abzustimmen. Zu (3) Einfache Usability sollte es Lehrenden auch ohne besondere Kenntnisse im Programmieren möglich machen, die zu vermittelnden Informationen einzugeben. Wenn nötig, sollten Lehrende hierfür ein spezielles Training erfahren. Zu (4) Möglichkeiten zur Kommunikation können beispielsweise via Chatoption eingebunden werden. Virtuelle Objekte sollten auch gemeinsam zu betrachten oder zu manipulieren sein, sodass der Lehrende bei Fehlern evtl. eingreifen, bzw. der Lernende nachfragen kann. Zu (5) Via Einblendung von multimedialen Darstellungen und dem interaktiven Wechsel zwischen diesen sollten verschiedene Prozesse für Lernende deutlich sichtbar gemacht werden. Zu (6) Neue Technologien werden durch Massenherstellung immer leichter und kostengünstiger verfügbar. Die fortwährenden Neuerungen bringen dabei einige Verbesserungen mit sich: die Geräte werden immer kleiner und es sind z.B. auch häufig keine Spezialbrillen mehr nötig, Ein einfacher Bildschirm mit Kamera reicht. Kostenlose Software wie ArtToolKit (Billinghurst et al. 2001) oder die AR-Browseranbieter Layar (www.layar.com) bzw. Wikitude (www.wikitude.com) dienen zur Produktion von eigenen AR-Lernumgebungen und sind teils auch für unterschiedliche Betriebssysteme geeignet.

Während früher die erforderliche Technik eher unbequem erschien (bspw. durch überdimensionierte Spezialbrillen oder durch ganze Rechner, die von den Usern mitgeführt werden müssen), werden durch die fortschreitende Neuerung und Verkleinerung der Geräte solche Nachteile nach und nach reduziert. Die rapide Verbreitung von Touchscreens, bessere Grafik- und steigende Prozessorenleistungen auch in Handys machen neue Funktionen und somit verbesserte AR-Erfahrungen möglich. Auch die teils noch unpraktische Tatsache, dass man sein Gerät bisher noch stets auf Objekte in der Umwelt richten muss und somit die Bewegungsfreiheit mindestens einer Hand eingeschränkt ist, kann beispielsweise durch dünnere und leichtere Brillen umgangen werden um etwa völlige Freiheit bei der Gestenerkennung zu erreichen.

Im Blick sollten bei der Gestaltung auch immer die Anwender sein, also die Lernenden, die unterschiedliche Voraussetzungen mitbringen. So kann etwa unterschiedliches Vorwissen der Lernenden in einem Themengebiet den Lernprozess verschiedenartig beeinflussen: während beispielsweise Studenten mit noch wenig Vorwissen von den Interaktionsmöglichkeiten überfordert sein können und eher noch mehr theoretischen Input benötigen, können Studenten mit hohem Vorwissen von den Interaktionsmöglichkeiten mehr profitieren und von zu viel theoretischem Input unterfordert sein (Liarokapis/Anderson 2010, S. 5). Unabdingbar ist es deshalb, die Zielgruppe genauer zu betrachten, um ein sinnvolles Maß an Anforderung während eines selbstständigen Lernprozesses an die Lernenden zu stellen und optimale Lernergebnisse zu erzielen.

4. AR im Einsatz im Bildungssektor (Überschrift 2)

Trotz der steigenden Nutzerzahlen von Tablets bspw. Smartphones ist die Nutzung von AR-Technologien und AR-Applikationen in Schulen und anderen Lerninstitutionen noch eher weniger populär. AR bietet jedoch „Zugänge zu Lehrerfahrungen, welche in traditioneller Form schlichtweg nicht realisierbar sind“ (Zumbach, 2010, S. 205). Es findet u.a. eine zunehmende Individualisierung statt, so dass Lehrkräfte nach und nach mit zunehmender Technologisierung mehr eine passive, beratende Rolle einnehmen können. Eine Abkehr von traditionellen Lehrmethoden hin zu in höchstem Maße eigenständigen Lernerfahrungen der Schüler findet statt, wobei der Lehrer dabei mehr und mehr zum Begleiter beim Lernen wird. Da Lernen immer häufiger auch außerhalb der Mauern traditioneller Bildungsinstitutionen stattfindet, werden zudem die Grenzen zwischen formellem und informellem Lernen verwischt. AR gilt daher als Trend in der Lehr-Lernforschung mit neuen Medien, der in naher Zukunft durchaus an Bedeutung gewinnen kann (Johnson et al. 2011).

