

Entwicklung einer AR-Applikation für die Planung und Bodenordnung

Ulf Kreuziger und Klaus Hehl

Zusammenfassung

Die Augmented Reality (AR) ist eine Form der Mensch-Technik-Interaktion, bei der dem Anwender verschiedenartige kontextabhängige Informationen in sein Sichtfeld eingeblendet werden. Die Displays moderner Tablet-PCs können hierbei als Fenster in die Welt benutzt werden. An der Beuth Hochschule für Technik Berlin wurde im Rahmen einer Masterarbeit gezeigt, wie ein handelsüblicher Tablet-PC mit internen und externen Sensoren unter Verwendung von Extensible 3D (X3D) zu einem funktionierenden Augmented-Reality-System als Werkzeug für die Planung und Bodenordnung des Bundeslandes Brandenburg entwickelt wird. Hierbei wurden die benötigten Hard- und Softwarekomponenten zusammengestellt, beschrieben und mittels eigener Programmierungen zu einem offenen und erweiterbaren Gesamtwerk zusammengeführt.

Summary

Augmented Reality is a form of Man-Machine-Interaction in which the user gets various contextual informations in his/her field of vision. Displays on modern Tablet-PCs can here be used as a window into the world. Within a Master-thesis at the Beuth Hochschule für Technik Berlin – University of Applied Sciences – it is shown how a customary Tablet-PC, with internal and external sensors using the Extensible 3D (X3D), is developed for a running augmented reality system for use in land consolidation of the federal state Brandenburg. In this connection, the required Hard- and Software components will be arranged, described and brought together with own programming to an expandable complete work.

Schlüsselworte: Augmented Reality, Flurneuordnung, Bodenordnung, Vermessung, Geodaten

1 Motivation und Nutzen

Eine moderne Möglichkeit der Weiternutzung von Geofachdaten stellen Anwendungen der *Erweiterten Realität* dar. Im Rahmen der Umsetzung von INSPIRE und den damit entstehenden Geodateninfrastrukturen werden eine Vielzahl von Geofachdaten (Bauplanungsgrenzen, Wind-eignungsgebiete, Naturschutzgebiete, Biotope, etc.) mit einheitlichen Normungen bundes- und europaweit öffentlich und teilweise kostenlos über das Internet zur Verfügung gestellt. Sie bilden eine wesentliche Datenquelle für verschiedenste Anwendungsbereiche, u. a. auf dem Gebiet der ländlichen Entwicklung und Bodenordnung.

Hierbei können *bestehende Geofachdaten*, z.B. naturschutzrechtliche Geometrien und Sachdaten, für die Erkundung und *geplante Geofachdaten*, z.B. selbstproduzierte Grundstücksgrenzen, zur Kontrolle der Planungen direkt vor Ort in ein Live-Video-Bild auf dem Display eines Tablet-PCs eingeblendet werden (vgl. Abb. 1). Es erfolgt eine echtzeitfähige Verschneidung von Abbildungen der realen Welt mit den dreidimensionalen virtuellen Objekten. Bearbeiten ist es somit möglich, ihre Arbeitsergebnisse mit Hilfe des Systems eigenständig und ohne aufwendige Vermessungsarbeiten direkt vor Ort zu prüfen. Zur globalen Orientierung ist es dem Benutzer zusätzlich möglich, in den Modus der Vogelperspektive zu wechseln (vgl. Abb. 1, rechte Seite).

Eine Motivation zur Entwicklung eines AR-Systems war es, die derzeitigen Bearbeitungsmethoden der Bodenordnung durch Schaffung eines neuen Außendienstwerkzeuges für die Erkundung und Planungsüberprüfung weiterzuentwickeln.

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



Abb. 1: Überlagerung von Geofachdaten mit einem Live-Video-Bild (links, mitte), Datensicht aus exponierter Lage (rechts)

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 u. a. 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.

2 Das AR-System im globalen Kontext

Die *Erweiterte Realität* (engl. Augmented Reality) ist eine Form der Mensch-Technik-Interaktion. Hierbei werden dem Anwender verschiedenartige Informationen in sein Sichtfeld eingeblendet, z. B. über von Hand gehaltene 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 oder Tasten einbeziehen (Azuma u. a. 2001).

Im Jahr 1997 wurde von Ronald Azuma eine Definition der Eigenschaften von AR-Systemen aufgestellt (Azuma 1997) und 2001 ergänzt (Azuma u. a. 2001). Hiernach müssen AR-Systeme die Fähigkeit haben, reale und

virtuelle Objekte in einer realen Umwelt zu kombinieren. Zudem sollen sie interaktiv und in Echtzeit funktionieren und in der Lage sein, reale und virtuelle Objekte in Bezug zueinander zu stellen (3D-Registrierung). Um die Begriffe *Erweitert* und *Realität* in einen globalen Kontext einzuordnen, kann man sich dem Modell des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums (engl. Reality-Virtuality-Continuum) bedienen. Milgram und Kishino haben in ihrem Konzept den Bereich zwischen realer Welt und virtueller Welt als Gemischte Realität (engl. Mixed Reality) bezeichnet (Milgram u. Kishino 1994). Innerhalb des Kontinuum-Konzeptes ist die Erweiterte Realität im Bereich der Gemischten Realität einzuordnen, jedoch näher in Richtung Realität und weiter entfernt der Virtualität.

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 (Bimber u. Raskar 2005).

Mit dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt ARVIKA wurde Augmented Reality in den Jahren 1999 bis 2003 ganzheitlich erforscht und entwickelt. Das Bundesministerium stellte hierfür Fördermittel in Höhe von 10,8 Mio. Euro zur Verfügung (Friedrich 2004).

Von einem großen Anbieter von Marktforschungsergebnissen, der Gartner, Inc., wird geschätzt, dass es noch etwa fünf bis zehn Jahre dauert, ehe AR vollständig in der Gesellschaft bzw. im Alltag etabliert sein wird (Fenn 2010). Aktuell ist schon jetzt zu beobachten, dass insbesondere auf dem Mobil- und Smartphonemarkt im Rahmen der ortsbezogenen Anwendungen, z. B. Layar, große Aktivitäten stattfinden (Fenn 2010).

Als junges Beispiel einer Prototypentwicklung für ein AR-System gilt das österreichische Forschungsprojekt Vidente (2006–2008), das der Visualisierung unterirdischer Leitungsinfrastrukturen dient und auf dem Augmented-Reality-Framework »Studierstube« aufbaut (GRINTEC GmbH und TU Graz 2010). Neben »Studierstube« sind in den vergangenen Jahren einige weitere AR-Frameworks entwickelt worden, u. a. DWARF (Technischen Universität München), Tinmith (University of South Australia) oder MORGAN (Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik).

