

Augmented Reality auf Smartphones in der Bauplanung

Lukas BÄHLER und Hans-Jörg STARK

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“
angenommen.*

Zusammenfassung

Im Rahmen der Strategischen Initiative ‚Siedlungsplanung als kollaborativer Prozess‘ der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW wird untersucht, in wie weit existierende Augmented Reality (AR) Software auf Smartphones im Bereich Bau- und Siedlungsplanung eingesetzt werden kann. Ziel ist es, das virtuell existierende Modell eines Bauvorhabens in einem AR Browser auf dem Smartphone über das Realbild, das durch die Smartphone-Kamera erfasst wird, zu legen und so vor Ort mit unterschiedlichen Nutzergruppen in eine Diskussion zum Bauvorhaben zu treten. Der Ansatz, über AR mit zukünftigen Nutzern oder Anwohnern ins Gespräch zu kommen und kollaborativ über das Modell zu verhandeln, verspricht einen realitätsnäheren Bezug als es die bisher verwendeten Baugerüste tun. Der vorliegende Beitrag stellt die Technologie und die Ergebnisse erster Untersuchungen vor.

1 Einführung

1.1 Mixed Reality

MILGRAM & KISHINO (1994) machen eine erste Definition und Einordnung der Begrifflichkeiten zu Mixed Reality (MR). Sie zeigen, dass innerhalb des virtuellen Kontinuums (auch Virtual Reality (VR) genannt), das sich von der komplett realen bis zur vollständig virtuellen Umgebung erstreckt, mehrere Technologien liegen, die sich aber nicht scharf voneinander abgrenzen lassen (vgl. Abb. 1). Mit Augmented Virtuality (AV) werden alle die Fälle bezeichnet, bei denen ein Display eines Systems eine virtuelle Umgebung zeigt und diese mit Ausschnitten aus der Realwelt erweitert wird. Der umgekehrte Fall, bei welchem die Realwelt um ein virtuelles Modell ergänzt wird, bezeichnet man als Augmented Reality (AR).

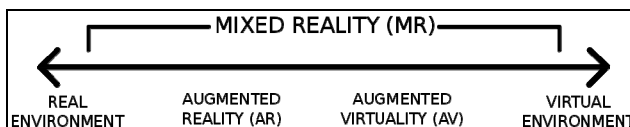


Abb. 1: Das virtuelle Kontinuum von der realen bis zur virtuellen Umgebung (MILGRAM & KISHINO 1994)

1.2 Augmented Reality

Ein Benutzer eines AR-Systems sieht die reale Welt einschließlich virtueller Objekte, welche im Sichtfeld überlagert werden. AR ergänzt also die Realwelt, respektive ersetzt sie teilweise (AZUMA 1997, BIMBER & RASKAR 2005). Nach AZUMA (1997) zeichnet sich AR durch drei Kriterien aus: Kombination der virtuellen und realen Welt, Interaktivität in Echtzeit und schließlich das dreidimensional in Beziehung Stehen von realen und virtuellen Objekten. AR befasst sich aber nicht ausschließlich mit dem Sehsinn. So kann mittels eines AR-Systems die Realwelt auch durch synthetischen Ton, vermittelt durch Kopfhörer (vgl. Abb. 2) oder haptische Wahrnehmungseffekte, übertragen durch Handschuhe, erweitert werden (DURLACH & MAVOR 1995, WELLNER 1993).