Bereits häufiger im Einsatz findet man AR-Lehrumgebungen beispielsweise in der Medizinerbildung (Chien et al. 2010) oder der Ausbildung von Ingenieuren (Liarokapis et al. 2004). Virtuelle Simulationen sind in diesen und ähnlichen Lerngebieten bereits traditionell weit verbreitet, etwa um bestimmte Verhaltensweisen oder Fertigkeiten gezielt zu trainieren. In Verbindung mit AR-Technologien kann jedoch über die rein virtuelle Darstellung hinaus der Bezug zur realen Umwelt hergestellt und somit bessere Leistungen der Studenten in wirklichen Problemlösesituationen gefördert werden (Azuma, 1997). Der richtige Einsatz von bestimmten Utensilien bzw. Werkzeugen zur Lösung einer Aufgabe wird beispielsweise in der AR-Lernumgebung demonstriert oder/und anschließend von den Lernenden selbst eingeübt. Digitale Objekte in virtuellen Laboren ersetzen teure Ausstattungen in Bildungsinstitutionen und unterstützen die Lernenden, wenn es bspw. um die Nacharbeit zu Hause geht (Zagoranski 2003). Auch ein schneller Wechsel zwischen experimentellen Settings ist so möglich, ohne Zeit in Auf- und Abbau investieren zu müssen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Lernenden mit virtuellen Objekten auf ansprechende und natürliche Weise agieren können, die in der Realität häufig zu klein oder zu groß (o.ä.) sind, oder deren Einsatz zu teuer wäre oder aber bei Fehlverhalten eventuell gravierende Konsequenzen hätte, wie etwa in der Medizinerbildung. AR-Simulationen vermeiden somit hohe Kosten und potentielle Gefahren.

AR-Technologien empfehlen sich jedoch für den verbreiteten Einsatz in unterschiedlichen Disziplinen und für verschiedenste Lerner und Lernsituationen. So genannte „Augmented Textbooks“ beispielshalber können durch ihre speziellen Funktionen zum einen die Lesekompetenz von Kindern fördern und zum anderen diese überhaupt erst zum Lesen motivieren (Hornecker/Dünser 2007). In solchen Augmented Textbooks, wie etwa dem MagicBook (Billinghurst et al. 2001), werden Texte und Bilder im klassischen Lehrbuch mit virtuellen 3D-Objekten am Bildschirm ergänzt. Das Buch, das als materielles Interface dient, kann wie ein normales Lehrbuch benutzt und gelesen werden, seine Seiten können vor- und zurückgeblättert werden. Mithilfe von Displays werden noch zusätzliche digitale Informationen aufgerufen. Durch so genannte AR-Marker im Lehrbuch beispielsweise können 3D-Objekte an den richtigen Stellen eingesetzt werden. Sobald die Kamera einen Marker erkannt hat, wird das entsprechende Objekt am Bildschirm angezeigt. Diese Objekte können von den Nutzern mittels der Marker oder auf Touchscreens bewegt oder gedreht sowie vergrößert oder verkleinert werden. Der Nutzer kann das Buch bewegen oder (mit mobilen Geräten) selbst um das Buch herumgehen und sich so die Objekte aus verschiedenen Perspektiven ansehen. Vorsicht ist jedoch dabei insofern geboten, die Kinder durch die virtuellen interaktiven Möglichkeiten nicht zu überfordern (Hornecker/Dünser 2007).

