

# Geospatial Augmented Reality – Lösungsansätze mit natürlichen Markern für die Kartographie und die Geoinformationsvisualisierung im Außenraum

**BENJAMIN LOESCH<sup>1</sup>, MARTIN CHRISTEN<sup>1</sup>, ROBERT WÜEST<sup>1</sup> & STEPHAN NEBIKER<sup>1</sup>**

*Zusammenfassung: Augmented Reality (AR) ermöglicht es, ortsbezogene digitale Inhalte einem Live-Kamerabild zu überlagern und so die Realitätswahrnehmung zu erweitern. Aktuelle Fortschritte bei der Sensorik, der Rechenleistung und der Algorithmik in der Bildverarbeitung und Computer Vision erlauben es zunehmend, auch komplexere Inhalte ohne künstliche Marker und mit genauem Ortsbezug zu augmentieren. Im Projekt GeoAR (Geospatial Augmented Reality) der Fachhochschule Nordwestschweiz wird der AR-Einsatz für unterschiedliche 3D-Geodaten und Anwendungsszenarien erforscht. Der Fokus der GeoAR-Untersuchungen liegt dabei auf einer robusten Markerdetektion – einerseits mit Karten als Markern für neue kartographische Anwendungen und andererseits mit natürlichen Markern für Applikationen im Außenraum. Dazu wurden im Projekt mehrere Lösungsansätze konzipiert, als AR-Apps prototypisch umgesetzt und evaluiert. Eine Auswahl dieser Entwicklungen und Untersuchungen wird in diesem Beitrag vorgestellt und diskutiert.*

## 1 Einleitung

Die Überlagerung von digitalen Inhalten wie Bildern oder 3D-Modellen in ein aktuelles georeferenziertes Kamerabild wird im Allgemeinen als Augmented Reality (AR) bezeichnet. Der Begriff AR umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien und Konzepte und wird nicht immer eindeutig verwendet. AR-Systeme kennt man einerseits aus dem Fernsehen, wo beispielsweise zur nachträglichen Analyse von Fußballspielen, Anspielstationen lagekorrekt als 3D-Pfeile dem Kamerabild überlagert werden. Andererseits wurden in den letzten Jahren AR-Apps für Smartphones immer populärer.

Betrachtet man die Geschichte von Augmented Reality, so gehen erste Beispiele bis in die 80er Jahre zurück (SUNG 2011). Erste Anwendungsszenarien wurde vor allem in den Bereichen Wartung und Instandhaltung von Maschinen gesehen (HEATER 2012). Flugzeughersteller wie Boeing oder Airbus versuchten die komplexen Instandhaltungsarbeiten an Flugzeugen mittels einer AR-Brille zu vereinfachen (DE CRESCENZIO et al. 2011). Lange wurde an AR-Technologien geforscht und entwickelt, doch erst mit dem Aufkommen moderner Smartphones mit integrierter Kamera in den späten 00er Jahren erlangte AR eine breitere Bedeutung. Frühere AR-Anwendungen waren primär auf einfache Inhalte wie etwa Text oder Ton und deren ungefähre, ortsbezogene Überlagerung beschränkt oder erforderten spezifische künstliche Marker für einen exakteren Ortsbezug. Aktuelle Fortschritte bei der Sensorik, der Rechenleistung und der Algorithmik in der Bildverarbeitung und Computer Vision erlauben es zunehmend, auch komplexere Inhalte ohne Verwendung künstlicher Marker und mit genauem Ortsbezug zu augmentieren.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen so genanntem Location-based AR und Marker-based AR. Beim Location-based AR werden geräteinterne Sensoren wie GPS, Kompass und IMU zur

---

<sup>1</sup> Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Vermessung und Geoinformation, 4132 Muttenz, Schweiz, E-Mail: [benjamin.loesch, martin.christen, robert.wueest, stephan.nebiker]@fhnw.ch

Bestimmung der Kameraposition und -orientierung genutzt. Erfordert die Anwendung einen sehr genauen Raumbezug, so stößt man mit dem Location-based AR schnell an Grenzen. Nicht immer ist eine lagerichtige Überlagerung der Inhalte möglich und oft kommt es durch das Rauschen der Sensorsignale zu einem unerwünschten Umherspringen der Inhalte. Im Gegensatz dazu werden beim Marker-based AR die Lageinformationen der Kamera über die im aktuellen Kamerabild sichtbaren Features bzw. Bildmerkmale errechnet. Features sind vorgängig mit Lage und Signatur abgespeicherte leicht wieder erkennbare Punkte eines Bildes oder eines 3D-Objektes. Ein Bild aus welchem alle Features extrahiert und in einer Feature-Datenbank gespeichert wurden, wird als Markerbild oder kurz als Marker bezeichnet. Jeder Marker definiert mit seinen Features ein Markerkoordinatensystem in welches die 3D-Inhalte augmentiert werden.