Die in diesem Beitrag vorgestellte AR-Applikation baut jedoch nicht auf einem bereits vorhandenen Framework auf, sondern es wird durch die Verwendung der ISO-standardisierten Grafikkbeschreibungssprache *Extensible 3D (X3D)* (ISO/IEC 19775-1.2:2008) unter Verwendung ihrer ISO-standardisierten Schnittstellen (ISO/IEC 19775-2.2:2010) ein anderer Weg bestritten. Damit wird an die Diplomarbeit des Erstautors aus dem Jahr 2002 angeknüpft, deren Forschungsgegenstand ein digitales 3D-Stadtmodell basierend auf der Virtual Reality Modeling Language, dem Vorgänger von X3D, war (Schwenkel u. Kreuziger 2002). Bereits in dieser Arbeit wurde erkannt, dass sich mit der Modellierungssprache und ihrer

Schnittstellen weiterführende Anwendungen erschließen lassen. Dieser Erkenntnis wird mit der Entwicklung einer AR-Anwendung, basierend auf X3D, nun Rechnung getragen.

Die weiterführende Idee ist, zunächst eine herkömmliche virtuelle Welt mit bekannten 3D-Modellierungswerkzeugen, wie Autodesk 3ds Max, Blender oder X3DEditor, im X3D-Format zu erstellen, um sie später direkt vor Ort unter Einbeziehung der realen Welt zu erkunden. Hierbei wird die reale Welt als Live-Video-Textur in das virtuelle Modell integriert (vgl. Abb. 3). Für die Zwecke der Bodenordnung beinhaltet diese virtuelle Welt datenseitig im einfachsten Fall lediglich die Grundstücksgrenzen. Grundsätzlich stellt X3D eine Beschreibungssprache zur Modellierung virtueller 3D-Welten für das Internet dar und gehört in den Bereich der virtuellen Realität. Diese Beschreibungssprache definiert wie dreidimensionale Objekte auszusehen haben, wie sie angeordnet sind und wie sie miteinander kommunizieren. Die ISO-Sprachstandards ermöglichen ergänzend dazu die Steuerung zeitlicher Abläufe in der virtuellen Welt und Multi-User Anwendungen im Internet. Aus statischen Objektanordnungen werden so dynamische Welten, die Interaktionen zulassen und Animationen beinhalten können. Alle Daten und Informationen der 3D-Welt werden im XML-Format abgespeichert und können in Internetbrowsern mit einem X3D-PlugIn betrachtet werden.

Insgesamt erschien X3D durch das hohe Maß an Standardisierung, Internet-Kompatibilität sowie dem großen

Funktionsumfang bei der Modellierung komplexer virtueller Objekte (Gebäude, Windkraftanlagen, etc.) besonders geeignet, den virtuellen Bestandteil des AR-Systems zu besetzen. Ebenfalls wurde vor der Aufnahme der Entwicklungsarbeiten eingeschätzt, dass die ISO-standardisierten Schnittstellen von X3D der Anbindung externer Sensorik genügen.

3 Realitäts-Virtualitäts-Modell des AR-Systems

Grundsätzlich wird bei dem entwickelten System die Realität in Form eines Live-Video-Bildes mit den virtuellen Objekten auf einem Tablet-PC Display überlagert. Dieses technische Prinzip wird als video see-through (vgl. Abb. 2) bezeichnet (Bajura u. a. 1992, Azuma 1997). Hierbei wird die reale Welt in Form von Videobildern und die virtuelle Welt durch gerenderte Bilder repräsentiert. Prinzipiell werden dabei die Videobilder der realen Welt durch eine Kamera aufgenommen, während die Bilder der virtuellen Welt im Renderingprozess der 3D-Szene generiert werden. In diesem Prozess fließen zur Generierung der 3D-Szene auch die Daten (Position und Blickrichtung) der Tracking-Komponenten ein. Durch eine Bildfusion werden abschließend das Videobild und das gerenderte Bild zusammengeführt und auf dem Tablet-PC Display dargestellt.

