

Geospatial Augmented Reality als interaktives Erlebnis im Museum am Beispiel der Swissarena App

ROBERT WÜEST¹, MICHAEL ZWICK¹ & STEPHAN NEBIKER¹

Zusammenfassung: Augmented Reality (AR), als aufstrebende Technologie, ermöglicht die Überlagerung von digitalen Inhalten auf einem Live-Kamerabild. Dieser Beitrag untersucht die spezifischen Anwendungsmöglichkeiten von AR im geografischen Kontext unter Verwendung von natürlichen Markern. Dazu gehört die Generierung von optimierten aber dennoch flächendeckenden Kombinationen von Markerbildern zur Steigerung der Robustheit. Aus den Untersuchungen entstand ein Prototyp einer Museums-App für Smartphones und Tablets. In der App werden dem Orthophoto Inhalte mit geografischem Bezug überlagert. Bei den Inhalten handelt es sich teilweise um Live-Daten wie beispielsweise Transponderdaten von Flugzeugen oder aktuelle Wetterdaten. Für die Interaktion mit den Inhalten können sich Anwenderinnen und Anwender der App im Raum bewegen und verschiedene Eingabemöglichkeiten des verwendeten mobilen Geräts nutzen.

1 Einleitung

Am Thema Augmented Reality (AR), der Erweiterung der Realität durch ortsbezogene digitale Inhalte, wurde schon lange vor der Erfindung von Google Glass und ähnlichen Produkten intensiv geforscht und entwickelt (ARTH et al. 2015). Eine der ursprünglichen Definitionen von AR durch AZUMA (1997) als System, welches eine Kombination von Realität und Virtualität, Interaktivität in Echtzeit sowie die Erfassung einer dreidimensionalen Umgebung bietet, hat bis heute ihre Gültigkeit. Aufgrund der hohen Anforderungen an Hardware und Bedienungsergonomie, war die Verwendung von AR bis vor ca. 10 Jahren noch stark auf Festinstallationen und Spezialhardware angewiesen (PAELKE 2007). Mit der Etablierung von Smartphones mit hoher Rechenleistung und integrierter Sensorik ist die Technologie heute weitgehend massenmarkttauglich.

In Museen sind multimediale Ergänzungen zu Exponaten und Installationen bereits weit verbreitet. Dabei bietet AR die Möglichkeit, Exponate individuell und interaktiv zu erkunden und dabei neue Formen der Informationsvermittlung zu erschliessen. Im Fokus unserer Untersuchungen steht die Swissarena im Verkehrshaus der Schweiz, dem nationalen Museum und Erlebnisraum für Verkehr und Mobilität. Die Swissarena beherbergt eine eindruckliche, begehbare Orthophotokarte der Schweiz im Massstab 1:20'000. Mit diesem Projekt und der Entwicklung einer AR App für das persönliche Smartphone oder Tablet soll ein völlig neuartiges, interaktives Erlebnis der Swissarena ermöglicht werden.

Wir beginnen den Beitrag mit einer kurzen Übersicht über frühere und aktuelle Forschung und Entwicklungen im Bereich Geospatial AR. Anschliessend stellen wir die Swissarena und ein entsprechendes Testfeld vor. In der Folge präsentieren wir Untersuchungen zur Verwendung eines riesigen Orthophotomosaiks als sogenannt "natürlichen" AR-Marker und zur Evaluation

¹ Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Architektur Bau und Geomatik, Institut Vermessung und Geoinformation, Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz,
E-Mail: [robert.wueest, michael.zwick, stephan.nebiker]@fhnw.ch

geeigneter Inhalte für die AR App. Nach der Vorstellung der Architektur der realisierten App und der Einbindung von Live-Inhalten geben wir einen Ausblick auf zukünftige Weiterentwicklungsmöglichkeiten.