Zur Laufzeit der Applikation werden kontinuierlich Features aus dem aktuellen Kamerabild errechnet und mit den in der lokalen Feature-Datenbank gespeicherten Features verglichen. Werden mehrere Features wiedererkannt, lässt sich aus der Positionsinformation der Features die Lage und Orientierung des Projektionszentrums der Smartphone-Kamera berechnen. Mit bekanntem Projektionszentrum lassen sich nun 3D-Inhalte lagekorrekt in das Markerkoordinatensystem einblenden. Kamerabewegungen werden nun durch die Verschiebung der Features berechnet und die Lage und Orientierung des augmentierten 3D-Modells laufend aktualisiert. Dieser Prozess wird allgemein als Tracking bezeichnet. In frühen Anwendungen wurden meist spezielle schwarz-weiße AR-Markerbilder verwendet, welche dank gutem Kontrast eine robuste Wiedererkennung garantieren. Heutige Algorithmen erlauben es auch, andere kontrastreiche Bilder jeglicher Art zu verwenden; man spricht dabei von natürlichen Markern (WAGNER et al. 2008). Die Feature-Erkennung im Live-Bild erfordert rechenaufwändige Algorithmen, welche erst mit den Ressourcen heutiger Smartphone-Generationen in Echtzeit ausgeführt werden können. Dennoch bleibt diese Feature-Erkennung ein kritischer Teil einer AR-Applikation, da Umgebungseinflüsse wie Beleuchtung, Spiegelungen oder Pixelrauschen bei schwacher Beleuchtung eine robuste Feature-Detektion verunmöglichen können.

Im Projekt GeoAR der Fachhochschule Nordwestschweiz wird untersucht, wie sich Augmented Reality zur Visualisierung von 3D-Geodatenbeständen in unterschiedlichen Anwendungsszenarien eignet. Im Fokus der Forschung liegen Ansätze für die Verwendung von Marker-based AR mit natürlichen Markern, wie beispielsweise Kartenblättern und aktuellen Landschaftsaufnahmen. In diesem Artikel werden Strategien zur Robustheitssteigerung der Markerdetektion beschrieben und einige prototypisch realisierte Applikationen vorgestellt.

## 2 AR-Frameworks

Es existiert eine Vielzahl verschiedener Softwareframeworks, welche die Entwicklung von AR-Applikationen stark vereinfachen. Oftmals werden Feature-Detektion und Tracking-Algorithmus vom Framework vollständig gekapselt und sind für Entwickler weder parametrisierbar noch änderbar. Der Marker muss dabei vorgängig durch den vom Framework zur Verfügung gestellten Algorithmus zur Extraktion von Feature-Positionen und -Signaturen prozessiert werden. Meist werden solche Algorithmen über ein Web-Interface zur Verfügung gestellt. Die extrahierten Features werden dann mit der Applikation auf dem Smartphone installiert oder müssen online von einem proprietären Server des Frameworkherstellers heruntergeladen werden. Zu den aktuellen Entwicklungen gehört die Nutzung von beliebigen 3D-Objekten, welche als Marker-Objekt genutzt werden können (COMPORT et al. 2003). Hierfür muss vorgängig ein 3D-

Modell des Objektes aus einem CAD-Programm exportiert oder mittels einer dedizierten Smartphone App generiert werden (INGLOBE TECHNOLOGIES, 2015).

Viele aktuelle Frameworks bieten die Unterstützung von natürlichen Markern, d.h. beliebige kontrastreiche Bilder können als Markerbild verwendet werden. Bei einigen Frameworks wird das AR-Tracking durch geräteinterne Sensoren wie GPS, Kompass und IMU gestützt. Für die Entwicklungen der im Projekt GeoAR erstellten Applikationen wurde die Qualcomm Vuforia SDK gewählt (QUALCOMM 2015). Die Vuforia SDK bietet iOS/Android- und Unity3D-Unterstützung und erlaubt es, natürliche Marker über ein Web-Interface zu generieren. Zudem lassen sich mehrere Markerbilder zu einem so genannten Multimarker zusammenführen, was ein robusteres Tracking mit Hilfe von mehreren Markerbildern erlaubt.