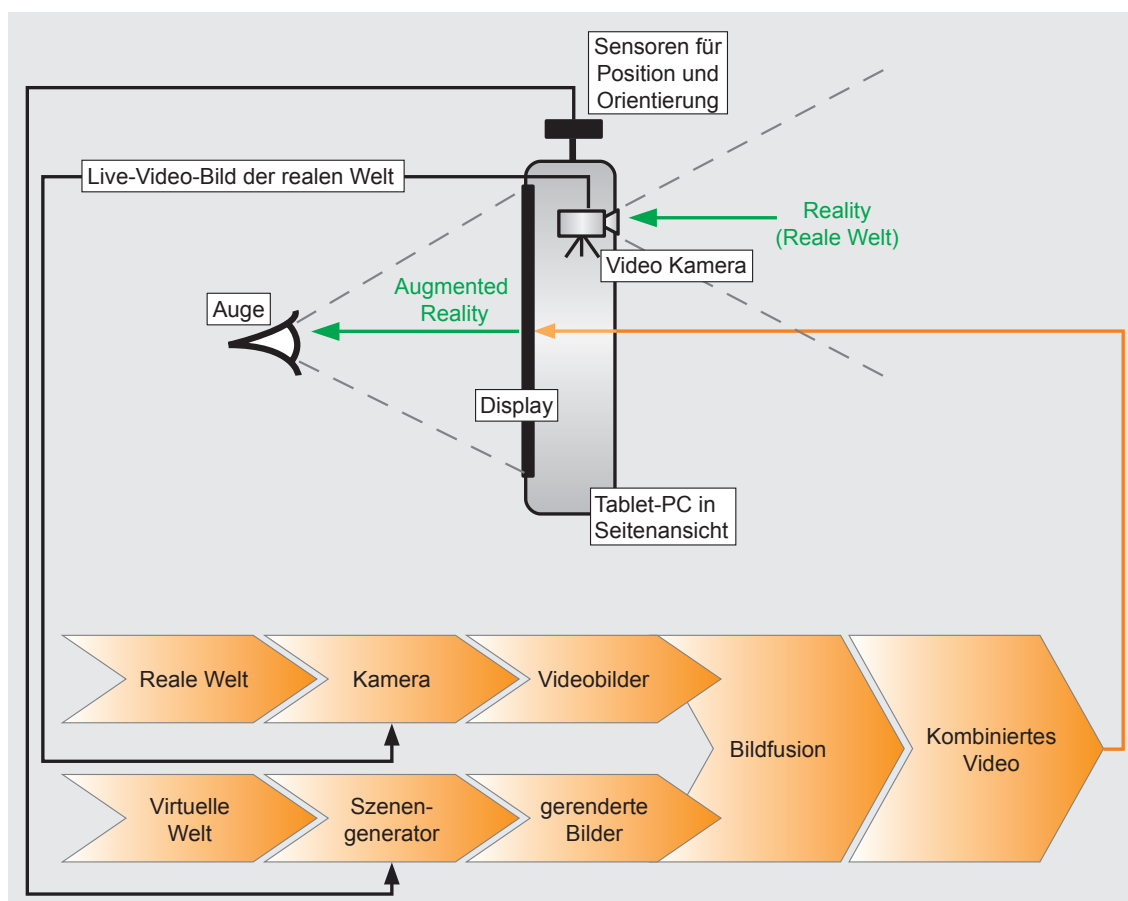
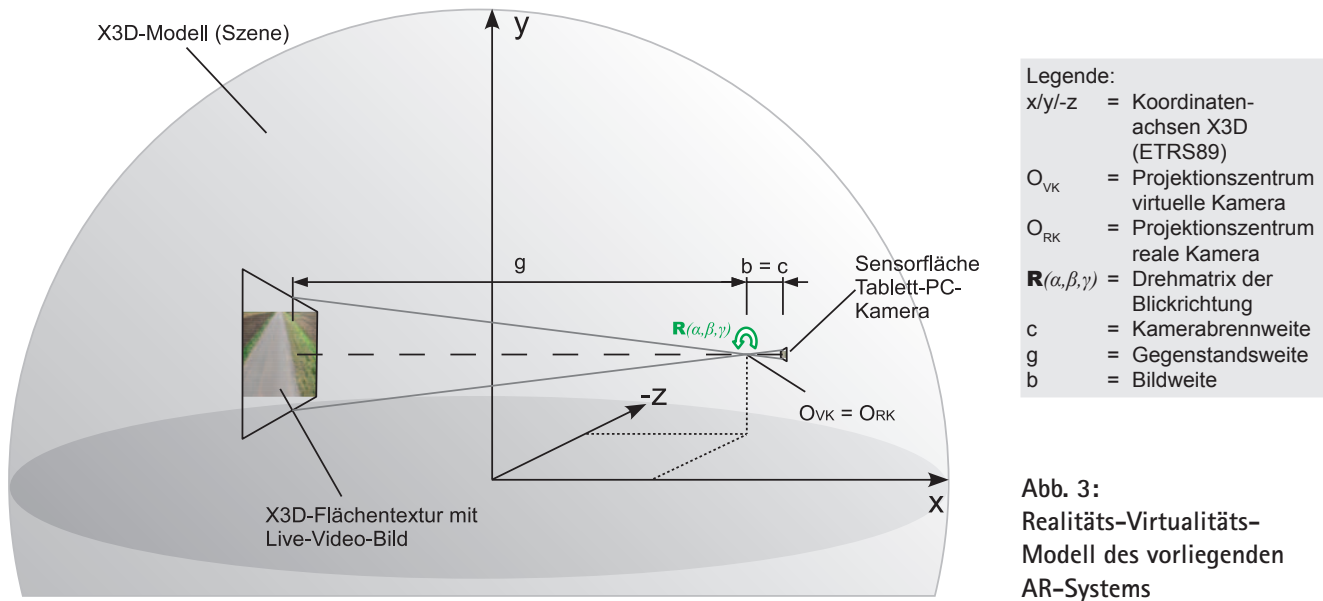


Abb. 2:
video see-
through
Prinzip mit
Tablet-PC



Während Abb. 2 die Technik des video see-through Prinzips abbildet, wird in Abb. 3 die Art und Weise der Überlagerungstechnik der Virtualität und Realität in Form eines Realitäts-Virtualitäts-Modells des entwickelten AR-Systems vorgestellt.

Der gesamte Überlagerungsvorgang wird dabei in einer X3D-Szene modelliert und durch den X3D-Viewer (vgl. Kap. 5) realisiert.

Hierbei bildet die virtuelle Welt den Rahmen für die reale Welt, die als Live-Video-Bild in Form einer Flächentextur in die virtuelle Welt integriert wird. Das Modell geht idealisiert davon aus, dass die virtuelle Kamera (VK) und die reale Außenkamera (RK) des Tablet-PCs identische Parameter der inneren Orientierung aufweisen und innerhalb des Modells die beiden Projektionszentren (O_{VK}, O_{RK}) in einem Punkt zusammenfallen ($O_{VK} = O_{RK}$). Das entwickelte AR-System baut hierfür zunächst auf dem mathematischen Ansatz einer idealisierten strahlenoptischen Abbildung (Kraus 2004) auf.

Hierzu wird die virtuelle Kamera mit den Parametern der inneren Orientierung der realen Kamera modelliert, um somit möglichst deckungsgleiche Überlagerungen virtueller und realer Objekte zu ermöglichen. Wie eingangs beschrieben, wurde die reale Welt in Form einer Flächentextur mit Live-Video-Bild in die virtuelle Welt integriert. Diese X3D-Flächentextur bildet somit eine Art *Projektionsfläche*. Sie wird vor dem virtuellen Kamera-standpunkt in Form eines virtuellen Head-Up Displays dargestellt und folgt mittels X3D-Route-Anweisungen stets allen Bewegungen der virtuellen Kamera.

Die gemeinsame äußere Orientierung von realer und virtueller Welt erfolgt durch die Zusammenführung des Koordinatensystems der virtuellen Welt ($x/y/-z$) mit dem Koordinatensystem der realen Welt (Ost/Nord) durch Verwendung des Koordinatensystems ETRS89 für beide Welten sowie der synchronisierten Blickrichtung von virtueller und realer Kamera mit Hilfe der am Tablet-PC befestigten Orientierungssensoren.

4 Kurzbeschreibung der AR-Applikation

Dem Nutzer der entwickelten AR-Anwendung werden drei Oberflächen zur Verfügung gestellt, mit denen er das System bedienen kann. Mit der Oberfläche »Daten/Verbinden« werden die Geodaten von einem lokalen Datenträger oder aus dem Internet in die Anwendung geladen und die Verbindungen zu den Tracking-Sensoren hergestellt (vgl. Abb. 4, rechts unten).

Die Oberfläche »Tools/Einstellungen« bündelt diverse Werkzeuge und ermöglicht die Vornahme von Einstellungen am AR-System (vgl. Abb. 4, links unten). Auf dieser Oberfläche werden die Daten der internen und externen Trackingkomponenten sowie vielfältige Berechnungsergebnisse zusammengeführt. Über diese Oberfläche werden ebenfalls notwendige Datenkonvertierungen in das 3D-Datenformat durchgeführt, Kalibrierungen ermöglicht oder Trackingdaten geloggt.