AR-Systeme sind aufgebaut aus drei wesentlichen Komponenten. Es sind dies der Szenengenerator für das Rendering, das Anzeigegerät (Display) und das Trackingverfahren. Im Kontext von AR-Systemen wird unter dem Begriff „Szenengenerator“ die Berechnung der virtuellen Szene verstanden. Sie beinhaltet im Wesentlichen die perspektivisch korrekte geometrische Abbildung der virtuellen Objekte auf einem Display. Das Anzeigegerät selbst muss in der Lage sein, gleichzeitig sowohl die reale als auch die virtuelle Welt überlagert darzustellen. Dabei kommen primär die Verfahren „see-through“ mit einem halbtransparenten Display oder „video“ mit einer Kamera, welche die Realwelt erfasst, zum Einsatz (BIMBER & RASKAR 2005). Die höchsten Anforderungen erfüllt die Komponente „Tracking“ (AZUMA 1997). Sie ist für die lagerichtige Darstellung der virtuellen Informationen in der realen Szene verantwortlich, d. h. sowohl Position wie auch Orientierung des AR-Systems müssen in der Realwelt getrackt werden, damit diese für die Berechnung der virtuellen Szene verwendet werden können. Dabei wird unterschieden zwischen positionsbasierten und musterbasierten Trackingverfahren. Positionsbasierte Trackingverfahren setzen aktive Sensoren bzw. Sensor-Kombinationen zur absoluten Positions- und Orientierungsbestimmung ein (z. B. GNSS, Kompass, Neigungssensoren und Inertialmesssysteme). Musterbasierte Lösungen suchen im (Kamera-) Bild der Realwelt nach bekannten Objekten (Marker / Targets) und ermitteln über eine Transformation die relative Position und Orientierung des AR-Systems zu diesen realen Objekten. Musterbasierte Lösungen werden weiter differenziert nach „markerless“ beziehungsweise „marker-based“ (BUTCHART 2011). Beim „marker-based“-Ansatz werden durch das System künstliche Marker (2D-Matrix-Codes) in der Realwelt identifiziert, die auch im virtuellen Modell bekannt sind. Die „markerless“-Methode detektiert natürliche Objekte, welche auch im virtuellen Modell vorliegen.

An der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW kamen in Forschungsarbeiten aufwendige AR Systeme zum Einsatz (Felix et al. 2008). Nebst einigen Vorteilen wie Genauigkeit, Leistung und Variabilität weist dieser Ansatz folgenden Nachteil auf: Das Equipment ist schwer und kann jeweils nur von einer Person verwendet werden (vgl. Abb. 2). D.h. es eignet sich nicht für eine Gruppe oder eine gemeinsame Diskussion.



Abb. 2: Mobiles AR System im Einsatz (FELIX et al. 2008)

1.3 Planung

AR-Systeme sind in der Lage, virtuelle Objekte darzustellen, die durchaus komplexen Charakter haben können. Aus dieser Sicht ist ein AR-Einsatz unter anderem dort interessant, wo der Mensch durch die Komplexität einer Planung in seinem Vorstellungsvermögen überfordert wird. Die Bau- und Siedlungsplanung kann explizit als ein solcher Anwendungsfall betrachtet werden.



Abb. 3+4: Bauprofil-Erstellung beim Prime Tower Zürich mit Helikopter (MARGADANT 2007) und fertig installiertes Bauprofil beim Stadt Casino Basel (KNECHTLI 2006)

Bislang werden geplante Bauwerke meist von Gesetzes wegen durch Bauprofile (Stangen-gerüste) markiert. Im Kanton Basel-Landschaft gilt insbesondere, dass „das Aufstellen der Bauprofile den Nachbarn und weiteren Interessenten ermöglichen soll, sich eine Vorstellung über das Bauvorhaben zu machen“ (REGIERUNGSRAT KANTON BASEL-LANDSCHAFT 1999). Solche Bauprofile repräsentieren das geplante Gebäude aber nur sehr abstrakt, weil

meist nur die vertikalen Gebäudekanten durch Stangen und die Dachform durch Lattenansätze gekennzeichnet werden, aber nie eine Fassade oder ein Dach als Ganzes. Die Wirkung ist dementsprechend schwach und Effekte (bspw. Schattenwurf) lassen sich kaum abschätzen. Dazu kommt, dass je größer und höher der Bau ist, desto aufwendiger ist auch die Installation (vgl. Abb. 3) und umso unübersichtlicher wirken die Stangen-Konstruktionen (vgl. Abb. 4), sodass es einem Betrachter schwer fällt, sich ein konkretes und möglichst vollständiges Bild eines geplanten Gebäudes zu machen.