### 3 Steigerung der Robustheit der Markerdetektion

Eine robuste und zuverlässige Markerdetektion und das darauf basierende Tracking ist ein sehr kritischer Teil jeder AR-Applikation. Beleuchtungseinflüsse, spiegelnde Oberflächen aber auch wenig kontrastreiche Bilder können problematisch für die Erkennung und Extraktion der Featurepunkte sein. Eine mögliche Lösung, um die Robustheit zu steigern, ist die Verwendung eines so genannten Multimarkers (BARATOFF et al. 2002; YOON et al. 2006). Ein Multimarker besteht aus mehreren Einzelbildern, deren Position und Orientierung relativ zueinander bekannt ist (vgl. Abb. 1). Die Lage eines Featurepunktes wird somit durch die Position des Punktes im Einzelbild sowie durch die Position und Orientierung des Einzelbildes definiert.



Abb. 1: Multimarker aus 6 Einzelbildern deren relative Position und Orientierung bekannt ist. Gemeinsam definieren alle Einzelbilder ein Objektkoordinatensystem (Vuforia, 2015)

Ein Multimarker definiert somit aus mehreren einzelnen Markerbildern ein gemeinsames Objektkoordinatensystem, welches für die Augmentierung der Inhalte verwendet wird. Typischerweise werden Multimarker verwendet um 3D-Objekte als Markerobjekte zu definieren, in dem man einige Teilflächen des 3D-Objektes als Einzelbilder in den Multimarker aufnimmt.

#### 3.1 Verwendung von Multimarkern für große Bilder

Die Verwendung von sehr großen Markerbildern, beispielsweise von Papierlandkarten als Marker, wie im Beispiel der Applikation Augmented Maps (Kap. 4), gestaltet sich aus verschiedenen Gründen anspruchsvoll. Zum einen ist im aktuellen Smartphone-Kamerabild nur selten das ganze Markerbild sichtbar, sondern meist nur ein Teil davon. Gleichzeitig muss der aktuell sichtbare Ausschnitt noch genügend Features enthalten, damit eine Detektion und ein

Tracking möglich sind. Zum andern sind Landkarten enorm detailreich. Diese Details können jedoch erst bei sehr hohen Bildauflösungen als Features verwendet werden, d.h. wenn sich die Kamera sehr nahe an der Karte befindet. Wird die Kamera weiter weg bewegt, so wird die Karte in einer geringeren Auflösung erfasst, Details verschwinden und andere Features werden detektiert.

Ein möglicher Ansatz, um große Markerbilder zu verwenden, ist die Generierung eines Multimarkers mit Bildkacheln in unterschiedlichen LOD-Stufen (Abb. 2). Auf jeder LOD-Stufe werden verschiedene Featurepunkte generiert. Die relative Orientierung der Markerbilder zueinander beschränkt sich in diesem Fall auf eine Skalierung und Translation in einer Ebene. Die Kachelung bewirkt, dass auch kleinere Markerbildausschnitte genügend Featurepunkte beinhalten.

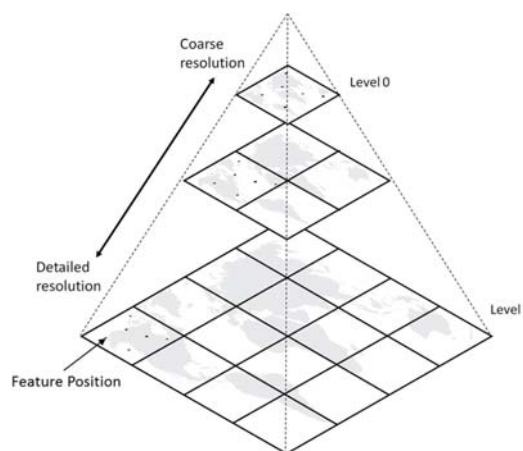


Abb. 2: Multimarker als Bildpyramide, je nach LOD-Stufe werden unterschiedliche Features extrahiert (GARCIA et al. 2012)