Die in Abb. 4 (oben) dargestellte Oberfläche dient generell als Einstiegspunkt sowie als Hauptoberfläche für den Anwender. Auf ihr werden die mit dem Videobild verschnittenen Geodaten dargestellt. Regelmäßig wird diese Oberfläche im Vollbildmodus ausgeführt. Wie der Abbildung ebenfalls entnommen werden kann, sind die beiden vorgenannten Masken über spezielle hierfür vorgesehene Buttons erreichbar. Ebenfalls kann der Anwender über eine Schaltfläche in die Ansicht der Vogelperspektive wechseln (vgl. Abb. 1), um sich eine Übersicht über die Geodaten aus exponierter Lage zu verschaffen.

5 Wahl der Komponenten

Für geodätische Anwendungen auf dem Gebiet der Bodenordnung eignen sich Tablet-PCs wegen ihrer guten Grafikverarbeitungsgeschwindigkeit, dem großen Display und der Möglichkeit zur Parallelnutzung fachspezifischer

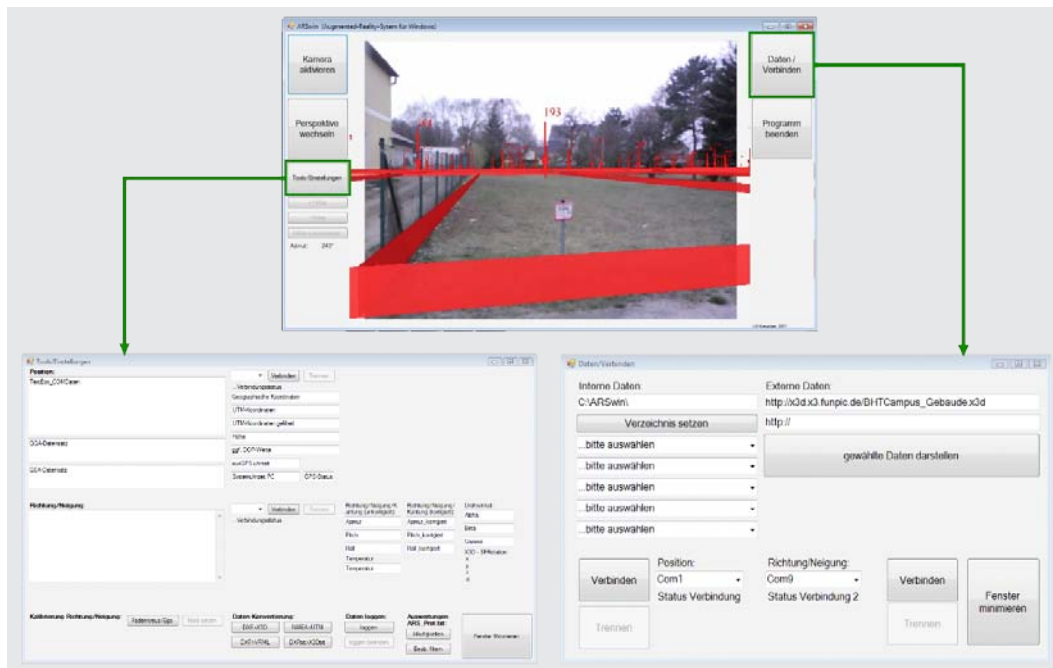


Abb. 4:
Hauptoberfläche
der AR-Anwendung
(oben), Oberfläche
Daten/Verbinden
(rechts unten),
Oberfläche Tools/
Einstellungen (links
unten)

Anwendungssoftware (z.B. GIS/CAD-Programme) eher als Mobil- oder Smartphones. Zudem lassen sich auf einfache Weise unterschiedliche externe Sensoren mit dem Tablet-PC kombinieren.

Für das System wurden hierzu ein CMOS-Kamerasensor, ein GNSS-Sensor, ein dreiachsiger Beschleunigungssensor sowie ein dreiachsiger Magnetfeldsensor verwendet. In Abb. 5 ist der grundsätzliche Zusammenhang der verwendeten Hauptkomponenten des AR-Systems ersichtlich.

Hierbei sind auf der linken Seite der Abbildung die Hardwarekomponenten und auf der rechten Seite die Softwarekomponenten dargestellt. Im linken unteren Teil ist erkennbar, dass der Beschleunigungs- und der Magnet-

feldsensor des verwendeten Low Cost Kompass-Moduls OS5000-US der Firma Ocean-Server Technology nicht im verwendeten Tablet-PC integriert sind und als externe Komponenten angeschlossen werden müssen. Wahlweise kann an den hier verwendeten Tablet-PC Trimble Yuma auch ein externer (präziser) GNSS-Empfänger angeschlossen und genutzt werden. Auf der rechten Seite wird verdeutlicht, welche Komponenten auf der reinen Anwenderebene vorhanden sein müssen und welche zusätzlichen Komponenten für die Systementwicklung erforderlich sind. Während auf der Anwenderebene der Tablet-PC, das Kompass-Modul, ein X3D-Viewer, Geometriedaten (Geofachdaten) und die ausführbare Anwendungsdatei erforderlich sind, werden auf der Entwickler-