2 Verwandte Arbeiten

Frühe, umfassende Übersichten über Augmented Reality und deren grundlegende Definitionen, Prinzipien und Anwendungen geben AZUMA (1997) und AZUMA et al. (2001). PAELKE (2007), vermittelt einen guten Überblick über erste konkrete AR-Anwendungen im raumbezogenen bzw. geographischen Kontext und identifiziert dabei augmentierte Karten als besonders interessantes Anwendungsfeld. Die frühen Beispiele von projektions-basierten augmentierten Karten (z.B. von REITMAYR et al. 2005) haben nicht zuletzt dank der Augmented Reality Sandbox (REED et al., 2014) eine gewisse Popularität erlangt. Im Rahmen der Projektinitiative GeoAR (Geospatial Augmented Reality) des Instituts Vermessung und Geoinformation (IVGI) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) wurde die Idee der Augmented Maps in den vergangenen Jahren aktiv weiter verfolgt (LOESCH et al. 2015). Dabei wird erfolgreich auf bildbasierte Georeferenzierung unter Verwendung der Karten als natürliche Marker gesetzt. In Abb. 1 wird die Überlagerung einer Landeskarte mit einem texturierten 3D-Landschaftsmodell und mit Live-Daten des öffentlichen Verkehrs demonstriert. Die Arbeiten von LOESCH et al. (2015) bilden die Basis für die weiteren Untersuchungen zum Markertracking in diesem Beitrag. Die Entwicklung der nachfolgend vorgestellten AR App profitierte zudem von der parallel laufenden Entwicklung der App «das Unsichtbare sichtbar machen» für die Römerstadt Augusta Raurica (CHRISTEN et al. 2016). Die neue Besucher-App verwendet unterschiedliche AR-Techniken zur Erkundung der damaligen historischen Stadt. Konkret erlaubt beispielsweise ein interaktives Stadtpanorama den Blick auf eine damalige Strassenszene am heutigen Betrachtungsort (Abb. 2).



Abb. 1: Augmented Maps Prototyp im Rahmen des Forschungsprojekts GeoAR

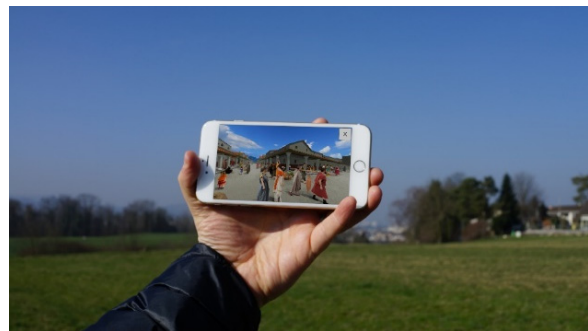


Abb. 2: Augusta Raurica App mit ortsbezogener Überlagerung des historischen Stadtpanoramas

3 Das Untersuchungsobjekt

3.1 Swissarena – Verkehrshaus der Schweiz Luzern

Das Verkehrshaus der Schweiz befindet sich in Luzern und ist mit jährlich rund 500'000 Eintritten das meistbesuchte Museum in der Schweiz. Die Swissarena ist ein Ausstellungsraum im Verkehrshaus der Schweiz. Das Kernstück der Swissarena ist die rund 200 m² grosse bedruckte Bodenfläche im Massstab 1:20'000. Deren originale, reale Bodenpixelauflösung (Ground Sampling Distance) beträgt 30 cm, woraus eine Bilddimension von 1'333'333 x 800'000 Pixel und eine Datenmenge von rund 1.66 TB resultiert. Der Orthophotodruck der Schweiz und des nahen Auslandes von Mappuls AG / Axon Vibe AG kann von einer Balustrade aus betrachtet und mit speziellen Pantoffeln begangen werden. Teiltransparente Strassen- und Schienengeometrien überlagern das Orthophoto. Dennoch ist die Orientierung für viele Gäste alles andere als einfach. Um sich spielerisch mit der Geografie der Schweiz auseinanderzusetzen existieren tellergrosse Ausschnitte des Orthophotos, die an der korrekten Lage platziert werden sollen. In der Vergangenheit existierten zudem kleine Wagen, die auf einem Display verschiedene Wanderrouen je nach Standort im Raum anzeigten. Die Positionsbestimmung der Wagen erfolgte Location-based mittels Lichtsignalen im Infrarot-Bereich.