Kollaboratives Lernen

Möglichkeiten zum Datenaustausch und die Interkonnektivität der einzelnen Technologien erlauben zum einen gemeinsames Arbeiten der Lernenden untereinander (Pemberton/Winter 2009) und zum anderen auch zwischen LehrerInnen und Lernenden (Schwald/de Laval 2003). Kollaborative AR-Lernumgebungen, wie beispielsweise das *Studierstube* AR-System (Schmalstieg et al. 2002), bieten Gelegenheiten für Lernende, um gemeinsam an digitalen Informationen zu arbeiten, während

Lehrende ihre Unterstützung etwa bei Verständnisproblemen anbieten können und gemeinsam mit Lernenden die Objekte in virtueller Umgebung manipulieren. Pemberton und Winter (2009) beschreiben hierzu beispielsweise im internationalen Projekt ARISE (Augmented Reality In School Environments) gemeinsames Arbeiten von SchülerInnen unterschiedlicher Herkunft, wobei insbesondere interkultureller Austausch fokussiert wird. Die SchülerInnen können sich mittels Peer-Teaching von verschiedenen Standorten aus gegenseitig über lokale historische Ereignisse oder über spezifische Kulturgüter informieren. Dazu erarbeiten die Lernenden zunächst auf lokaler Ebene kulturgeschichtlich interessante Themengebiete und recherchieren die entsprechenden Hintergründe dazu. Danach erstellen sie mithilfe einer einfach zu handhabenden Software 3D-Objekte, die direkten Bezug zum jeweiligen geschichtlichen oder kulturellen Hintergrund haben, z.B. historische Gebäude. Die anschließende Präsentation und gemeinsame Bearbeitung zwischen den SchülerInnen erfolgt schließlich auf einer gemeinsamen AR-Lernumgebung. Die SchülerInnen, die von unterschiedlichen Orten aus daran teilnehmen, präsentieren sich gegenseitig ihre vorher gestalteten Objekte. Sie können diese zusammen ansehen, sie gemeinsam bearbeiten und sich darüber (via additiver Audio-Software) austauschen. Eine erste Evaluation des Projekts kommt zu dem Schluss, dass die AR-Lernumgebung die Motivation und das Engagement der Lernenden fördert sowie von diesen als effektiv und unterhaltsam bewertet wird (Pemberton/Winter 2009, S.2).

Einen Ansatz zur Zusammenarbeit von Lehrenden und Lernenden beschreiben Kaufmann und Schmalstieg (2003) mit dem Construct 3D-System im Mathematikunterricht. Es handelt sich hierbei um eine Plattform zur dreidimensionalen Darstellung von geometrischen Objekten, wie etwa Kugeln oder Zylindern. Die Lernenden sollen durch die dreidimensionale Darstellung der Objekte in der AR-Lernumgebung beispielsweise komplexe räumliche Probleme und Verhältnisse schneller und besser verstehen können als mit bisherigen Darstellungsmethoden, etwa auf dem Papier. Erste positive Ergebnisse zeigen, dass die Lernenden die Möglichkeit, selbst dreidimensionale geometrische Objekte erstellen und manipulieren zu können, auf konstruktive Weise annehmen und durchaus als hilfreich ansehen: „(...) students especially liked walking around and inside objects, the ‚playful‘ way of constructing and that spatial relationships and complex three dimensional situations are directly visible“ (Kaufmann/Schmalstieg 2003, S. 343). Die Lehrenden können durch die kollaborativen Funktionen die Lernenden beim Problemlösen auf der AR-Lernumgebung mittels direkter Anwesenheit im Unterrichtsraum oder aber auch ortsunabhängig beispielsweise bei der Nacharbeit zu Hause unterstützen.