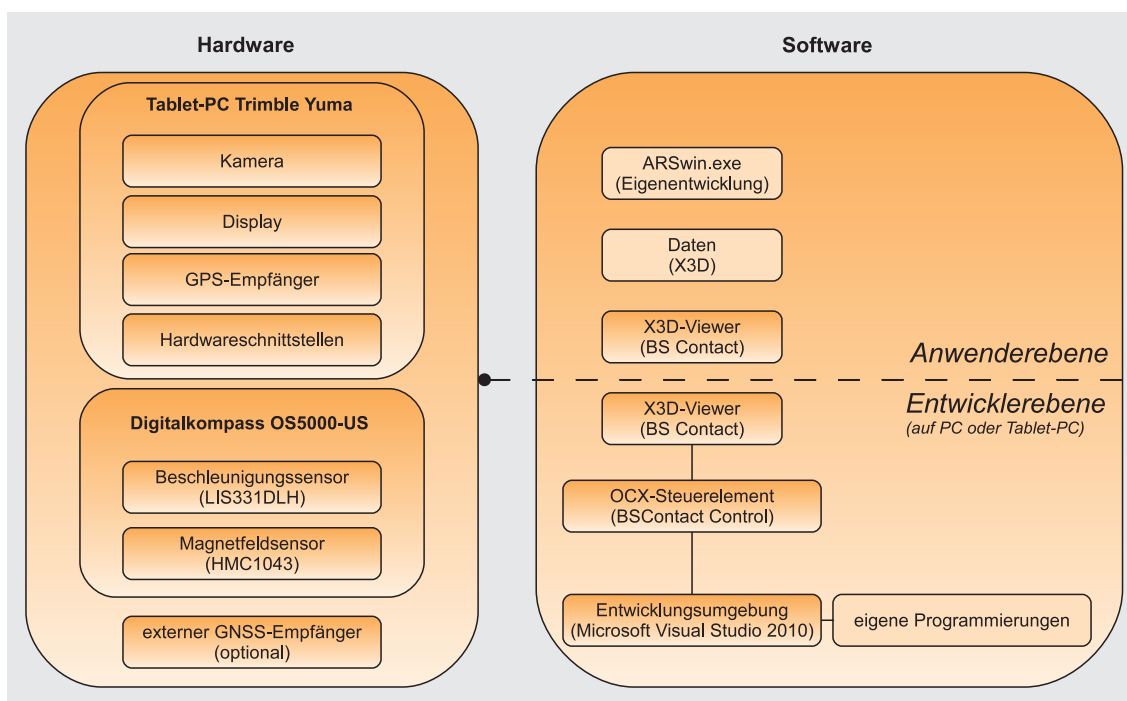


Abb. 5:
Verwendete
Hauptkom-
ponenten des
AR-Systems

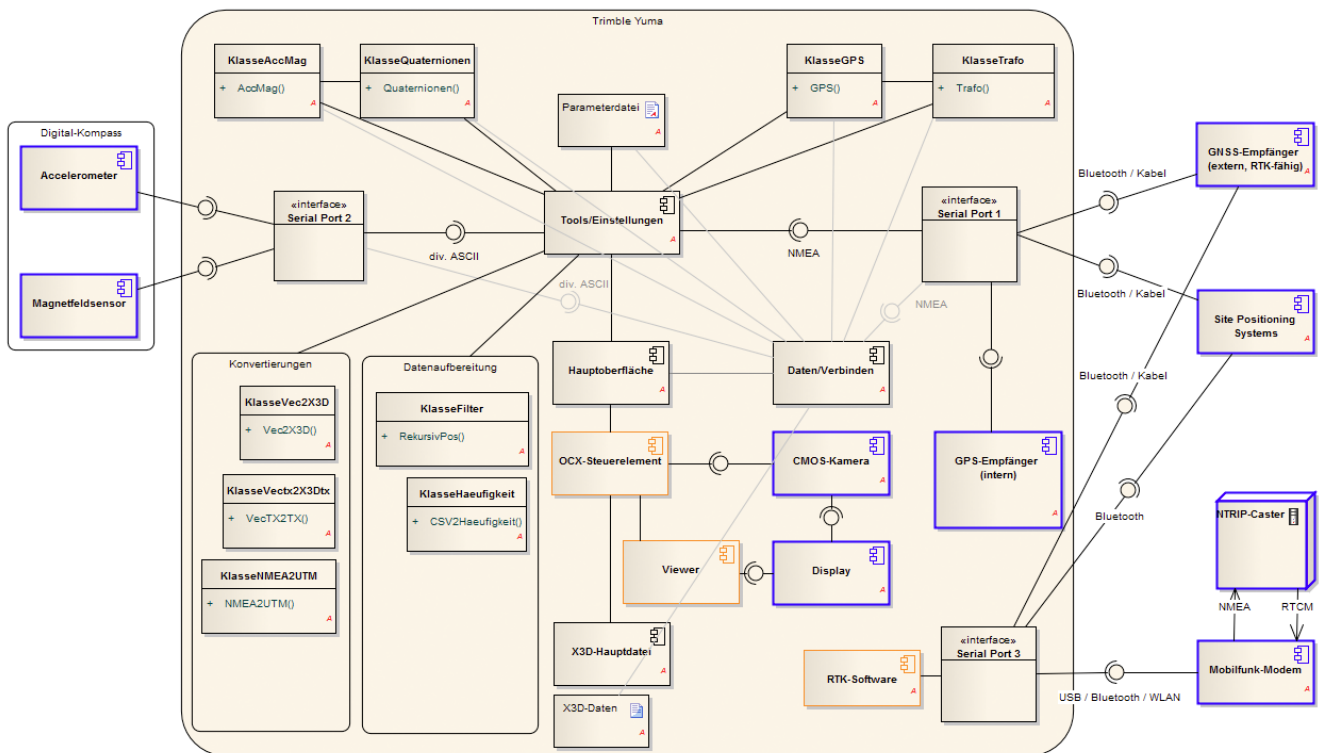


Abb. 6: Systemarchitektur mit selbstentwickelten Softwarekomponenten (Auszug aus dem UML-Modell)

ebene darüber hinaus noch ein OCX-Steuerelement zur Ansteuerung des X3D-Viewers und die Entwicklungsumgebung notwendig.

Als X3D-Viewer wurde BS Contact der Bitmanagement GmbH verwendet. Hierbei handelt es sich um einen in C++ geschriebenen Renderer, der sowohl OpenGL wie auch DirectX unterstützt. Er bildet in der Systemarchitektur des AR-Systems den ersten wichtigen Software-Baustein. Mit diesem browserorientierten Viewer ist es möglich, mit X3D erstellte dreidimensionale Grafikobjekte und Szenen in Echtzeit darzustellen, die Texturierung von Flächen mit einem Live-Video-Bild zu ermöglichen und externe Anwendungen anzukoppeln.

Wie eingangs beschrieben, steht mit X3D ein umfassendes Werkzeug zur geometrischen Modellierung der virtuellen Elemente des AR-Systems zur Verfügung, um nicht nur einfache Linien- und Flächengeometrien oder Texte, sondern auch komplexe Objekte wie Gebäude, technische Anlagen (z.B. Windkraftanlagen) oder Animationen darstellen zu können. Dazu werden die zu visualisierenden Daten aus den verwendeten CAD-Programmen ausgelesen und über das AR-System in das 3D-Format konvertiert. Darüber hinaus lassen sich mittels X3D die Objekte berührungsempfindlich ausgestalten, sodass bei Berührung mit dem Touch-Pen kontextbezogene Pop-Up-Fenster mit weiterführenden Informationen zu den Objekten oder Internetseiten geöffnet werden können. Auch ermöglicht X3D geometrische Elemente zu verschieben und somit die Daten vor Ort zu editieren.

Als Rahmen für die Softwareentwicklung wurde die Professional-Version von Microsoft Visual Studio 2010 unter Nutzung des .NET Framework 4.0 verwendet. .NET

ist eine offene Plattform für die Anwendungsentwicklung, die auch eine gemischtsprachige Programmierung erlaubt. Sie bietet eine Vielzahl an wiederverwendbaren Funktionen, z.B. Grafik- und Fensterdarstellung, Web und Datenzugriffsfunktionalitäten.