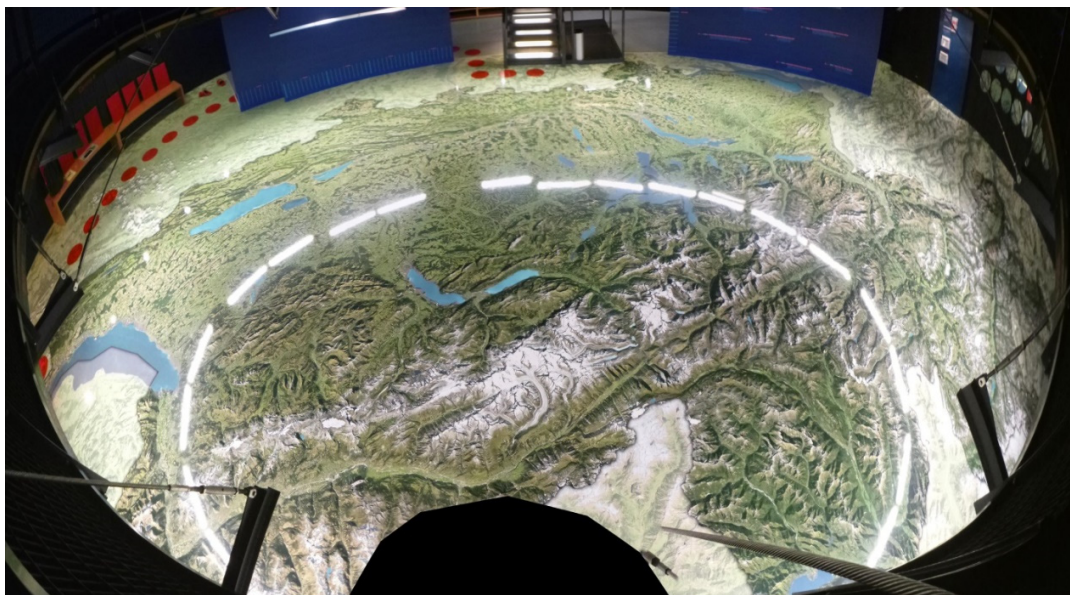


Abb. 3: Ausstellungsraum Swissarena im Verkehrshaus der Schweiz mit Orthophoto als Bodenbelag von der Balustrade aus betrachtet

3.2 Testfeld an der FHNW

Für die nachfolgenden Untersuchungen und für die Entwicklung der swissAREna App wurde an der FHNW ein Testfeld im gleichen Massstab eingerichtet. Dieses Testfeld mit einer Dimension von 2.5 x 2.5 m enthält einen Ausschnitt der Zentralschweiz von 50 x 50 km und basiert auf den identischen Bilddaten wie der Boden in der Swissarena (vgl. Abb. 4). Der Bodenbelag besteht aus einem bedruckten und direkt verklebten Bodenlaminat und weist andere Belichtungsverhältnisse

auf als in der Swissarena, was jedoch aus Sicht der Robustheit der zu realisierenden App durchaus ein erwünschter Parameter ist.