Game-based Learning

Besonders motivierend und herausfordernd für Lernende stellen sich Game-based Lernumgebungen dar, in welchen bestimmte Problemsituationen von Lernenden innerhalb einer Spieleumgebung bearbeitet und gelöst werden müssen (vgl. Gee 2009). Sie bieten spielerischen Zugang zu Wissensinhalten und vermitteln so unterschiedliche Wissensinhalte und Kompetenzen. Das von Squire und Jan (2007) entwickelte Rollenspiel „Mad City Mystery“ beispielsweise findet in einer komplexen AR-Spieleumgebung statt. Ziel des Spiels ist es, die Kompetenzen der Spieler im Hinblick etwa auf wissenschaftliche Arbeitsweisen, Untersuchungsmethoden und gezieltes Argumentieren zu stärken. Die Lerner – die innerhalb des Rollenspiels verschiedene Charaktere wie Wissenschaftler oder Ärzte darstellen - versuchen innerhalb von 90 Minuten eine Ermittlung in einem mysteriösen Todesfall einzuleiten. Sie benötigen dazu genug Beweise, die sie innerhalb des Spiels an unterschiedlichen Orten sammeln müssen. Je nach Standort werden ihnen dazu via AR-Technologien auf mobilen Geräten bestimmte Informationen zugänglich gemacht. Sie sprechen u.a. mit virtuellen Charakteren oder sie gelangen an virtuelle Dokumente bzw. an bestimmte Testergebnisse, welche für die Einleitung der Ermittlung von Bedeutung sein könnten. Die Lerner müssen schließlich die von allen Teilnehmern gesammelten Informationen zusammenfügen und jedes Beweisstück hinsichtlich der Ermittlung interpretieren. Auch wenn es sich hier um eine eher explorative Studie handelt, zeigen erste Ergebnisse, dass sich die Spieler wissenschaftliche Herangehensweisen und Problemlösestrategien angeeignet haben. Auf ähnliche Weise verläuft das AR-Rollenspiel

„Outbreak@TheInstitute“ (Rosenbaum et al. 2007). Die Spieler arbeiten hier ebenfalls als Team zusammen und nehmen verschiedene Rollen ein. Ziel des Spiels ist es, die fiktive Verbreitung eines gefährlichen Virus zu vermeiden. Die erforderlichen Informationen werden den Spielern auf PDAs zugänglich gemacht. Sie müssen Hinweise finden und bewerten, Hypothesen aufstellen und testen sowie Theorien zur Vermeidung der Epidemie daraus entwickeln. Die ersten Evaluationsergebnisse zeigen hier, dass die Spieler neben Faktenwissen und Strategien zur Vermeidung einer Epidemie auch stärker in den Lernprozess involviert sind und sich mehr engagieren.

Auch die Möglichkeit, das soeben Gelernte gleich anzuwenden und anhand von kleinen Tests sofort zu überprüfen, lässt sich mit AR umsetzen. Ein gelungenes Beispiel ist dabei das von Jugendlichen gestaltete Spiel „Surfing the streets“ (Lange 2011). Es handelt sich hier um eine Handyralley, die das Berlin der zwanziger Jahre thematisiert. Neben der inhaltlichen Recherche zum Thema, wie etwa den damaligen Lebensumständen, hatten die Jugendlichen die Chance, gemeinsam die Funktionen von ortsbezogenen Diensten auf Handys auszuprobieren. Die Jugendlichen erstellten in einem Workshop unter Anleitung selbst die erforderliche AR-Umgebung anhand von frei verfügbarer Software und mit ihnen zur Verfügung gestellten Materialien wie Digitalkameras oder Smartphones. Es entstanden dabei Ortsportraits innerhalb von Berlin, die mit zusätzlichen Informationen und teilweise noch um Videointerviews ergänzt wurden. Diese können dann von den Teilnehmern der Rallye an den vorher bestimmten Orten abgerufen werden können. In diese Beschreibungen sind u.a. Quizfragen zum jeweiligen Ort eingebaut. Der nächste Ort der Stadtrallye wird erst nach der Lösung einer solchen Aufgabe angezeigt. Das innerhalb des Spiels erworbene Wissen der Teilnehmer kann so direkt überprüft werden.

5. Zukunft der Bildung mit Augmented Reality (Überschrift 2)

Wie bereits skizziert wurde, befindet sich Augmented Reality bereits an verschiedensten Stellen im Einsatz. Dieser ist zwar noch nicht flächendeckend, entwickelt sich aber mit immer zunehmender Beliebtheit insbesondere im Unterhaltungssektor. Wie wirkt sich das aber in naher und mittlerer Zukunft auf den Bildungssektor aus?

