

2. Preis in der Gruppe der Masterarbeiten und Diplom-Arbeiten (TUB) für seine Master-Arbeit:

## Einsatzmöglichkeiten der „Augmented Reality“ für geodätische Zwecke

### Prototypentwicklung eines AR-Systems zur Visualisierung von Geodaten

Verfasser: Ulf Kreuziger M.Sc. (Kurzfassung)

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Hehl · 2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Werner Stempfhuber

#### Zusammenfassung

Verschiedene technische Entwicklungen der jüngsten Vergangenheit begünstigen die Entwicklung von Anwendungen auf dem Gebiet der Augmented Reality. Hierbei kommt der Entwicklung von Handheld Displays und den im Rahmen von INSPIRE<sup>1</sup> im Aufbau befindlichen Geodateninfrastrukturen eine besondere Bedeutung zu. Gegenstand einer Masterarbeit im Studiengang Geodatenerfassung und -visualisierung [Kreuziger 2011] war es, ein Augmented Reality-System Prototypen zu entwickeln, mit dem sich Geodaten direkt vor Ort auf einem Tablet-PC gemeinsam mit einem Live-Video-Bild in einer 3D-Egoperspek-

tive des Anwenders visualisieren lassen (vgl. Abbildung 1).

#### 2 Einleitung, Motivation und Ziel

Heutige Tablet-PCs verfügen regelmäßig über eine nach vorne gerichtete Kamera und ein berührungsempfindliches Display, auf dem das Bild der Frontkamera als Live-Video-Bild dargestellt werden kann.

Wenn es nun gelänge, beliebige georeferenzierte Daten mit dem Live-Video-Bild gemeinsam darzustellen, könnte man die Realität, in Form des Video-Bildes, entsprechend um beliebige virtuelle Objekte erweitern. Daraus würden sich für verschiedenste Branchen unterschiedliche

Anwendungen ergeben, die sich alle auf dasselbe Grundprinzip zurückführen lassen. Beispielsweise könnten Vermesser Grenzsteine und Grundstücksgrenzen darstellen oder Architekten neu entworfene Bauwerke direkt vor Ort in das Echtzeitbild einblenden. Neben den selbst produzierten Daten stehen darüber hinaus über die im Rahmen von INSPIRE entstehenden Geodateninfrastrukturen eine Vielzahl von Geodaten (Bauplanungsgrenzen, Windeignungsgebiete, Naturschutzgebiete, Biotope, etc.) mit einheitlichen Normungen öffentlich und teilweise kostenlos über das Internet zur Verfügung. Damit könnten Benutzer bei Gebietserkundungen vorhandene geore-



Abbildung 1: Augmented Reality Applikation mit Datensicht in 3D-Egoperspektive

ferenzierte Daten in die Anwendung laden und anzeigen.

„Eine Motivation zur Entwicklung eines Augmented Reality-Systems war es, die derzeitigen Bearbeitungsmethoden der Bodenordnung durch Schaffung eines neuen Außendienstwerkzeuges für die Erkundung und Planungsüberprüfung weiter zu entwickeln.

In der aktuellen Bearbeitungsweise von Bodenordnungsverfahren werden zu Beginn und im Verlauf eines Verfahrens örtliche Gebietserkundungen lediglich unter Zuhilfenahme von Karten und Plänen durchgeführt, um sich einen Eindruck der Gegebenheiten vor Ort zu verschaffen. Hierbei steht der jeweilige, regelmäßig nicht ortskundige Bearbeiter vor der Schwierigkeit, sich präzise und zielgerichtet im Gelände zu orientieren, um dann die in den Karten eingezeichneten Objekte (Freileitungen, Biotope, etc.) den in der Natur vorgefundenen Gegenständen zuzuordnen. Darüber hinaus lassen sich andere Objekte nicht direkt in der Natur erkennen, z.B. unterirdische Leitungen oder Grenzen von Windeignungsgebieten.