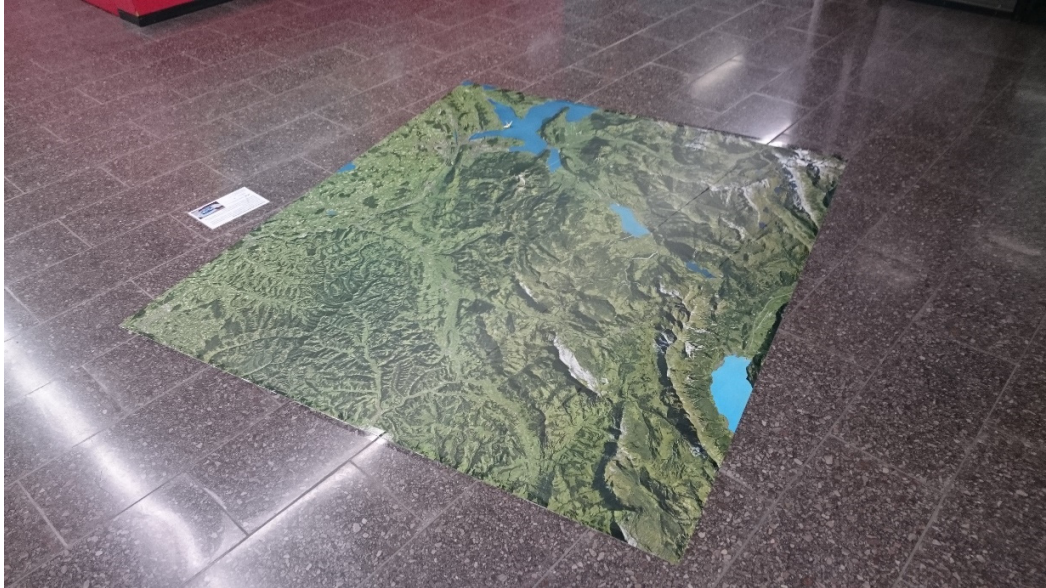


Abb. 4: Swissarena Testfeld an der FHNW mit einem Ausschnitt der Zentralschweiz

4 Landesweites Orthophoto als AR-Tracker

4.1 Ziele und Anforderungen

Das Orthophoto ist das zentrale Ausstellungsobjekt in der Swissarena. Für eine Lokalisierung von mobilen Geräten sollen darauf keine künstlichen Marker angebracht werden. Es wird deshalb angestrebt, Elemente des bestehenden Ausstellungsraumes als natürliche Marker zu nutzen. Wie im GeoAR-Projekt mit Landeskarten von LOESCH et al. (2015) demonstriert, wird in der Swissarena das Orthophoto als natürlicher Marker genutzt. Die Robustheit gegenüber Reflexionen der Leuchtkörper auf der glatten Oberfläche des Schutzlacks (vgl. Abb. 3) aber auch partieller Verdeckungen durch andere Besuchende soll gewährleistet sein. Die App soll über die üblichen Kanäle bezogen und auf gängigen Smartphones und Tablets verwendet werden können.

Das Orthophoto der Swissarena ist mit seinen rund 200 m² und der resultierenden Bilddimensionen und Datenmenge sehr gross. Die Ressourcen (Speicherplatz und Rechenleistung) auf einem üblichen Smartphone sind jedoch beschränkt und bei den Untersuchungen und der Umsetzung zu berücksichtigen. Infolge der Raumanordnung und -ausdehnung in der Swissarena variiert der Abstand vom Marker zur Kamera je nach Standort um mehrere Meter und die Nutzung der App erfolgt über einen grossen Distanz- bzw. Massstabsbereich. Von der Balustrade aus ist ein Grossteil des Orthophotos im Blickfeld, bei der lokalen Verwendung direkt über dem Orthophoto ist jedoch nur ein kleiner Ausschnitt sichtbar. Die Kamera registriert demzufolge unterschiedlich detailreiche Ausschnitte des Markers.

4.2 Lösungskonzept und Untersuchungen

Um das Projektionszentrum der Kamera bestimmen zu können werden bekannte Muster, Marker genannt, aus der Realwelt benötigt. Ein Marker besteht aus einer Bilddatei und der daraus erzeugten Merkmalsdatenbank. In der Merkmalsdatenbank sind markante Bildpunkte beschrieben. Zur Erzeugung der Merkmalsdatenbank wurde Vuforia SDK von PTC Inc. verwendet. Das verwendete Bildmaterial sollte viele verteilte Details mit markanten Punkten und hohen Kontrast aufweisen, die jedoch nicht wiederholend sind. Während der Verwendung einer markerbasierten AR App werden aus dem Kamerabild laufend Merkmale detektiert und mit der Merkmalsdatenbank der bekannten Marker verglichen. Bei einer Übereinstimmung können das Projektionszentrum der Kamera und deren Ausrichtung bestimmt werden. Das Tracking unterstützt den kontinuierlichen Prozess der Positions- und Orientierungsbestimmung mithilfe der Bildverfolgung im Kamerabild.

Um ein stabiles AR-Tracking über eine solch grosse Fläche zu realisieren, bedarf es eines systematischen Ansatzes um einerseits eine komplette Abdeckung der zu trackenden Fläche zu erhalten und andererseits eine Optimierung zu erreichen. Optimierung wird hier vor allem auf die Datenmenge bezogen was die Performance der App negativ beeinflussen könnte. Für die Kombination von im 3D-Raum relativ zueinander orientierter Marker ist von der Vuforia SDK ein sogenannter Multimarker vorgesehen. Hier wird ein solcher Multimarker jedoch zusätzlich verwendet um verschieden detaillierte Marker zu organisieren. Aus dem Orthophoto wurden mit der Quadtree-Struktur Marker als Kacheln für verschiedene Levels of Detail (LOD) generiert wie dies LOESCH et al. (2015) als Weiterentwicklungsvariante für Multimarker beschrieben haben (vgl. Abb. 5).