KORN (2011) argumentiert, dass Mobile-AR (bspw. auf heutigen Smartphones) das Bewusstsein und die Verständlichkeit von Planungen, wie sie der Bürger wahrnimmt, durch die Darstellung geplanter Gebäude in ihrer realen Umgebung verbessert. Einen Schritt weiter gehen KHAN & DONG (2011), indem sie eine Prototyp-Plattform einrichten, die geplante Gebäude als 3D-Modelle vorhält und zu denen der Nutzer Rückmeldungen in Form von 3D-Skizzen liefern kann. Damit wird die Plattform zu einem partizipativen Planungs-Tool, bei welchem verschiedene Interessengruppen (Architekten, Raumplaner, Behörden, Anwohner, etc.) zusammen entwerfen und planen können.

2 Bau- und Siedlungsplanung mit AR-Systemen

KROGH (2000) erkennt, dass die AR-Technologie die Arbeit von Architekten unterstützen kann. Er beschreibt AR als Lücken füllend zwischen den bekannten rein physischen und rein digitalen Modellen und sieht in AR ein Einsatzpotenzial zum architektonischen Design-Prozess und Konzipieren und als Entscheidungshilfe.

2.1 Einsatzszenarien

In der Bau- und Siedlungsplanung wurden durch KLINKER et al. (2001) drei Prozesse identifiziert, in denen AR eine Unterstützung sein kann:

- Design und Marketing: Zur Funktions- und Ästhetik-Evaluation bietet AR die Möglichkeit, geplante Neubauten in ihrem natürlichen Kontext darzustellen und einem Kunden (Bauherrn, Behörden oder Anwohnern) zu präsentieren.
- Bauphase: Visualisierung zur Kontrolle, ob nach den Plänen gebaut wird oder welche Konsequenzen eine potenzielle Designänderung hätte.
- Instandhaltung und Erneuerung: Visualisierung von verborgenen Objekten (Röhren, Leitungen, etc.), unsichtbaren Informationen (Wärme, Leitungsdruck, Instandhaltungsplänen) und potenziellen Neugestaltungen zur Evaluation deren Verträglichkeit mit bestehenden Objekten, Strukturen und Anordnungen.

2.2 Smartphone-Applikationen

Smartphone-Applikationen erlauben nur ein bis zwei Betrachtern gleichzeitig einen Blick auf die erweiterte Realität. Dafür sind sie mobil einsetzbar und weisen dank ihres geringen Gewichts und ihrer relativ weiten Verbreitung ein hohes Potenzial für AR Anwendungsszenarien auf.

Die zunehmende Verbreitung von Smartphones mit immer besserer Sensorik und Darstellung bietet AR die Chance, diese Plattform zu nutzen. CHEHIMI et al. (2007) entwickelten daher ein erstes AR-System auf einem Mobiltelefon mit integrierter Kamera auf Basis von Marker-Tracking. Mit Studierstube ES stellten SCHMALSTIEG & WAGNER (2008) eine Plattform bereit, welche alle für AR-Anwendungen benötigten Module (u. a. Realtime-Tracking und Rendering Engine) beinhaltet und die Prozessierung auf einem Handheld-Device ermöglicht. Ein Client-Server-AR-System mit einem Mobiltelefon als Client und einem PC als Server wurde durch BILLINGHURST et al. (2008) entwickelt. Dort werden die durch das Mobiltelefon erfassten Bilder auf dem Server mit dem virtuellen Modell erweitert, welches auch animiert werden kann, und dann zur Darstellung an das Mobiltelefon zurückgesendet wird.

Ein großer Entwicklungsschritt für Smartphone-AR-Applikationen ist die erweiterte Sensorbestückung um GPS-Empfänger, Neigungssensor, Magnetometer (digitaler Kompass), Gyroskop und Beschleunigungsmesser. Damit können mit einem handlichen Gerät durch positionsbasiertes Tracking Outdoor-Anwendungen für ein breites Publikum realisiert werden. Es entstanden in vergangener Zeit einige AR-Smartphone-Apps, auch AR-Browser genannt. BUTCHART (2011) gibt dazu einen aktuellen Überblick. Die Apps unterscheiden sich im Wesentlichen bezüglich der System-Plattformen (iOS, Android, Symbian, Nokia), der zur Verfügung stehenden Tracking-Methoden (nur positions-basiert oder auch „marker-based“ oder „markerless“) und des darstellbaren AR-Contents (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht Smartphone-AR-Apps (BUTCHART 2011)