### 3.2 Verwendung von Multimarkern für AR-Applikationen mit Landschaftsansichten

Einige bestehende AR-Anwendungen werden genutzt, um georeferenzierte Inhalte wie Berggipfelnamen, Regionsbezeichnungen oder themenspezifische Points-of-Interest (POI) ins aktuelle Kamerabild einzublenden. Solche Applikationen werden oft von Aussichtspunkten aus verwendet und basieren meist auf dem ungenaueren Location-based AR. Die Verwendung von Marker-based AR für solche Applikationen hätte den Vorteil, dass eine viel genauere Bestimmung der äußeren Kameraorientierung möglich wäre und das Sensorrauschen die Augmentierung nicht beeinträchtigen würde.

Allerdings gestaltet sich die Verwendung von Landschaftsansichten als Marker als problematisch, da tageszeitliche und saisonale Einflüsse wie Sonnenstand und Witterung die Erscheinung der Landschaft über die Zeit massiv verändern. Auch hier kann mit der Verwendung von Multimarkern die Robustheit gesteigert werden. Dazu werden mehrere Einzelbilder der Landschaftsansicht, welche bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und Sonnenständen aufgenommen wurden, als Multimarker definiert. Je nach Umgebungslicht und Saison werden dann automatisch unterschiedliche Merkmale für die Bestimmung des Objektkoordinatensystems genutzt (DAETWYLER 2014). Zu beachten ist hier, dass die relative Orientierung der Einzelbilder im Multimarker immer gleich ist, man legt also verschiedene Markerbilder direkt übereinander.



Abb. 3: Multimarker aus mehreren Einzelbildern mit gleicher Lage und Orientierung, jedoch bei unterschiedlichen äußeren Bedingungen aufgenommen

### 3.3 Kontinuierliche Marker-Aktualisierung

Ein anderer Ansatz, um Landschaftsansichten als Marker zu verwenden, besteht darin, ein kontinuierliches zyklisches Marker-Update einzuführen, beispielsweise mit Hilfe einer stationären Webcam. Ein solches System wurde im Rahmen des GeoAR-Projektes prototypisch implementiert und in einer Cloud-Umgebung praktisch getestet. Die Abbildung 4 zeigt die Architektur der Cloud-Dienste, die für den Prototypen entworfen wurde. Zum Austausch der Bilder über mehrere Instanzen wurde das MQTT Protokoll verwendet (HUNKELER et al. 2008). Die Bilder werden zusammen mit Meta-Informationen wie Zeitstempel, Belichtungszeit u.w. als Base64 enkodierte Strings in JSON Messages gepackt und vom Webcam Controller PC an einen MQTT Broker gesendet. Der MQTT Broker leitet die Messages an alle abonnierten Clients weiter. Ein für die AR-Applikation dedizierter Client skaliert das empfangene Bild etwas herunter und sendet es über ein REST Interface an den Vuforia CloudTarget Web Service, der daraus Features für die FeatureDB generiert. Die auf dem Smartphone laufende Vuforia Engine extrahiert beim Starten der AR-Applikation alle Features aus dem aktuellen Kamerabild und sendet diese über ein proprietäres Protokoll an den Vuforia Web Service, der ein Matching mit der FeatureDB vornimmt. Ist das Matching erfolgreich, werden alle dem Marker zugehörigen Features auf das Smartphone zurück gesendet und von der App für das Tracking und die Augmentierung der Inhalte genutzt.

Indem die Marker-Features alle 15 Minuten überschrieben werden, werden saisonale und tageszeitliche Einflüsse weitestgehend kompensiert, allerdings beschränkt sich die praktikable Anwendung dieser Applikation auf die unmittelbare Umgebung der Webcam. Zu beachten ist, dass man somit als Marker die Bild-Ebene der Webcam verwendet. Perspektivenänderungen müssen vorgängig kompensiert werden. Im Idealfall erfolgt die App-Nutzung direkt bei der Webcam, um eine möglichst ähnliche Perspektive auf die Szene zu haben.