Durch die Vernachlässigung von überflüssigen Markern (z.B. ausserhalb des Interessenbereichs) und Markern die viele stufenübergreifend redundante Merkmale aufweisen, lässt sich deren Anzahl stark reduzieren. Dazu wurden verschiedene Kombinationen mit einer reduzierten Anzahl Marker erstellt und die daraus resultierende Robustheit und Abdeckung im Ausstellungsraum und auf dem Testfeld untersucht.

4.3 Resultate

Durch die Verwendung von mehreren Markern, die in einem Multimarker zueinander orientiert werden (Verschiebung, Drehung und Skalierung), kann die Robustheit der Markererkennung gesteigert werden. Untersuchungen von ZWICK (2016) haben gezeigt, dass durch die Verwendung von Markern unterschiedlicher Grössen und Auflösungen, sowie deren Integration in einem Multimarker, die Robustheit der Positions- und Orientierungsbestimmung gesteigert werden kann. Werden zu viele Marker verwendet, kann die Rechenleistung an ihre Grenzen stossen, denn für die Merkmale in jedem Bild (Frame) einer Aufnahme wird eine Übereinstimmung in der Merkmalsdatenbank gesucht. Aus den Untersuchungen resultiert ein Multimarker, bestehend aus 51 Markern auf drei verschiedenen LOD-Stufen (vgl. Abb. 6). Zu einer Auswahl an Markern aus den LOD-Stufen 1 und 2 kommt ein einzelner Marker über die ganze Schweiz dazu (LODCH). Dieser zusätzliche Marker ermöglicht auch die Nutzung der App auf einem A3-Ausdruck.

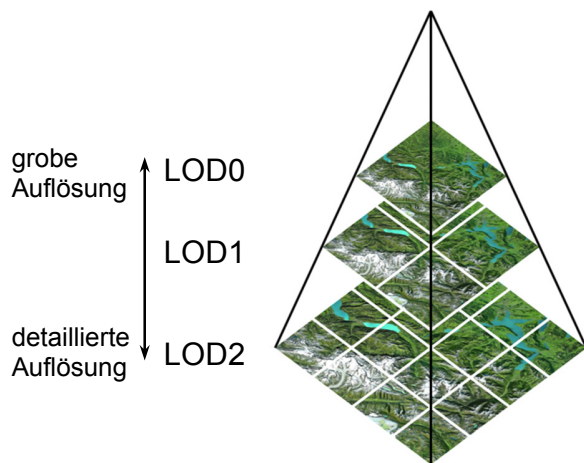


Abb. 5: Multimarker als Bildpyramide mit Quadtree-Kachelstruktur und LOD-Stufen des Orthophotos im Bereich der Zentralschweiz

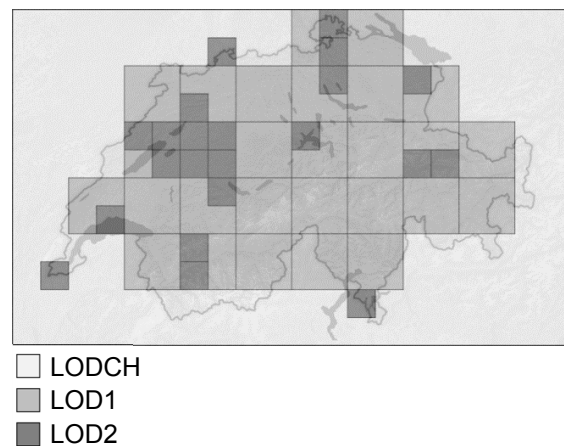


Abb. 6: Markerkonfiguration für den Multimarker bestehend aus drei verschiedenen LOD-Stufen und einer Ausdehnung von 400 x 240 km (Zwick, 2016)

5 Inhalte

5.1 Zielgruppe

Im Verkehrshaus der Schweiz stehen inhaltlich die Kernthemen Verkehr und Mobilität im Vordergrund. So musste bei der Evaluation der zu überlagernden Inhalten dem entsprechend Sorge getragen werden. Die App richtet sich in erster Linie an alle Museumsbesucherinnen und -besucher unabhängig von deren Alter. Einschränkender Faktor dabei ist die Verfügbarkeit eines Smartphones oder Tablets. Die Besucher sollen durch die App angeregt werden forschend die Landkarte der Schweiz zu erkunden. Viele Besucherinnen und Besucher des Verkehrshauses sind Schulklassen (ca. 10%) oder Familien. Den jüngeren Menschen fällt der Zugang zu technologischen Geräten in einem spielerischen Kontext oft leicht, was den Einsatz einer App begünstigt.