| App | Plattform | Tracking | | | Inhalt |
|------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|-------------|---------------------|
| | | Positions-basiert | marker-based | marker-less | |
| Layar | iOS, Android, Symbian | Ja | Nein | Nein | 3D, 3D-animiert, 2D |
| Junaio | iPhone, Android, Nokia (N8) | Ja | Ja | Ja | 3D, 3D-animiert, 2D |
| Wikitude API | iPhone, Android, | Ja | Nein | Nein | 3D, 2D |
| Wikitude Worlds | iPhone, Android, Symbian | Ja | Nein | Nein | 2D |
| Sekai Camera | iPhone, Android, iPad, iPodTouch | Ja | Nein | Nein | 2D |
| Libre Geo Social | Android | Ja | (Ja) | Plug-In | 2D |

2.3 Kombinierbare Applikationen

Mit AR4BC (Augmented Reality for Building and Construction) entwickelten WOODWARD et al. (2010) einen professionellen und den bis dato komplettesten Outdoor-Viewer. Dieser zeichnet sich durch seinen modularisierten Aufbau aus. Das 4DStudio-Modul ermöglicht

das Einlesen von Gebäude-Modellen und dessen Verknüpfung mit einem Projekt-Zeitplan für zeitabhängige Darstellungen. Im MapStudio-Modul werden die Modelle georeferenziert. Der OnSitePlayer übernimmt die kombinierte Visualisierung der virtuellen und realen Welt durch Augmented Reality, wobei dieser entweder als Standalone- oder, im Fall von grossen Modellen, als Client-Server-Applikation eingesetzt werden kann. Dies hat den Vorteil, dass rechenintensive Rendering-Operationen auf einen Server ausgelagert werden können, der Client nur noch für das Tracking zuständig ist und die gerenderten sphärischen 2D-Bilder vom Server zur Darstellung übermittelt bekommt. Dies setzt jedoch voraus, dass sich der Benutzer, während der Betrachtung einer Visualisierung, nicht fortbewegt. Ein Schwenken und Drehen ist hingegen möglich, da die exakte Nachführung des sphärischen 2D-Bildes durch Kamera-Tracking sichergestellt ist.

Ein wesentlicher Vorteil von OnSitePlayer ist, dass er auch auf unterschiedlichen Endgeräten zum Einsatz kommen kann: Laptops, Handhelds, Mobilephones.

Bei einem stationären Einsatz (bspw. mit Laptop) reduziert sich das Tracking-Problem, nach der initialen Bestimmung der Position, auf die Detektion der Orientierung. Diese wird durch Feature-Tracking sichergestellt. Die Initialisierung erfolgt entweder mit GPS und einem digitalen Kompass, über eine interaktive Karte oder durch Definition von sechs oder mehr korrespondierenden Punkten im 3D-Modell und einem Video-Frame. Durch das Tracking sind gewisse Drift-Effekte nicht auszuschließen (WOODWARD et al. 2010).

3 Resultate

Um die Möglichkeiten von AR auf einem Smartphone zu testen, wurde ein iPhone 4 mit der App „Layar“ verwendet (vgl. Tab. 1). Als virtuelles Modell, welches ein Planungsszenario simuliert, wurde ein 3D-Modell des FHNW Campus Muttens erstellt und eingesetzt. Das 3D-Modell wurde teilweise texturiert und lag nach dessen Erstellung im Collada-Datenformat (XML-basiertes offenes Austauschformat für 3D-Modelle und Texturen) vor.

Die folgende Beschreibung gibt die notwendigen Arbeitsschritte wieder, welche als Pre-Processing für eine anschließende AR Anwendung notwendigerweise durchgeführt werden müssen. Es wird davon ausgegangen, dass das 3D-Modell aus einem vorgeschalteten Arbeitsprozess existiert (bspw. durch Konstruktion eines Architekten) und dieses in einem für Google SketchUp lesbarem Format vorliegt:

1. Zu Beginn muss das 3D-Modell in Google SketchUp importiert und auf der korrekten Geländehöhe platziert werden.
2. Als nächstes ist eine Konvertierung in das obj-Format, ein 3D-Format zur Speicherung von Geometrie- und Texturinformationen entwickelt durch Wavefront Technologies, erforderlich (bspw. mittels der Feature Manipulation Engine FME), um dieses anschließend in der Software Layar3D Model Converter importieren zu können.
3. Im Layar3D Model Converter wird die Georeferenzierung festgelegt und das Modell in das Layar-Zielformat (l3d) exportiert.
4. Über eine Plattform muss nun das Modell für Layar zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht über das Anlegen einer Ebene oder Overlay auf der online-Plattform Hoppala (augmentation.hoppala.eu). In Hoppala ist ein sog. Augment (Objekt) zu er-

fassen. schließlich wird diesem Augment die zuvor generierte l3d-Datei als 3D-Modell zugewiesen.

5. Nun muss die in Hoppala angelegte Ebene (Overlay) einem in Layar zu definierenden Layer als Quelle angegeben werden. Dazu wird auf der Webseite www.layar.com ein neuer Layer angelegt und als sog. Endpoint-URL die Hoppala-Overlay-URL eingetragen. Erst jetzt ist die Layar App auf dem iPhone in der Lage, auf das 3D-Modell des Campus über eine mobile Datenfunkverbindung zuzugreifen.

Wird nun auf dem iPhone die Layar App gestartet, kann der eben erstellte Layar-Layer ausgewählt werden und steht dem Layar-Browser zur Verfügung.

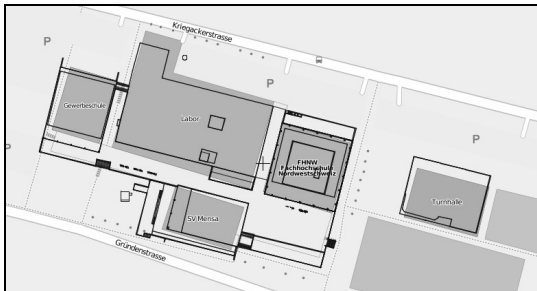


Abb. 5: Georeferenzierung des Modells auf Basis der OSM-Karte im Layar3D Model Converter

Nebst dem recht aufwendigen und durch einen Fachmann durchzuführenden Arbeitsgang ist die Georeferenzierung ein weiterer Schwachpunkt. Sie ist nur mangelhaft möglich und erfolgt in der Lage auf Basis einer OpenStreetMap (OSM)-Karte. Die OpenStreetMap-Karte weist jedoch eine eingeschränkte Genauigkeit auf und liegt nicht flächendeckend gleich detailliert vor. Hinsichtlich der Höhe ist eine Platzierung des Modells gegenüber einem künstlichen Null-Horizont der Erdoberfläche notwendig. So müssen bereits bezüglich der Georeferenzierung erhebliche Genauigkeitsverluste in Kauf genommen werden (vgl. Abb. 5).



Abb. 6: AR-Szene des Campus Muttenz mit texturiertem Hauptgebäude und untexturierten Nebengebäuden, Blickrichtung nach Westen

Dennoch ist das Resultat anschaulich, wie ein Vergleich zwischen dem 3D-Modell (in Abb. 6 im Vordergrund) und der Realwelt (in Abb. 6 im Hintergrund) zeigt. Einen weiteren genauigkeits-vermindernden Einfluss weisen die eingeschränkten Sensor-Genauigkeiten des Smartphones beim Tracking auf.

4 Fazit und Ausblick

4.1 Fazit

AR ist eine etablierte Technologie und findet vor allem in Experten-Systemen Anwendung. Die Hauptproblematik liegt bei der System-Komponente „Tracking“. Die Bestimmung der Position und Orientierung des AR-Systems muss mit genügender Genauigkeit erfolgen, andernfalls wird AR in vielen Anwendungen nicht akzeptiert (AZUMA 1997). Durch die zunehmende Verbreitung und der fortschreitenden Miniaturisierung mit gleichzeitiger Leistungssteigerung von mobilen Devices (Smartphones) nimmt auch der Markt potenzieller Laien-Benutzer stetig zu.