Zur Beschreibung der gesamten Systemstruktur wurde ein *UML-Modell* des AR-Systems unter Anwendung der *Unified Modeling Language (UML)* erarbeitet, um die Zusammenhänge der programmierten Klassen und Algorithmen übersichtlich darzustellen. Einen Auszug aus dem UML-Modell zeigt Abb. 6. Neben der Systemstruktur werden im UML-Modell auch die Hard- und Softwarekomponenten dokumentiert und die Quellcodes verwaltet. In der Abbildung sind die Hardwarekomponenten des Systems blau gekennzeichnet. Bis auf die in oranger Farbe hervorgehobenen Komponenten handelt es sich bei allen anderen Komponenten um eigenentwickelte Software.

Dem oberen Teil der Abb. 6 kann entnommen werden, dass die Daten der Bewegungssensoren mittels Quaternionen-Berechnungen (*KlasseQuaternionen*) und die Daten des GNSS-Sensors mittels geodätischer Transformationen (*KlasseTrafo*) umgewandelt werden, um anschließend über die Oberflächen (*frmToolsEinstellungen*, *frmDatenVerbinden*, *frmMainform*) und über das OCX-Steuerelement in die X3D-Hauptdatei fließen. Zusätzlich werden die Bilddaten der CMOS-Kamera als Live-Video-Datenstrom bereitgestellt und ebenfalls über das OCX-Steuerelement bis in die X3D-Hauptdatei weitergeleitet. Links unten in Abb. 6 sind die auf der Oberfläche *Tools/Einstellungen* enthaltenen Komponenten zur Datenkonvertierung und Echtzeit-Datenaufbereitung, z.B. mit rekursiven Filtern (*KlasseFilterPos*), abgebildet. Im rechten

Teil der Abbildung ist ebenfalls erkennbar, in welcher Form externe GNSS-Sensoren an das AR-System angeschlossen werden können. Sofern geodätische GNSS-Empfänger als Positionierungssensor eingesetzt werden, kann mit Hilfe einer beliebigen auf dem Tablet-PC installierten RTK-Software eine präzise Positionsbestimmung auf einfache Weise durchgeführt und auf bewährte RTK-Applikationen, wie z. B. Trimble TerraSync, zurückgegriffen werden.

6 Feldversuche

Um erste Erfahrungen mit der Erweiterten Realität und den Sensoren zu sammeln sowie die Auswirkungen der getätigten Programmierungen bewerten zu können, wurden verschiedene Testumgebungen ausgewählt oder angelegt. Dazu gehörten zwei Flurbereinigungsgebiete mit umfangreichen Grafikdaten, eine Testumgebung mit präzise vermessenen Lagefestpunkten, ein nichtmagnetischer Messpfiler (vgl. Abb. 7), ein dreidimensionales Testfeld für photogrammetrische Messungen und ein Innenlabor.



Abb. 7:
Feldversuch: AR-System auf
nichtmagnetischem Messpfiler

Mit Hilfe der Testumgebungen konnten wertvolle Informationen

- zum Auflösungsvermögen von Display und Kamera,
- zur Genauigkeit der Lagepositionierung des AR-Systems mit dem internen GPS-Empfänger und externen GNSS-Empfängern sowie
- zur Richtungsbestimmung mit den Magnetfeldsensoren gewonnen werden.

Da sowohl Kamera wie auch Display an der Wiedergabe der realen Welt als Live-Video-Bild mitwirken, kommt beiden Komponenten eine große Bedeutung zu. Während viele AR-Systeme optische Tracking-Technologien verwenden, bei denen das Bildverarbeitungssystem am Trackingprozess direkt beteiligt ist, so verwendet das vorliegende AR-System den Live-Video-Strom der Kamera lediglich zur Darstellung der realen Welt, nicht aber zum Tracking. Folglich werden hierbei keine Bildpunkte zur Berechnung der eigenen Position herangezogen. Für eine

korrekte Überlagerung der virtuellen mit den realen Objekten sind die Parameter der inneren Orientierung der Kamera jedoch trotzdem entscheidend. Hinsichtlich der im Trimble Yuma verbauten Kamera wurde festgestellt, dass keine groben Objektivfehler (Verzeichnungen) vorhanden sind und somit vorerst auf zusätzliche Kalibrierungsarbeiten verzichtet werden konnte. Ebenfalls wurde positiv festgestellt, dass die Kamera selbst bei ungünstigen Lichtverhältnissen, z. B. starkem Gegenlicht, ein kontrastreiches Bild liefert und auch das Display des Trimble Yuma bei starkem Lichteinfall stets gut lesbar ist.

Für den praktischen Einsatz des AR-Systems war es ebenfalls wichtig zu wissen, bis zu welcher Entfernung der Kamerasensor reale Objekte erfasst und das erfasste Videobild auf dem Display noch erkennbar dargestellt wird. Für den Trimble Yuma mit einem CMOS-Sensor von 1600×1200 Pixel und einer Displayauflösung von 1024×600 Pixel wurde ermittelt, dass sich ein reales Objekt mit der Dimension 6×6 cm in einer Entfernung von 100 m auf dem Display auflösen und abbilden lässt. Damit können natürliche Objekte, wie z. B. Bäume, Masten, Biotope oder Gebäude problemlos im Display visualisiert werden. Dem entwickelten AR-System ist es möglich, mit dem internen GPS-Sensor aber auch mit beliebigen externen GNSS-Sensoren zusammenzuarbeiten, sofern die Daten des Sensors in einem ASCII-Format zur Verfügung gestellt werden. Die Feldversuche haben bestätigt, dass die erreichbaren Genauigkeiten des AR-Systems stark von den verwendeten Sensoren abhängig sind. Das System wurde mit Sensoren für Anwendungen mit Genauigkeitsanforderungen im Dezimeterbereich (RTK mit Beacon-Signal) und Zentimeterbereich (RTK mit SAPOS/VRSnow) in Form von Rucksack-/Stablösung erfolgreich getestet. Mit dem internen GPS-Sensor, der auch Real-Time Korrekturen via SBAS berechnet, wurde bei einer Messreihe (vgl. Abb. 8) ermittelt, dass ca. 68% der bereitgestellten Koordinaten eine Positionierung im Genauigkeitsbereich von 1 m bis 5 m ermöglichten. 12% erlauben sogar eine Positionierung von unter einem Meter. Andererseits liegen auch 4% der ermittelten Koordinaten weiter als 10 m von ihrer Sollkoordinate entfernt.