Technologisch problemlos realisierbar wäre etwa das erweiterte Schulbuch, wie bereits schon weiter oben kurz dargestellt. Nehmen wir als Beispiel die Darstellung von Dinosauriern. Hier könnte etwa eine dreidimensionale Darstellung über Anatomie, Verhalten und etwa Bewegung von Dinosauriern zusätzliche Informationen über die rein statische Abbildung hinaus geben. Auch in anderen Bereichen, wo etwa eine dreidimensionale Darstellung eine angemessenere Repräsentation wäre wie etwa die Struktur der Doppelhelix, könnten hier zusätzliche Informationen vermittelt werden. Neben der Darstellung spezifischer Medien wäre auch der Einsatz zusätzlicher sog. „Pädagogischer Agenten“ denkbar. Versteht ein Lernender etwa eine Mathematikaufgabe nicht, so könnte durch AR-Technologie eine individuelle Unterrichtseinheit basierend auf der vorliegenden Aufgabe erfolgen. Dies kann die Individualisierung des Unterrichts maßgeblich vorantreiben, da jeder Lernende hier die von ihm oder ihr benötigte Unterstützung bekommen kann. Aber auch etwa in anderen Bereichen, bei denen mit Gegenständen interagiert werden muss, können Lernende durch AR unterstützt werden. Nehmen wir als weiteres Beispiel das Handhaben mit Geräten im Physikunterricht. Sollen hier etwa eigenen Schülerexperimente durchgeführt werden, so können AR-Devices (etwa direkt in Brillen integriert) zusätzliche Informationen zu Standort von bestimmten Gegenständen, Informationen zu diesen oder auch Montageanleitungen direkt dazu geben. Weiß man etwa nicht, wie z.B. ein bestimmtes Gerät zu bedienen ist: Die AR-Brille aufgesetzt, den entsprechenden Tag eingelesen und schon zeigt einem eine Mischung aus Simulation und dem echten Gerät, wie das Ganze zu funktionieren hat. Solche Anwendungen wären auch bei Exkursionen oder im Alltag generell denkbar, etwa angefangen beim Essen im Restaurant, bei dem zusätzliche Informationen über Herkunft und Zubereitung des bestellten Gerichts gegeben werden, über den Einkauf am Supermarkt in der folgenden Woche, bei der einem Standort und Informationen zu eben diesen Zutaten gezeigt wird, bis hin zur heimischen Küche, bei der einem die AR-Applikation hilft, das Gericht selbst

zubereiten. Lernen wird also direkt bei Bedarf unterstützt. Durch zusätzliche kollaborative Funktionen kann man zudem sein neu erworbenes Wissen gleich mit anderen teilen: Stellen wir uns einen Besuch im Zoo vor. Eine Schülerin entdeckt ein für sie bis dahin unbekanntes Tier. Sie richtet die Kamera ihres Smartphones darauf, Informationen wie Name des Tieres, spezielle Umstände im Lebensraum und Fressgewohnheiten werden angezeigt sowie eventuell direkt auf unterschiedliche Merkmale von Männchen und Weibchen hingewiesen bzw. das animierte Pendant zum realen Tier eingeblendet. Die Schülerin macht ein Video des Tieres und lädt es mitsamt der zusätzlichen Informationen auf eine gemeinsame virtuelle (bspw. cloudbasierte) Plattform ihrer Klasse. Die Mitschüler können so indirekt auch von der Entdeckung profitieren. Diese und ähnliche Szenarien sind natürlich auch beim Lernen direkt am Arbeitsplatz möglich so wie in allen anderen Bereichen, bei denen etwa Probleme gelöst werden müssen.