Als zusätzliche Methode, um geplante Gebäude in ihrer tatsächlichen späteren Umgebung zu visualisieren hat sich AR vereinzelt bereits bewährt. Entsprechende Hard- und Software-Systeme für den partizipativen Planungsansatz und die Modellierung vor Ort existieren und werden weiterentwickelt, haben aber den Sprung in den Alltag von Architekten und Behörden bisher noch nicht geschafft. Zusätzlich steht einer Ablösung der bis anhin errichteten Bauprofile auch eine gesetzliche Hürde im Weg, da das Gesetz explizit die Erstellung von Bauprofilen verlangt (REGIERUNGSRAT KANTON BASEL-LANDSCHAFT 1999).

Aufgrund des verhältnismäßig komplexen Workflows zur Bereitstellung von 3D-Modellen in AR-Browsern (siehe Abschnitt 3) und der erzielten Resultate dürfte der Einsatz von AR auf Smartphones mit unterschiedlichen Nutzergruppen in der Bau- und Siedlungsplanung gegenwärtig noch schwierig sein, weil die erforderliche Genauigkeit bei der Überlagerung von Modell und Realwelt in Echtzeit auf Smartphones noch zu wenige präzise ist und dem Betrachter einen stark synthetischen Eindruck hinterlässt. Zu sehr wird er mit der Aufgabe der Überlagerung von Modell und Realität beschäftigt um sich auf die eigentliche Aufgabe, der Beurteilung der erstellten Planung zu konzentrieren.

4.2 Weiterentwicklungen

Im Bereich des Trackings können durch Kombination unterschiedlicher Methoden und Sensoren und derer Weiterentwicklung bei adäquatem Einsatz noch Genauigkeit- und Zuverlässigkeitssteigerungen erzielt werden. Ansätze und Absichten dazu formulieren u. a. REITMAYR & DRUMMOND (2006), BEHZADAN & KAMAT (2007), IZKARA (2009) UND WOODWARD et al. (2010). So sollen z. B. in einem videobasierten AR-System durch Feature-Tracking in den Bilddaten relative Orientierungsänderungen bestimmt werden, die dann wiederum das absolute Tracking des Systems stützen. Oder die initiale Position und Orientierung durch GNSS und Digitalkompass wird a-priori zum Rendern des Modells verwendet, welches im Anschluss mit der Realität verglichen wird, woraus eine optimierte Kamera-Position und -Orientierung berechnet werden kann.

Die Steigerung der visuellen Darstellung hin zu einer möglichst realitätsnahen Visualisierung durch komplexere Rendering-Operationen (BEHZADAN & KAMAT 2007) und die Verbesserung der Objekt-Ausblendung (HERLING & BROLL 2010) werden ebenso aufgeführt. Diese Bestrebungen erfordern jedoch mehr Rechenleistung, was wiederum den Energieverbrauch erhöht. Diesbezüglich nennen BEHZADAN & KAMAT (2007) die Miniaturisierung der Hardware bei mehr Rechenkapazität und weniger Energiebedarf als Herausforderung für die Zukunft.

4.3 Zukunft und Visionen

WOODWARD et al. (2010) sehen die Zukunft von AR auf kompakten mobilen Endgeräten, bspw. Smartphones. Durch die Einführung des Client-Server-Prinzips für AR-Anwendungen ist es möglich, aufwendige Rechenoperationen an einen Server zu übertragen, während das Smartphone nur noch die Aufgaben des Trackings und der Visualisierung auf dem Display übernimmt. Das würde auch komplexere AR-Anwendungen einem breiten Publikum zugänglich machen (WOODWARD et al. 2010), erfordert jedoch eine mobile Internet-Verbindung möglichst über ein WLAN.

Einen Ausblick in die Zukunft von Augmented und Virtual Reality wagen DAWOOD et al. (2009) mit ihrer Roadmap 2030. Sie sehen als Schlüsselprozess die Vereinfachung der Technologie, um dadurch die Verfügbarkeit und Integration in neuen Anwendungen sicherzustellen. Weiter schreiben sie AR das Potenzial zu, als Bindeglied zwischen Designern, Ingenieuren und Architekten in digitalen Modellierungsprozessen zu wirken und so die gesamte Projektlaufzeit zu visualisieren.