Grundsätzlich wurde die Erfahrung gemacht, dass für die Zwecke der Augmented Reality eine ruhige, konstante, nicht sprunghafte Visualisierung der Geodaten auf dem Display erfolgen muss. Hierzu ist wiederum eine genaue und stabile Positionierung notwendig. Bei Verwendung des internen GPS-Empfängers wird diese stabile Lage erst erreicht, wenn SBAS-Korrekturen zur Verfügung stehen, was jedoch während der Versuchsreihen nicht immer der Fall war.

Genau wie bei den vorgenannten Positionierungssensoren ist es der AR-Applikation möglich, mit beliebigen externen Orientierungssensoren zusammenzuarbeiten, sofern die Daten der drei Drehwinkel (vgl. Abb. 2) in einem ASCII-Format zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen von Labor- und Feldversuchen wurde die Herstellerangabe zur Winkelgenauigkeit der verwendeten Low Cost

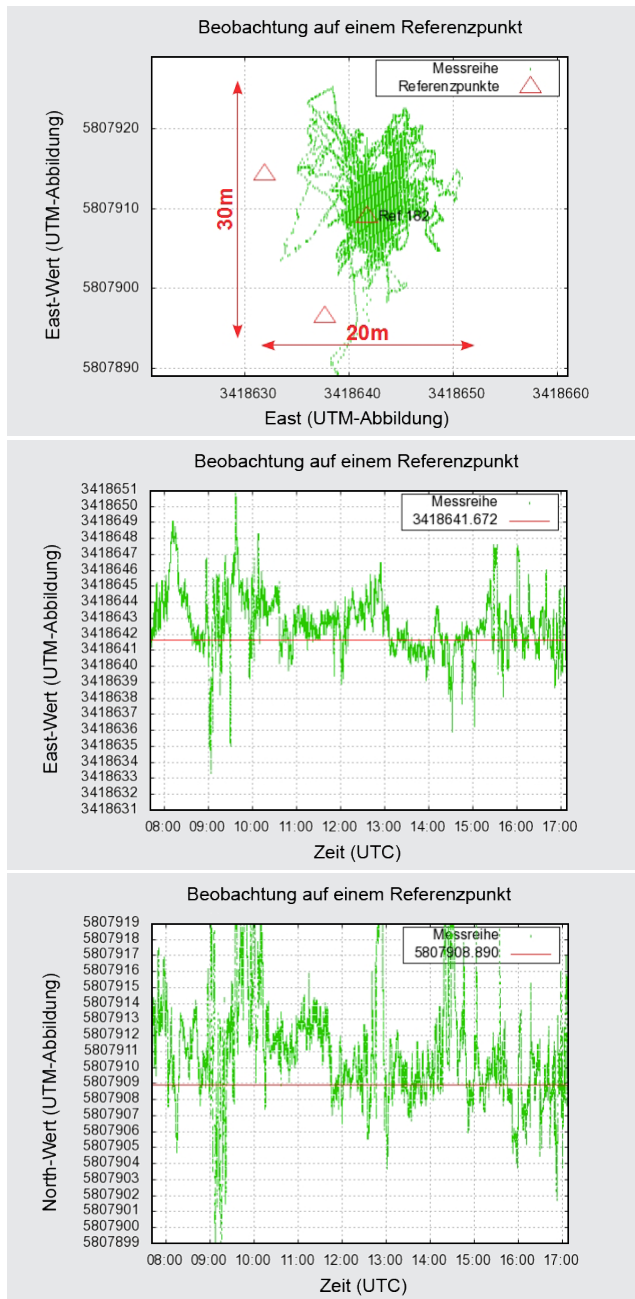


Abb. 8: Feldversuch: Positionierung mit dem internen GPS-Sensor

Beschleunigungs- und Magnetfeldsensoren mit $\sim 1^\circ$ bestätigt. Mit dieser Genauigkeit lässt sich beispielsweise ein virtueller Grenzpunkt/Grenzstein in unmittelbarer Entfernung auf wenige Zentimeter genau abbilden. Je weiter entfernt die virtuellen Objekte projiziert werden sollen, desto ungenauer wird die Platzierung der Objekte gegenüber seinem natürlichen Gegenstück im Display des Tablet-PCs. In einer Entfernung von 100 m beträgt die Verschiebung im ungünstigsten Fall mehr als einen Meter. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass sich dieser Richtungsfehler auf dem Display weniger stark auswirkt, da mit zunehmender Entfernung das Auflösungsvermögen des Kamerasensors abnimmt und weit entfernte Objekte zudem stark verkleinert auf dem Display dargestellt werden. Mit genaueren (meist kostenintensiven) Orien-

tierungssensoren ließen sich Richtungsfehler minimieren und die Genauigkeit des Gesamtsystems unmittelbar steigern.

In der Literatur finden sich jedoch Anhaltspunkte, dass weniger die Genauigkeit der Magnetfeldsensoren an sich, sondern das Erdmagnetfeld aufgrund seines nicht exakten Verlaufes die Herausforderung für den Einsatz in Tracking-Systemen darstellt (Tönnis 2010). Eine grundlegende Aussage ist hierbei, dass das Erdmagnetfeld an verschiedenen Orten der Erde sehr unterschiedliche Stärke und Richtungen aufweist und sich zudem ständig ändert (Korte u. a. 2011).

Diese Aussage führt dazu, dass die Kalibrierung des AR-Systems nur für einen gewissen Zeitraum (zeitvariant) und für eine gewisse Region Gültigkeit besitzt.

Entgegen der eigentlichen Intention, die Orientierungssensoren in den Zubehörsteckplatz des Tablet-PCs unterzubringen, gilt es für Magnetfeldsensoren vom Trimble Yuma einen möglichst großen Abstand zu halten, um die starken Auslenkungen in der unmittelbaren Nähe des Tablet-PC, hervorgerufen durch die magnetische Stifthalterung des Trimble Yuma, die beiden großen Akkumulatoren sowie die sonstige Elektronik, zu vermeiden. Es wurde in der Arbeit gezeigt, dass sich diese Effekte bis zu einem gewissen Maß durch Kalibrierung minimieren lassen, sodass der Sensor bis auf 30 cm an den Tablet-PC herangeführt werden kann.

Im Bereich der Bodenordnung im ländlichen Raum werden Gebietserkundungen vorgenommen, für die eine Lagegenauigkeit der Objekte (Naturschutzgrenzen, Wind-eignungsgebiete, Flurstücksgrenzen des Altbestandes, etc.) von bis zu drei Meter durchaus ausreichend ist. Die Anzeige der neuen Grundstücksgrenzen und die Präsentation der neuen Grenzen gegenüber dem Eigentümer (vgl. Abb. 9) erfordern jedoch höhere Genauigkeiten und sollten in unmittelbarer Umgebung (1–10 m) zum eigenen Standpunkt im Zentimeterbereich liegen.