Diese unterstützenden Problemlösefunktionen erleichtern zwar den Alltag, sind aber auch nicht ganz unproblematisch: Durch die allgegenwärtige Unterstützung wird ein Teil des Lernens immer passiver und wenig Aufwand wird in tiefere Verarbeitungsprozesse investiert. Warum sollte man sich auch anstrengen, bzw. das Rad neu erfinden, wenn es schon fertige Lösungen dazu gibt. Ein ähnliches Verhalten finden wir bereits schon jetzt: Wenn jemand heute mit dem Auto in den Urlaub fährt, so verlässt man sich sehr häufig alleine auf ein Navigationssystem. Das führt dazu, dass man sich selbst nicht mehr anhand von Kartenmaterial mit der Route vertraut macht. Entsprechende Verarbeitungsprozesse wie „Oh – da komme ich ja an XXX vorbei; da wollte ich ja schon immer mal hin, um das bekannte YYY anzuschauen“ oder „Was, XXX und YYY liegen so nahe beieinander?“ finden nun immer seltener statt. Diese Gefahr werden auch Personen laufen, die sich nahezu ausschließlich auf ihre AR-Unterstützung verlassen. Wird einem Lernenden etwa bei der Zins- und Zinseszinsrechnung durch eine entsprechende Applikation geholfen, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass dieser Prozess auch tatsächlich vom Lernenden prozeduralisiert wird. Aber die Frage, ob eine solche Technologie letztlich positiv oder negativ zu beurteilen ist, ist eine Frage, welche die Erziehenden der Zukunft zu beurteilen haben. Wahrscheinlich ist auch hier ein Mittelweg zwischen bestimmten Vor- und Nachteilen zu finden, der immer mit dem Auftreten neuer (Bildungs-)Technologien einhergeht.

5. Fazit (Überschrift 2)

Bildung wird immer unabhängiger von Ort und Zeit. AR trägt zu einer Lernkultur bei, die über die Grenzen traditioneller Bildungsinstitutionen hinausgeht. Zusätzlich zu traditionellen Methoden ermöglicht AR etwa durch direktes Interagieren mit den virtuellen Objekten selbstgesteuertes „Learning by Doing“. Durch die zunehmende Vernetzung im 21. Jahrhundert wird AR zudem immer dann verfügbar sein, wenn etwa Probleme gelöst werden müssen oder einfach nur eine bestimmte Information angefordert wird.

Natürlich stellt sich in Bildungsinstitutionen wie Schulen und Hochschulen auch die Frage nach dem (Kosten-)Aufwand einer solchen Ausstattung. Die Aufrüstung von Schulcomputern, die mittlerweile in jeder Schule zur Verfügung stehen, mit kostengünstigen WebCams ermöglichen jedoch in Kombination mit Augmented Books schon einfachste Voraussetzungen für viele Augmented Reality-Lernumgebungen. Darüber hinaus kann diese Technik ähnlich wie in Notebookklassen den SchülerInnen zur Verfügung gestellt werden, sodass via eigenem Tablet oder Smartphone das Lernen mit AR auch in unterschiedlichen Alltagssituationen ermöglicht wird. Die dazu benötigte Software kann mit kostenlosen Autorenprogrammen nach den individuell gegebenen Lerngegebenheiten und -bedürfnissen von den Lehrenden erstellt und etwa via Internet den Schülern kostenlos zum Download zur Verfügung gestellt werden. Experimentelle Ansätze sowie Prototypen solcher Lernumgebungen finden sich bereits in unterschiedlichsten Bildungsbereichen. Sie zeigen, dass AR selbstgesteuertes und effektives Lernen fördern kann, das darüber hinaus von den Lernenden zudem als motivierend und unterhaltsam empfunden wird. Immer kostengünstigere sowie technisch