Im Ergebnis einer Bodenordnung entsteht unter anderem auch eine gänzlich neue Flurstücksstruktur des Gebietes. Hierzu werden die neuen Flurstücke den Bodeneigentümern vor Ort angezeigt. Dies erfolgt durch Absteckung und Signalisierung der Grenzpunkte mit den bekannten Methoden der Vermessung (GNSS/terrestrische Vermessung). Mittels geeigneter Kartenausschnitte können die in der Karte dargestellten Grenzpunkte den örtlich abgesteckten Grenzpunkten zugeordnet und den Bodeneigentümern die Grenzverläufe vor Ort erklärt werden. Jedoch fällt dabei das Auffinden der markierten Grenzpunkte nicht immer leicht und auch die Grenzverläufe sind teilweise schwer nachvollziehbar, da eine direkte Sicht zwischen den einzelnen Grenzpunkten in der Natur aufgrund weiter Strecken oder bewegter Topographie nicht immer möglich ist.

Für beide der vorgenannten Anwendungsfälle kann ein Instrument, das die Realität mit virtuellen Elementen anzureichern vermag, die praktische Arbeit sehr unterstützen. Ein entsprechendes System müsste sich durch ein geringes Gewicht, transportable, ausdauernde und witterungsunabhängige Technik auszeichnen, um über mehrere Stunden und bei jedem Wetter im Gelände eingesetzt werden zu können. Zudem sollte es mehrbenutzerfähig sein, um anhand der

visualisierten Ergebnisse konstruktive Diskussionen direkt vor Ort führen zu können.“ [Kreuziger u. Hehl 2012]

Der vorliegende Artikel geht zunächst auf die Definition und die allgemeinen Bestandteile eines Augmented Reality-Systems ein und beschreibt danach, welche konkreten Bestandteile das entwickelte Prototyp-System hat. Später wird benannt, was das System bereits jetzt leisten kann und an welchen Stellen die Weiterentwicklung ansetzt.

### 3 Augmented Reality und AR-Systeme

Die Augmented Reality (AR, dt. *Erweiterte Realität*) ist eine Form der Mensch-Technik-Interaktion. Hierbei werden dem Anwender verschiedenartige Informationen in sein Sichtfeld eingeblendet, z.B. über Handheld Displays oder über Datenbrillen. Die Einblendung der Information erfolgt hierbei kontextabhängig [Bill u. Zehner 2001]. Ebenfalls kann durch die Anreicherung der unmittelbaren Realität mit zusätzlichen Informationen, die die natürlichen Sinnesorgane des Menschen ergänzen, von Erweiterung der Realität gesprochen werden. AR ist folglich nicht allein auf visuelle Interaktion bezogen, sondern kann auch die Sinne Hören, Riechen, Schmecken, Tasten einbeziehen. [Azuma u. a. 2001]

Aus technischer Sicht müssen AR-Systeme folgende Eigenschaften besitzen:

- sie kombinieren reale und virtuelle Objekte in einer realen Umwelt,
- sie laufen interaktiv und in Echtzeit und
- sie stellen reale und virtuelle Objekte in Bezug zueinander (3D-Registrierung) [Azuma 1997, Azuma u. a. 2001].

Um AR in einen globalen Kontext einzuordnen, kann man sich dem Modell des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums (engl. Reality-Virtuality-Continuum) bedienen. Darin wird der Bereich zwischen realer Welt und virtueller Welt als Gemischte

Realität (engl. Mixed Reality) bezeichnet [Milgram u. Kishino 1994]. Wie der Abbildung 2 entnommen werden kann, ist die Erweiterte Realität in diesem Bereich, jedoch näher in Richtung „Realität“ und weiter entfernt der „Virtualität“ einzuordnen.