Diese Genauigkeiten werden mit dem vorgestellten AR-System erreicht und sind in erster Linie von den verwendeten austauschbaren Sensoren abhängig. Hierbei wäre zukünftig eine präzisere Orientierungssensorik wünschenswert.

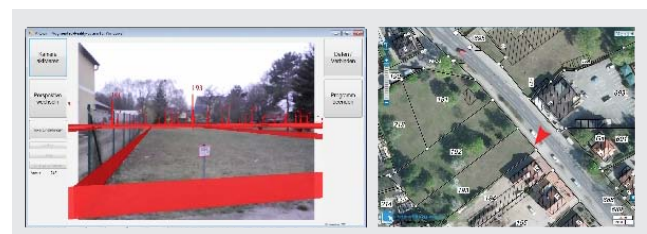


Abb. 9: Impressionen: Baugrundstück in der Ortslage mit AR-System (links), Orthophoto (rechts) (LGB 2011)

7 Fazit

Im Rahmen der Masterarbeit wurde für die Zwecke der Planung und Bodenordnung eine geeignete AR-Anwendung – die mit klassischen Sensoren (GNSS-Sensor, CMOS-Sensor) und für die Bodenordnung neuartigen Sensoren (Magnetfeldsensor, Beschleunigungssensor) zusammenarbeitet – entwickelt, die sich auch von un-



Abb. 10:
Augmented-Reality-System
für die Planung und Boden-
ordnung

geübten Anwendern bedienen lässt. Die AR-Anwendung steht als ausführbare Windows-Anwendungsdatei (*.exe) zur Verfügung. Durch Kombination eines Tablet-PCs mit den vorgenannten Sensoren ist ein Prototyp-AR-System (vgl. Abb. 10) entstanden, dessen Funktionstüchtigkeit gegeben ist und das in der Praxis eingesetzt werden soll.

Die Applikation kann die Datenströme der zur Verfügung gestellten internen und externen Sensoren abgreifen, auswerten und die Ergebnisse in Echtzeit präsentieren. Die externe Lage- und Orientierungssensorik ist austauschbar und kann entsprechend den jeweiligen Genauigkeitsanforderungen des Einsatzbereiches ausgewählt werden. Für die eingangs angeführten Anwendungsfälle – Gebietserkundung und Überprüfung von Planungen – wurde ein Instrument geschaffen, mit dem es möglich ist, die Realität mit virtuellen Elementen nach dem video see-through Prinzip anzureichern. Somit können beliebige georeferenzierte Objekte dreidimensional in der Natur angesehen werden und die beschriebenen Schwierigkeiten bei der Orientierung anhand analoger Karten sowie bei der Interpretation der Kartendarstellungen in Bezug zur Natur durch Einsatz des AR-Systems überwunden werden. Für die Anwendung auf dem Gebiet der Bodenordnung bedeutet es darüber hinaus, dass eine Abmarkung von Grenzpunkten im Rahmen der sogenannten Planabsteckung nicht mehr bzw. lediglich in geringem Umfang notwendig wird und somit Material- und Arbeitskosten reduziert werden.

8 Ausblick

Eine zukünftige Weiterentwicklung des Systems ist angedacht. Nach der Erprobungsphase auf dem Gebiet der Flurbereinigung im Land Brandenburg ist eine Erweite-

rung des Systems geplant. Hierzu soll es in naher Zukunft möglich sein, Datenabfragen an Geodatendienste der neuen Geodateninfrastrukturen, z.B. GDI-BE/BB, unter Nutzung der Web Feature Services (WFS) durchzuführen, um die abgefragten Geometriedaten direkt vor Ort in 3D visualisieren zu können. Einen weiteren Schwerpunkt wird die Einbeziehung von Geländemodellen für die dreidimensionale Datenaufbereitung und Höhenbestimmung bilden.

Im Bereich der Bodenordnung ist Augmented Reality ein weitgehend unbekanntes Werkzeug. Es ist anzunehmen, dass es mittelfristig ein verbreitetes Instrument werden kann, mit dem sich Fehlplanungen verhindern, Kosten einsparen und Planungsprozesse beschleunigen lassen.

Literatur

- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., Macintyre, B.: Recent Advances in Augmented Reality. In: IEEE ComputerGraphics 21, No. 6 (2001), S. 34–47, 2001.
- Azuma, R.T.: A Survey of Augmented Reality. In: Presence 6, No. 4 (1997), S. 355–385, 1997.
- Bajura, M., Fuchs, H., Ohbuchi, R.: Merging virtual objects with the real world: seeing ultrasound imagery within the patient. In: SIGGRAPH'92, S. 203–210, 1992.
- Bill, R., Zehner, M.L.: Lexikon der Geoinformatik. Heidelberg: Herbert Wichmann, 2001.
- Bimber, O., Raskar, R.: Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. Wellesley: AK Peters, Ltd., 2005.
- Fenn, J.: Hype Cycle for Emerging Technologies, 2010. Stamford, USA: Gartner Corporate Marketing, 2010.
- Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA: Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2004.
- GRINTEC GMBH UND TU GRAZ: Smart Vidente. Version: 2010. <http://www.vidente.at>, letzter Zugriff 08/2011.
- Korte, M., Lesur, V., Lühr, H., Helmholtz-Zentrum Deutsches Geoforschungszentrum – GFZ (Hrsg.): Häufig gestellte Fragen zum Thema Erdmagnetismus. Version: 2011. <http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec23/service/FAQ>, letzter Zugriff 04/2011.
- Kraus, K.: Photogrammetrie. Bd. 2. 7. Auflage. Berlin – New York: Walter de Gruyter, 2004.
- LGB: brandenburg-viewer. Version: 2011. <http://isk.geobasis-bb.de/BrandenburgViewer/basiskarte.html>, letzter Zugriff 04/2011.
- Milgram, P., Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: SPIE 2351 (1994), S. 282–292, 1994.
- Schwenkel, D., Kreuziger, U.: Der TFH-Campus als virtuell erfahrbare Welt. In: FORUM – Zeitschrift des Bundes der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure e.V., S. 484–486, 2002.
- Tönnis, M.: Augmented Reality: Einblicke in die Erweiterte Realität (Informatik im Fokus). Heidelberg: Springer, 2010.

Anschriften der Autoren

Ulf Kreuziger, M.Sc.
Ernst-Thälmann-Straße 6, 15537 Grünheide
ulf@kreuziger.com

Prof. Dr.-Ing. Klaus Hehl
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich III, Bauingenieur- und Geoinformationswesen
Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin
klaus.hehl@beuth-hochschule.de