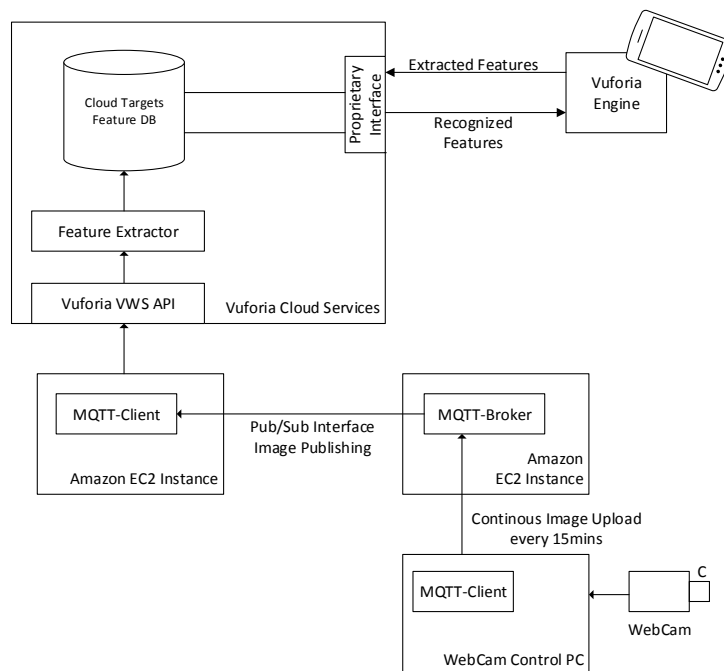


Abb. 4: Architektur des prototypischen cloud-basierten Systems zum kontinuierlichen AR-Marker-Update über eine Webcam.

#### 4 Prototyp: Augmented Maps

Mit der AR-Anwendung Augmented Maps sollen neue Möglichkeiten zur erweiterten Nutzung gedruckter Karten untersucht werden. Dabei dienen die Papierkarten als natürliche Marker zur lagekorrekten Überlagerung von weiteren (2D-) Kartenlayern oder von detailreichen aktuellen (3D-) Landschaftsmodellen. Zusätzlich können weitere georeferenzierte Daten aus verschiedenen Quellen integriert und dargestellt werden. Ausgehend von einer Schweizer Landeskarte 1:25'000 wurden 6 zusammenhängende Markerbilder generiert, um ein robustes Tracking des AR-Geräts auch bei verschiedenen Entfernungen stabil zu ermöglichen.

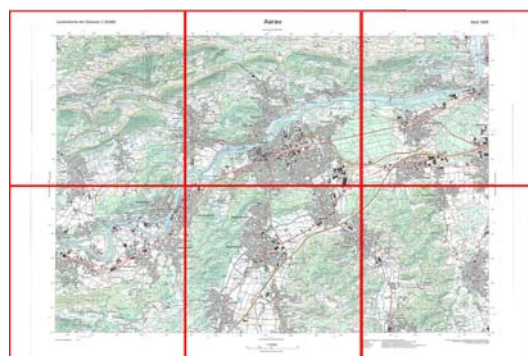


Abb. 5: Markieranordnung für Augmented Maps

Die verwendete Hardware bestand aus herkömmlichen mobilen Androidgeräten mit einer eingebauten Kamera auf der Rückseite des Geräts (Smartphones sowie Tablets). Die Visuali-

sierung der 3D-Landschaftsmodelle wurde mit Unity3D (UNITY3D 2015) realisiert. Unity3D ist eine plattformübergreifende 3D Engine mit einer Vielzahl an Einsatzgebieten. Sie kommt hauptsächlich bei plattformunabhängigen Computerspielen zum Einsatz und ist unter Game-Entwicklern weit verbreitet, nicht zuletzt wegen der intuitiven WYSIWYG Entwicklungsumgebung. Für das effiziente und genaue Tracking der Markerbilder wurde – wie im vorgängigen Kapitel diskutiert – Vuforia von Qualcomm eingesetzt.



Abb. 6: Augmented Maps mit der Überlagerung eines 3D-Landschaftsmodells über einer Schweizer Landeskarte 1:25'000 auf einem ASUS Transformer Pad



Abb. 7: Augmented Maps auf einem Samsung Galaxy Tab. Überlagerung eines 3D-Landschaftsmodells mit den Routen des öffentlichen Verkehrs und einem Live-Zugriff auf die entsprechenden Fahrplandaten

Überlagerte Daten bestehen aus verschiedenen Layern die auch in GIS-Systemen verwendet werden können. In den Abbildungen 6 und 7 ist die Augmentierung einer Landeskarte mit einem 3D-Landschaftsmodell und einer überlagerten Orthophoto-Textur dargestellt. Sowohl Höhenmodell als auch Textur können dynamisch ausgetauscht werden, im zweiten Fall beispielsweise durch eine thematische Karte. Die Integration von Live-Inhalten konnte anhand der Überlagerung von aktuellen Informationen zu Zugverbindungen der Schweizer Bundesbahn (SBB) demonstriert werden. Dafür wurde das Streckennetz der SBB überlagert und durch Interaktion mit den als Points-of-Interest dargestellten Haltestellen, können aktuelle Abfahrtszeiten abgefragt werden.