Erste technische Entwicklungen im Kontext der Erweiterten Realität fanden bereits in den 60er Jahren statt. 1968 entwickelte der Amerikaner Ivan Sutherland das wohl erste Head-Mounted-Display [Bimler u. Raskar 2005]. Vor allem die fortgeschrittene Hardwareentwicklung tragbarer Computer (Handhelds) in jüngster Zeit haben der AR einen neuen Aufwind gegeben. Von einem großen Anbieter von Marktforschungsergebnissen (Gartner, Inc.) wird nunmehr geschätzt, dass AR in den kommenden 5 bis 10 Jahren vollständig in der Gesellschaft bzw. im Alltag etabliert sein wird. Aktuell ist bereits jetzt zu beobachten, dass auf dem Mobil- und Smartphone-Markt im Rahmen der ortsbezogenen Anwendungen (engl. location-aware Apps) große Aktivitäten stattfinden [Fenn 2010].

### 4 Allgemeine Bestandteile eines AR-Systems

Um die oben aufgeführten Eigenschaften von AR-Systemen zu erfüllen, sind verschiedene Bestandteile erforderlich, die sich in drei wesentliche Bereiche einteilen lassen [Tönnis 2010]:

- Tracking,
- Darstellung und
- Interaktion.

Hierbei bezeichnet man den Prozess der Lagebestimmung des Betrachters oder von Objekten als Tracking [Tönnis 2010] und die Zweiwege-Kommunikation zwischen Computer und Benutzer als Interaktion [Bill u. Zehner 2001]. Die Darstellung wiederum ist an das anzusprechende Sinnesorgan gebunden und kann z.B. akustisch, visuell oder haptisch erfolgen. Als Apparat zur Bündelung der Bestandteile dient im Allgemeinen ein Rechner,

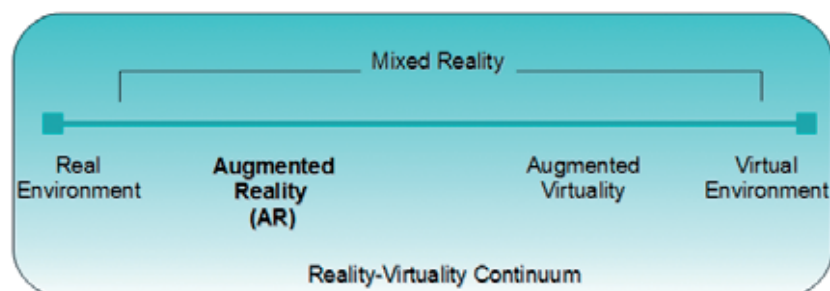


Abbildung 2: Reality-Virtuality Continuum [Milgram u. Kishino 1994]



Abbildung 3: Low Cost Kompassmodul mit Beschleunigungs- und Magnetfeldsensor

der auch über eine Rendering<sup>2</sup>-Funktionalität verfügt.

### 5 Entwicklung des Prototypen

Die primäre Zielstellung der Masterarbeit war es, mit auf dem Markt erhältlichen Komponenten ein einsatzfähiges AR-System aufzubauen und fehlende Softwarekomponenten selbst zu entwickeln. Durch das Labor für „Geodätische Mess-

technik“ des Fachbereichs wurde der Outdoor-Tablet-PCs Trimble Yuma (vgl. Abbildung 1) beschafft und für die Entwicklung zur Verfügung gestellt. Er vereint in sich wichtige Hardwarebestandteile, wie

- einen CMOS-Kamerasensor,
- einen GPS-Sensor und
- ein berührungsempfindliches Display.