ausgefeiltere und kleinere Geräte lassen zusammen mit der zunehmenden Technik-Erfahrung von Nutzern AR zu einem der vielversprechendsten Trends der nächsten Jahre auch in der Bildungsforschung werden. Weitere Problemfelder sind dennoch vorhanden: Zum einen muss ein gleichberechtigter Zugang für alle SchülerInnen aus allen verschiedenen Bildungsschichten, mit unterschiedlichem familiärem sozioökonomischen Status Der Zugang zu diesen Technologien möglich sein. Darüber hinaus müssen Vorurteile sowie Nutzungsängste und -barrieren seitens der Lehrer und Lehrerinnen gegenüber neuen Technologien abgebaut werden. Der Auftrag von Bildungsinstitutionen sowie -forschung ist es daher, Zugang zu solchen Technologien für Lernende sowie Lehrende zu ermöglichen und AR Lernumgebungen auf unterschiedliche Bedürfnisse abzustimmen und so für verschiedenste Lerner und Lernziele nutzbar zu machen. Neben Lernmaterialgestaltung und der schrittweisen Implementierung ist auch eine beständige empirisch fundierte Evaluierung nötig. Erst durch die sorgfältige Analyse sowie Planung solcher Angebote, kann eine Verbesserung und Weiterentwicklung solchen Lernmaterials erfolgen, sodass ein flächendeckender und sinnvoller Einsatz von Augmented Reality im Bildungsbereich gewährleistet werden kann.

Literatur

Ainsworth, Sharon/van Labeke, Nicolas (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14, S. 241-255.

Ainsworth, Sharon (2008). How should we evaluate multimedia learning environments. In: Jean-Francois Rouet/Richard Lowe/Wolfgang Schnotz (Hrsg.). *Understanding Multimedia Comprehension* (S. 249-265). New York: Springer.

Azuma, Ronald (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), S. 355 - 385.

Billinghurst, Mark/Kato, Hirokazu/Poupyrev, Ivan (2001). The MagicBook - Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. *Computer Graphics and Applications*, 21(3), S. 2-4.

Bodemer, Daniel/Ploetzner, Rolf/Feuerlein, Inge/Spada, Hans (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualizations. *Learning and Instruction*, 14, S. 317-338.

Chien, Chien-Huan/Chen, Cien-Hsu/Jeng, Tay-Sheng (2010). An Interactive Augmented Reality System for Learning Anatomy Structure. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 Vol. I*, S. 370- 375.

Forneck, Hermann J. (2002). Selbstgesteuertes Lernen und Modernisierungsimperative in der Erwachsenen- und Weiterbildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 48, S. 242-261.

Gee, James Paul (2009). Deep learning properties of good digital games: How far can they go? In: Ute Ritterfeld/Michael Cody/Peter Vorderer (Hrsg.). *Serious Games: Mechanisms and Effect* (S. 67-82). New York: Routledge, Taylor and Francis.

Haider, Karin/Reisenhofer, Birgit/Zumbach, Jörg (2010). Eine Gartenexpedition mit allen Sinnen – mobiles Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Jörg Zumbach/Günter Maresch (Hrsg.) *Aktuelle Entwicklungen in der Didaktik der Naturwissenschaften – Ansätze aus der Biologie und Informatik* (S. 15-23). Innsbruck: Studienverlag.

Hornecker, Eva/Dünser, Andreas (2007). Supporting Early Literacy with Augmented Books – Experiences with an Exploratory Study. *Proceedings of the German Society of Informatics annual conference GI-Jahrestagung 2007, Germany*, S. 109-111.

Howell, Scott/Williams, Peter/Lindsay, Nathan (2003). Thirty-two Trends Affecting Distance Education: An Informed Foundation for Strategic Planning. *Online Journal of Distance Learning Administration*, 6. Online Verfügbar unter: <http://www.westga.edu/~distance/ojdla/fall63/howell63.html> (abgerufen am 10.02.2012)

Johnson, Larry/Smith, Rachel/Willis, Holly/Levine, Allan/Haywood, Keene (2011). *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium. Online verfügbar unter <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf> (abgerufen am 27.01.2012).

Kaufmann, Hannes/Schmalstieg, Dieter (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality, *Computers & Graphics*, 27(3), S. 339-345.

Koper, Rob (2004). Use of the Semantic Web to Solve Some Basic Problems in Education: Increase Flexible, Distributed Lifelong Learning, Decrease Teachers' Workload. *Journal of Interactive Media in Education*, 6, S. 1-23.

Kozma, Robert (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13, S. 205-226.

Lange, Michael (2011) Augmented Reality in der Medienarbeit. Online verfügbar unter: <http://www.medienpaedagogik-praxis.de/2011/11/14/augmented-reality-in-der-medienarbeit/> (abgerufen am 13.02.2012).