Literatur

- AZUMA, R. (1997), A Survey of Augmented Reality. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- BEHZADAN, A. & KAMAT, V. (2007), Georeferenced Registration of Construction Graphics in Mobile Outdoor Augmented Reality. In: *Journal of Computing in Civil Engineering*, 21 (4), 247-258.
- BILLINGHURST, M., HAKKARAINEN, M. & WOODWARD, C. (2008), Augmented assembly using a mobile phone. In *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. Umea, Schweden: ACM, 84-87.
- BIMBER, O. & RASKAR, R. (2005), *Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters, Wellesley, Massachusetts.
- BUTCHART, B., (2011), *Augmented Reality for Smartphones – A Guide for Developers and content publishers*. http://observatory.jisc.ac.uk/docs/AR_Smartphones.pdf (19.01.2012).
- CHEHIMI, F., COULTON, P. & EDWARDS, R. (2007), Augmented Reality 3D Interactive Advertisements on Smartphones. In *International Conference on the Management of Mobile Business*, 21.
- DAWOOD, N., KAZI, A., AOUAD, G. & BALDWIN, A. (2009), VR-roadmap: a vision for 2030 in the built environment. *Journal of Information Technology in Construction*, 14 (Special Issue Next Generation Construction IT: Technology Foresight, Future Studies, Roadmapping, and Scenario Planning), 456-506.

- DURLACH, N. & MAVOR, A. (1995), *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*. National Academy Press, Washington, D.C.
- FELIX, N., TORPUS, J. & WIEDMER, M. (2008), *Negotiating Reality*. In *Undisciplined! Design Research Society Conference*. Sheffield Hallam University, Sheffield, UK.
- HERLING, J. & BROLL, W. (2010), *Advanced self-contained object removal for realizing real-time Diminished Reality in unconstrained environments*. In: *Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 9th IEEE International Symposium, 207-212.
- IZKARA, J., PÉREZ, J., BASOGAIN, X. & BORRO, D. (2009), *Mobile Augmented Reality, an Advanced Tool for the Construction Sector*. In *Proc 24th CIB W78 Conference*. 453-460.
- KHAN, M. & DONG, A. (2011), *Geo-Located Augmented Reality as a Platform for Citizen Engagement*. In: *International reports on socio-informatics*, 8 (2), 32-40.
- KLINKER, G., STRICKER, D. & REINERS, D. (2001), *Augmented Reality for Exterior Construction Applications*. In W. BARFIELD & T. CAUDELL (Eds.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah, 379-427.
- KNECHTLI, P. (2006), *Das geplante neue Basler Stadt-Casino zeigt Profil*. <http://www.onlinereports.ch/Kultur.111+M58de6a80b4f.0.html> (20.10.2012).
- KORN, M. (2011), *Place and Situated Deliberation in Participatory Planning – A Research Proposal*. In: *International reports on socio-informatics*, 8 (2), 41-48.
- KROGH, P. (2000), *Interactive rooms – augmented reality in an architectural perspective*. In *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*. ACM, Elsinore, Denmark, 135-137.
- MARGADANT, C. (2007), *Bauprofil des zukünftigen Prime Towers abgebaut. 20 Minuten Online*. <http://www.20min.ch/news/zuerich/story/23319330> (19.01.2012).
- MILGRAM, P. & KISHINO, F. (1994), *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. In: *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D (12), 1321-1329.
- REGIERUNGSRAT KANTON BASEL-LANDSCHAFT (1999), *Verordnung zum Raumplanungs- und Baugesetz*.
- REITMAYR, G. & DRUMMOND, T. (2006), *Going out: Robust modelbased tracking for outdoor augmented reality*. In *Proceedings of 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Santa Barbara, CA, 109-118.
- SCHMALSTIEG, D. & WAGNER, D. (2008), *Mobile Phones as a Platform for Augmented Reality*. *Symposium: A Quarterly Journal in Modern Foreign Literatures*, 1, 5-6.
- WELLNER, P. (1993), *Interacting with paper on the DigitalDesk*. In: *Commun. ACM*, 36 (7), 87-96.
- WOODWARD, C., HAKKARAINEN, M., KORKALO, O., AITTALA, M., RAINIO, K. & KÄHKÖNEN, K. (2010), *Mixed Reality for mobile construction site visualization and communication*. In *Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2010)*. Sendai, Japan, 35-44.