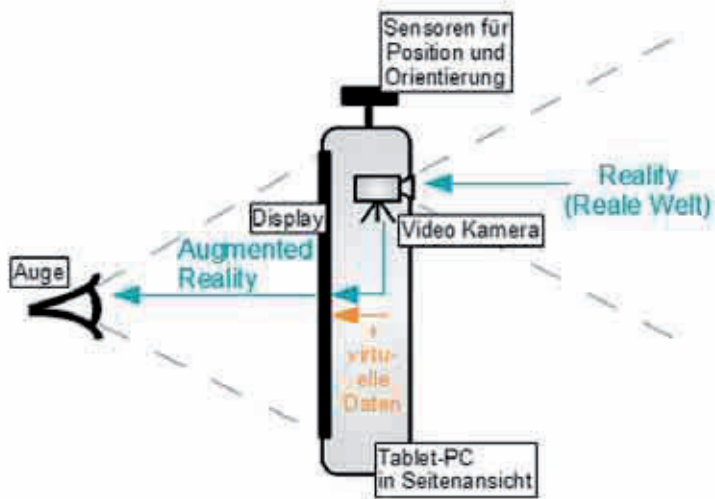


Abbildung 4: Augmented Reality mittels video see-through Prinzip

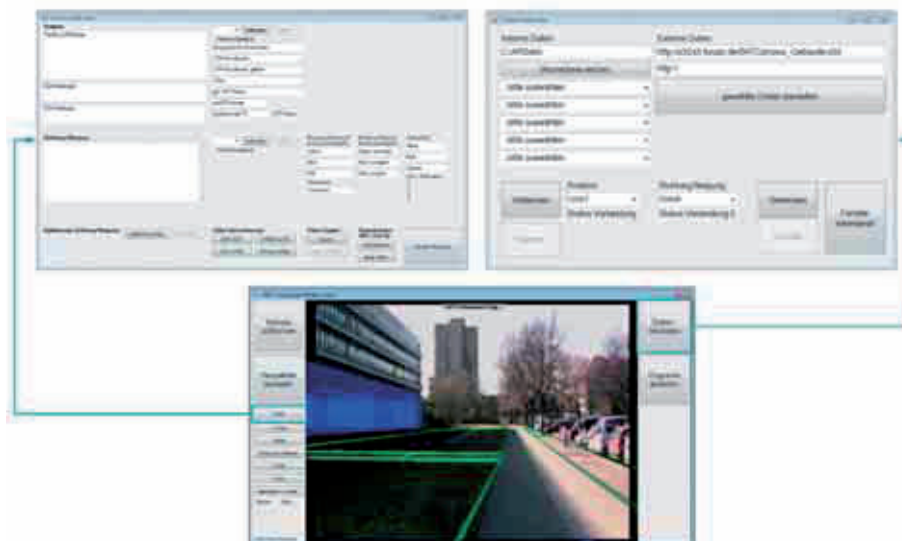


Abbildung 5: Hauptoberfläche der AR-Anwendung (unten), Oberfläche „Daten/Verbinden“ (oben rechts), Oberfläche „Tools/Einstellungen“ (oben links)

Da der Trimble Yuma nicht über interne Richtungssensoren verfügt, werden zur Bestimmung der Orientierungswinkel externe Sensoren notwendig.

Für das vorliegende System wurde ein Low Cost Kompass-Modul mit

- einem dreiachsigen Beschleunigungs- und
- einem dreiachsigen Magnetfeldsensor

verwendet. Hierbei wurde es erforderlich, die Platine in einem geeigneten Gehäuse zu verbauen (vgl. Abbildung 3) und am Tablet-PC zu befestigen. Bedingt durch die verwendeten Sensoren beruht das entwickelte AR-System auf den Prinzipien Laufzeitmessung, Inertialsensorik und Direkter Feldabtastung. Es stellt somit ein Hybrid-Tracking-System dar.

Hierbei wird die Möglichkeit der visuellen Darstellung mit einem Handheld Display genutzt, wobei die Überlagerung der virtuellen Objekte mit einem Live-Video-Bild nach dem video see-through Prinzip erfolgt (vgl. Abbildung 4).

Insgesamt wurde bei der Aufstellung der Systemarchitektur darauf geachtet, den Softwarebestandteil des Systems unabhängig von der Hardware (Sensorik, Tablet-PC) zu entwickeln, um die Applikation auf verschiedenen Plattformen einsetzen und von zukünftigen technischen Hardwareweiterentwicklungen profitieren zu können.