## 5 Projekt: AR-Prototyp Schweizer Nationalpark

Für das Projekt Nationalpark (DAETWYLER 2014) sollte eine AR-Applikation für Smartphones in einer natürlichen Umgebung entwickelt werden. Das Projekt hatte dabei zwei Ziele: zunächst sollte untersucht werden, wie gut sich Vuforia und Unity3D für eine solche Applikation eignen. Dann wurden im zweiten Teil Ansätze für ein verbessertes Tracking erarbeitet.

Das Tracking für AR sollte dabei nur mit natürlichen Features funktionieren. Dafür wurden geeignete Sichten gesucht. Die Applikation sollte auch bei unterschiedlichen Wetter- und Lichtsituationen funktionieren. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollte dann ein verbessertes Natural Feature Tracking realisiert werden. Zunächst wurde eine Fotoserie über einen ganzen Tag aufgenommen, um den Einfluss von Sonnenstand und Schattenwurf auf die natürlichen Marker zu untersuchen. In einem nächsten Schritt wurden Features von Webcam-Aufnahmen

eines ganzen Jahres erstellt. Dabei konnten unterschiedliche Wettersituationen in verschiedenen Jahreszeiten ausgewertet werden.

Es konnte – wie erwartet – nachgewiesen werden, dass natürliche Marker bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen nicht konstant sind. Dabei spielt es keine Rolle, ob Bildaufnahmen und die daraus abgeleiteten Marker in der freien Landschaft, wie etwa im Nationalpark, oder in städtischen Raum erzeugt werden. Abbildungen 8 und 9 zeigen am Beispiel von Aufnahmen auf dem FHNW Campus in Muttenz, wie sich Marker in unterschiedlichen Bedingungen verhalten.

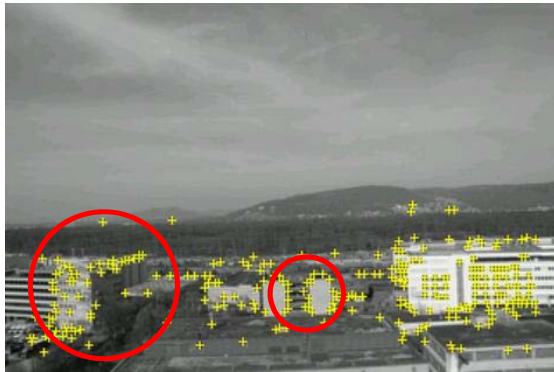


Abb. 8: Bildmarker am Vormittag  
(FHNW Campus Muttenz)

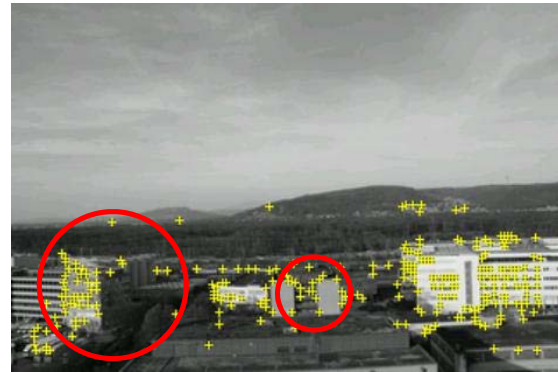


Abb. 9: Bildmarker am Nachmittag  
(FHNW Campus Muttenz)

Ein Lösungsansatz war, die Marker stündlich neu zu generieren – und zwar mit den aktuellen Wetterbedingungen. Dies wurde mittels Webcams, welche an fixen Orten installiert sind realisiert. Dies wurde an zwei Standorten des Nationalparks getestet. Am ersten Standort (Dieni) konnte die Landschaft erkannt und stabil verfolgt werden. Am zweiten Standort (Surrein) konnte die Landschaft auch bei sehr schlechten Wetterbedingungen sehr gut erkannt werden.