Leutner, Detlef (2002). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In: Ludwig Issing/Paul Klimsa (Hrsg.). Information und Lernen mit Multimedia und Internet (3. vollst. überarb. Aufl.) (S. 115-125). Weinheim: Beltz PVU.

Liarokapis, Fotis/Mourkoussis, Nikolaous/White, Martin/Darcy, Joe/Sifniotis, Maria/Petridis, Panos/Basu, Anirban/Lister, Paul F. (2004). Web3D and Augmented Reality to support Engineering Education. World Transactions on Engineering and Technology Education, 3 (1), S. 11-14.

Liarokapis, Fotis/Anderson, Eike Falk (2010). Using augmented reality as a medium to assist teaching in higher education. Proceedings of Eurographics 2010, Education Program

Mayer, Richard E. (2001) Multimedia Learning. New York: Cambridge University Press.

Mayer, Richard E. (2005). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity and Temporal Contiguity Principles. In: Richard R. Mayer, (Hrsg.). Cambridge Handbook of Multimedia Learning (s. 183-200) New York: Cambridge University Press.

Mistry, Pranav/Maes, Pattie (2009). SixthSense – A Wearable Gestural Interface. Proceedings of ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (2009). Education at a Glance 2009. OECD Indicators. Paris: OECD

Pekrun & Schiefele, 2006

Pemberton, Lyn/Winter, Markus (2009). Collaborative Augmented Reality in Schools. Proceedings of 8th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning 2009, S. 109-111.

Reinmann-Rothmeier, Gabi/Mandl, Heinz (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Andreas Krapp/Bernd Weidenmann (Hrsg.). Pädagogische Psychologie. Eine Einführung. (4. vollst. überarbeitete Auflage, S. 601 – 644). Weinheim: Beltz PVU

Röll, Franz Josef (2009). Selbstgesteuertes Lernen mit Medien. In: Kathrin Demmler/Klaus Lutz/Detlef Menzke/Anja Pröhl-Kammerer (Hrsg.). Medien bilden – aber wie?! Grundlagen für eine nachhaltige medienpädagogische Praxis (S. 59-78). München: kopaed.

Rosenbaum, Eric/Klopfer, Eric/Perry, Judy (2007). On Location Learning: Authentic Applied Science with Networked Augmented Realities. Journal of Science Education and Technology, 16(1), S. 31-45.

Schmalstieg, Dieter/Fuhrmann, Anton/Hesina, Gerd/Szalavari, Zsolt/Encarnação, Miguel/Gervautz, Michael/Purgathofer, Werner (2002). The Studierstube Augmented Reality Project. Presence, 11(1), S. 32-54.

Schwald, Bernd/de Laval, Blendine (2003). An Augmented Reality System for Training and Assistance to Maintenance in the Industrial Context. Journal of WSCG 11, 1, S. 425-432.

Squire, Kurt/Jan, Mingfong (2007). Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (1), S. 5-29.

Van der Meij, Jan/de Jong, Ton (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16, S. 199-212.

Weidenmann, Bernd (2001). Lernen mit Medien. In: Andreas Krapp/Bernd Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. (4. vollst. überarbeitete Auflage, S. 415-465). Weinheim: Beltz PVU.

Weinert, Franz E. (Hrsg.) (2001). *Leistungsmessung in der Schule*. Weinheim und Basel: Beltz PVU.

Zagoranski, Saso/Divjak, Sasa (2003). Use of augmented reality in education. *Proceedings of IEEE Region 8 Computer Tool EUROCON*, 2, S. 339-342.

Zumbach, Jörg/Bachleitner, Sandra (2007). m-Learning in der Geographiedidaktik. In: Thomas Jekel/Alfons Koller/Josef Strobl (Hrsg.). *Lernen mit Geoinformationen II* (S. 192-202). Heidelberg: Wichmann.

Zumbach, Jörg (2010). *Lernen mit Neuen Medien. Instruktionspsychologische Grundlagen*. Stuttgart: Kohlhammer.