Gemeinsam mit den vorgenannten (austauschbaren) Hardware-Komponenten bilden die nachstehenden Softwarekomponenten das derzeitige AR-System:

- eine Anwendungsoberfläche (Eigenprogrammierung)
- ein OCX-Steurelement<sup>3</sup> / X3D-Viewer (BS Contact, Bitmanagement GmbH) sowie
- Programm-Klassen für die Sensordat-

1 Infrastructure for Spatial Information in Europe; Akronym für die Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft

2 Bezeichnung für die Umsetzung einer real dreidimensionalen Szenerie in eine zweidimensionale Darstellung durch Projektion der 3-D-Objektdarstellung in die 2-D-Bildschirmdarstellung. [Bill u. Zehner 2001, S.225]

3 engl. OCX-Control, Objekt Linking and Embedding custom control

4 www.vlf-brandenburg.de



tenverarbeitung (Eigenprogrammierung) und

- Programm-Klassen für die Geodatenverarbeitung (Eigenprogrammierung).

Die Anwendungsoberfläche wurde programmiert, um Soft- und Hardware zusammenzuführen, das System zu bedienen und um Einstellungen am System vorzunehmen (vgl. Abbildung 5). Die Entwicklung der Oberfläche erfolgte hierbei mit der Software Microsoft Visual Studio 2010 im .NET Framework.

### 6 Auszug aus den Feld- und Laborversuchen

Um erste Erfahrungen mit der erweiterten Realität sowie der Sensorik zu sammeln und die Auswirkungen der getätigten Programmierungen bewerten zu können, standen

- zwei Bodenordnungsgebiete im ländlichen Raum mit umfangreichen Grafikdaten,
- verschiedenen Lagefestpunkte,
- ein dreidimensionales Testfeld für photogrammetrische Zwecke,
- ein nichtmagnetischer Messpfeiler und
- ein Innenlabor

zur Verfügung.

Im Labor und auf dem Messpfeiler wurden u.a. Versuche mit Magnetfeldsensor des Kompassmoduls durchgeführt. Der verwendete Tablet-PC Trimble Yuma verfügt über einen Erweiterungsschacht, in dem das Kompassmodul mit den Abmaßen 2.5 x 2.5 x 0.8 cm eingebaut werden

könnte. Im Rahmen einer Versuchsreihe wurde jedoch festgestellt, dass der Magnetfeldsensor des Kompassmoduls fehlerhafte Messwerte ausgibt und an Trägheit zunimmt, je näher es sich am Tablet-PC befindet. Als Hauptursachen werden die magnetische Stifthalterung und die beiden großen Akkumulatoren vermutet. Diesbezüglich wurden Versuche unternommen, bis auf welche Entfernung das Kompassmodul an den Tablet-PC herangeführt werden kann. Hierzu wurde auch die mögliche Verwendung einer magnetischen Abschirmfolie getestet (vgl. Abbildung 6). Aus verschiedenen Magnetfeldversuchen wurde abgeleitet, dass sich die Effekte mittels Kalibrierung minimieren lassen und der Magnetfeldsensor ohne Abschirmung in einem Minimalabstand von ca. 30 cm vom Tablet-PC verwendet werden kann.

Die Ergebnisse aller Labor- und Feldversuche bezüglich der verwendeten Sensorik und zum AR-System allgemein sowie Aussagen zu den erreichbaren



Abbildung 7: AR-System Prototyp

Genauigkeiten des Systems werden in der Masterarbeit ausführlich beschrieben.

### 7 Stand und zukünftige Weiterentwicklung

Im Rahmen der Masterarbeit ist ein einsetzbares Prototyp-AR-System (vgl. Abbildung 7) entstanden, dessen Funktionsstüchtigkeit gegeben ist, das als ausführbare Windows-Anwendungsdatei (\*.exe) zur Verfügung steht und auf beliebigen Tablet-PCs einsetzbar ist. Mit dem