## 6 Fazit und Ausblick

Die beschriebenen Applikationen zeigen, dass die Verwendung von Multimarkern für kontrast-schwache oder stetig ändernde Markerbilder deutlich robustere AR-Applikationen ermöglichen. Landschaftsansichten können so als Markerbild verwendet werden und erlauben neue Applikationen beispielsweise zur Bauprojekt-Visualisierung oder im Tourismus.

Es konnte gezeigt werden, dass sich mit der fortlaufenden Generierung von Markern über stationäre, hochaufgelöste Webcams eine Augmented Reality Applikation im Außenraum realisieren lässt. Mit zwei Prototypen – die Applikation im Nationalpark und mit der Baufortschritts-App des neuen FHNW-Campus KUBUK in Muttenz – konnte gezeigt werden, dass das Verfahren funktioniert. Da Multimarker robuster sind, werden zukünftig nur noch diese eingesetzt.

Die bisher entwickelten Prototypen müssen vermehrt auf Praxistauglichkeit geprüft werden, bisher wurde nur der AR-Teil einer Smartphone-App untersucht. Die Einbindung dieses Teils in eine vollständige App bietet noch einige Herausforderungen, nicht zuletzt in der sinnvollen Benutzerführung. Zukünftig wird auch ein Projekt im Cultural Heritage Bereich implementiert. Eine erste konkrete Anwendung wird die Augmentierung von römischen Tempeln in Augusta Raurica sein.



## Literaturverzeichnis

- BARATOFF, G., NEUBECK, A. & REGENBRECHT, H., 2002: Interactive Multi-Marker Calibration for Augmented Reality Applications. Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- COMPORT, A. I., MARCHAND, E. & CHAUMETTE, F., 2003: A real-time tracker for markerless augmented reality. The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Proceedings, S. 36–45, DOI: 10.1109/ISMAR.2003.1240686.
- DE CRESCENZIO, F., FANTINI, M., PERSIANI, F., DI STEFANO, L., AZZARI, P. & SALTI, S., 2011: Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support. IEEE Computer Graphics and Applications. **31** (1), S. 96–101, DOI: 10.1109/MCG.2011.4.
- DAETWYLER, M., (2014): Augmented Reality im Nationalpark. Masterprojekt, FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz.
- GARCÍA, R., DE CASTRO, J. P., VERDÚ, E., VERDÚ, M. J. & REGUERAS, L. M., 2012: Web Map Tile Services for Spatial Data Infrastructures: Management and Optimization. Cartography - A Tool for Spatial Analysis, Bateira, C. (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/46129.
- HEATER, B., 2012: Brother AirScouter glasses bring augmented reality, unsightly add-ons to your face. Engadget. <http://www.engadget.com/2012/04/17/brother-airscouter-glasses-bring-augmented-reality-unsightly-ad/>, abgerufen am 09.01.2015.
- HUNKELER, U., TRUONG, H. L. & STANFORD-CLARK, A., 2008: MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008. COMSWARE 2008. 3rd International Conference on. IEEE, S. 791–798.
- INGLOBE TECHNOLOGIES, 2015: Inglobe Technologies.
- QUALCOMM, 2015: Vuforia. Qualcomm. <https://www.qualcomm.com/products/vuforia>, abgerufen am 09.01.2015.
- SUNG, D., 2011: The history of augmented reality. Pocket-lint. Abgerufen am 09.01.2015 von <http://www.pocket-lint.com/news/108888-the-history-of-augmented-reality>.
- UNITY3D, 2015: Unity3D. <http://unity3d.com>.
- VUFORIA, 2015: Dev Guide: Multi Targets.
- WAGNER, D., REITMAYR, G., MULLONI, A., DRUMMOND, T. & SCHMALSTIEG, D., 2008: Pose Tracking from Natural Features on Mobile Phones. Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society (ISMAR '08), S. 125–134, DOI: 10.1109/ISMAR.2008.4637338.
- YOON, J.-H., PARK, J.-S. & KIM, C., 2006: Increasing Camera Pose Estimation Accuracy Using Multiple Markers. Advances in Artificial Reality and Tele-Existence; Pan, Z., Cheok, A., Haller, M., Lau, R., Saito, H., Liang, R. (ed.), Lecture Notes in Computer Science, Volume 4282, Springer Berlin Heidelberg, S. 239–248.