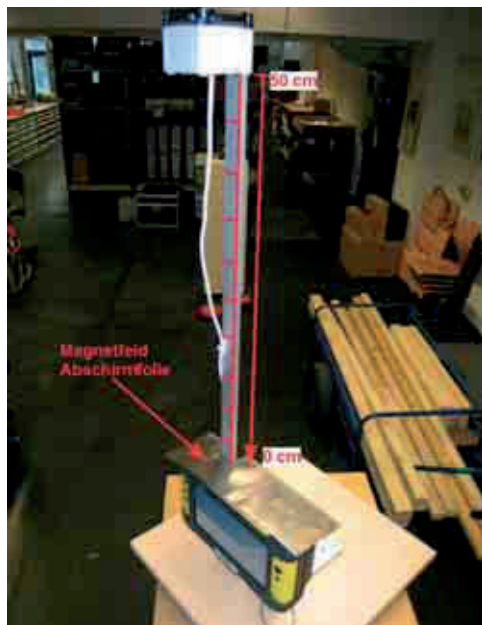
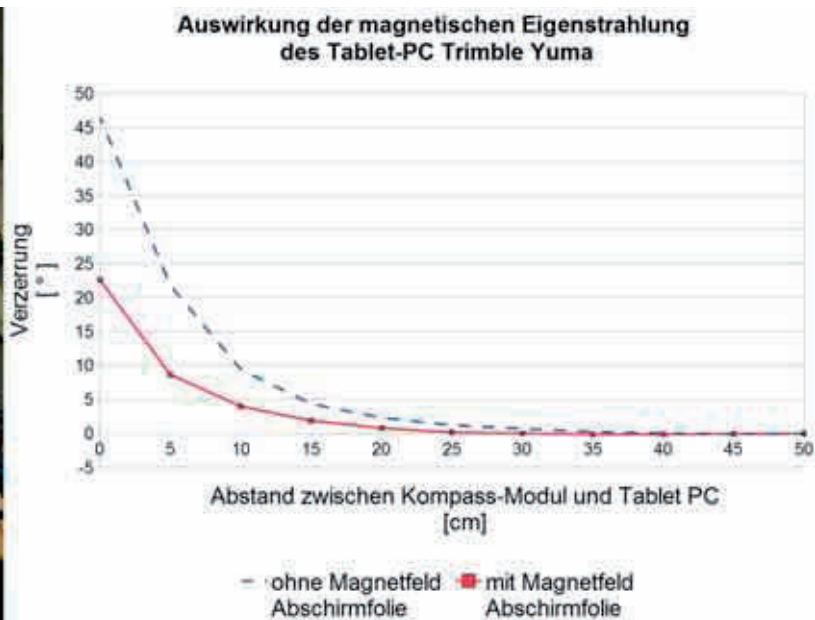


Abbildung 6: Versuche mit dem Magnetfeldsensor





**Prof. Dr.-Ing. Udo Kraft, Ulf Kreuziger, Dr.-Ing. Jens Karstedt**

derzeitigen Entwicklungsstand des Systems ist es dem Anwender möglich, Geodaten im X3D-Format von einem lokalen Datenträger oder aus dem Internet zu laden und anzuzeigen. Ebenfalls ist eine Datenkonvertierung digitaler Vektordaten anderer Formate in das X3D-Format mit den programmierten Werkzeugen des Systems möglich.

Es gilt nun das System in der Praxis zu erproben und schrittweise weiterzuentwickeln. Zukünftig sollen Online-Datenabfragen an die Geodateninfrastrukturen (z.B. GDI-BE/BB) unter Nutzung der bereitgestellten Services (z.B. Web Feature Services) mit automatischer Konvertierung und Anzeige der Daten direkt vor Ort ermöglicht werden. Ebenfalls soll das System mit anderen Sensoren getestet

und ggf. erweitert werden, z.B. präzise Low Budget GNSS-Empfänger und kreiselgestützte Orientierungsaufnehmer. Darüber hinaus bildet die Einbeziehung von Geländemodellen zur dreidimensionalen Datenaufbereitung und Höhenbestimmung einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt.

Als Partner für die Erprobung und Weiterentwicklung des AR-Systems konnte der Verband für Landentwicklung und Flurneuordnung Brandenburg<sup>4</sup> gewonnen werden.

**Literatur**

[Azuma u. a. 2001]  
AZUMA, Ronald ; BAILLOT, Yohan ; BEHRINGER, Reinhold ; FEINER, Steven ; JULIER, Simon ; MACINTYRE, Blair: Recent Advances

in Augmented Reality. In: *IEEE ComputerGraphics* 21 No. 6 (2001), S. 34-47

[Azuma 1997]  
AZUMA, Ronald T.: A Survey of Augmented Reality. In: *Presence* 6 No. 4 (1997), S. 355-385

[Bill u. Zehner 2001]  
BILL, Ralf ; ZEHNER, Marco L.: *Lexikon der Geoinformatik*. Heidelberg : Herbert Wichmann, 2001

[Bimber u. Raskar 2005]  
BIMBER, Oliver ; RASKAR, Ramesh: *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Wellesley : A K Peters, Ltd., 2005

[Fenn 2010]  
FENN, Jackie: *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2010*. Stamford, USA : Gartner Corporate Marketing, 2010

[Kreuziger 2011]  
KREUZIGER, Ulf: *Einsatzmöglichkeiten der Augmented Reality für geodätische Zwecke*. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin - University of Applied Sciences, Masterarbeit, 2011

[Kreuziger u. Hehl 2012]  
KREUZIGER, Ulf ; HEHL, Klaus: *Entwicklung einer AR-Applikation für die Planung und Bodenordnung*. In: *zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* (2012). - (im Druck)

[Milgram u. Kishino 1994]  
MILGRAM, Paul ; KISHINO, Fumio: *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. In: *SPIE* 2351 (1994), S. 282-292

[Tönnis 2010]  
TÖNNIS, Markus: *Augmented Reality: Einblicke in die Erweiterte Realität (Informatik im Fokus)*. Heidelberg : Springer, 2010

## ~~Baukultur ist ... Ingenieurbaukunst~~

~~Prof. Dr.-Ing. Stephan Engelsmann~~

~~„Von der Komposition zum Detail sorgfältig und mit dem Anspruch einer ganzheitlichen Qualität gestaltet, werden Ingenieurbauten vielmehr zu Ingenieurbaukunst.“~~

~~Stephan Engelsmann, Stuttgart~~

~~Es wird sehr gerne übersehen, dass sich die Baukunst in einer Reihe von Punkten erheblich von anderen Künsten unterscheidet. Bauwerke haben stets eine Funktion und in der Regel einen anderen Maßstab als Kunstwerke. Es ist der Maßstab, der ein Nachdenken über Statik, Tragverhalten und Fertigung unabdingbar macht: ein sehr einfacher Zusammenhang, der die Baukunst untrennbar mit den Ingenieurwissenschaften verknüpft.~~



© Staatl. Akademie der Bildenden Künste Stuttgart

~~Die Schöpfer von Baukunst sind Architekten und Bauingenieure gleichermaßen. Die Beiträge der beiden Disziplinen sind von der Bauaufgabe abhängig. Unter Ingenieurbauten verstehen wir die Bauwerke, die in der Regel von Bauingenieuren entwickelt, entworfen, konstruiert und bemessen werden. Unter Ingenieurbaukultur subsumieren wir sehr vielfältige Bauaufgaben, beispielsweise Infrastruktur und Verkehrswege. Straßen, Schienenwege und Wasserwege verbinden Men-~~

~~sehen und Kulturen. Eine funktionierende Infrastruktur ist die Voraussetzung für Mobilität und somit eine zentrale Grundlage einer globalisierten Gesellschaft.~~

~~Teil der Verkehrswege sind die Infrastrukturbauwerke: insbesondere Brücken und Tunnel. Infrastrukturbauwerke sind aber auch die Knotenpunkte der Verkehrswege wie Bahnhöfe, Häfen und Flughäfen. Es gilt einerseits, Hindernisse zu überwinden. Aber es gilt genauso, Verkehrsbauelemente in einen urbanen oder landschaftsarchitektonischen Kontext zu integrieren, dies in vielen Fällen in interdisziplinärer Arbeitsgemeinschaft mit Stadtplanern oder Landschaftsarchitekten.~~

~~Ingenieurbaukultur ist auch die Energiearchitektur. Darunter verstehen wir alle~~