5.2 Inhaltskonzept

Die augmentierten Inhalte der App stellen das Wesentliche der App dar. Dabei standen diverse Forderungen im Raum. Einerseits müssen die Daten einen informationellen Mehrwert bieten und andererseits aktuell sein. Der wichtigste Faktor stellt jedoch der räumliche Bezug der Daten dar. Für die Entwicklung der swissARena App wurden diverse Inhalte getestet und danach in thematischen Teilen umgesetzt respektive implementiert. Folgende Daten wurden bei den Untersuchungen in Betracht gezogen:

- Flugverkehr: Transponderdaten mit aktuellen Informationen
- Wetter: Wetterstationsdaten
- Adressen: Geocoding / Reverse-Geocoding
- Öffentlicher Verkehr: Stationen und Fahrpläne
- Motorisierter Verkehr: Aktuelle Stausituation

5.3 Realisierte Inhalte

5.3.1 Adressen & Geocoding

Das Adressmodul bietet die Möglichkeit Orte oder Adressen gezielt zu suchen und führt die Anwenderinnen und Anwender mittels Richtungsindikator an den entsprechenden Ort. Weiter ist mittels Reverse-Geocoding ein Abrufen des Orts im Zentrum des Kamerabildes möglich.

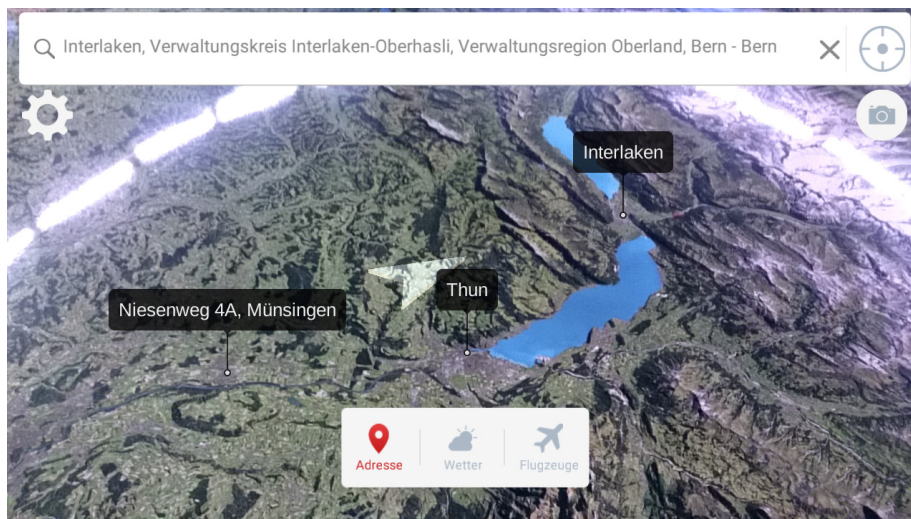


Abb. 7: Adresssuche mit Richtungsindikator (Pfeil im Zentrum)

5.3.2 Wetter

Aus Radarniederschlagsbildern und ortsbezogenen Wetterdaten wird eine Überlagerung der aktuellen Schweizer Wetterverhältnisse erzeugt. Das Wettermodul stellt zwei verschiedene Datensätze dar: Für bestimmte Orte wird ein Wettersymbol und die aktuelle Temperatur aus den Wetterstationsdaten angezeigt. Mit Partikeleffekten wird zudem eine simulierte, jedoch akkurate Wolkendecke aus den Radarniederschlagsbildern dargestellt.



Abb. 8: Wetterdatenüberlagerung mit Wolkensimulation

5.3.3 Flugverkehr

Mittels aktueller Transponderdaten können die Flugzeuge im schweizerischen Luftraum registriert und verfolgt werden. Auf Abb. 9 ist zu sehen wie durch Interaktion mit einem Flugobjekt, dargestellt als vergrössertes 3D-Modell, weitere interessante Informationen zum Flugobjekt abgerufen werden können. Die Position des 3D-Flugzeugs entspricht dabei massstabsgetreu der effektiven Position der Transponderdaten. Weil die Daten in Intervallen abgerufen werden, wird die kontinuierliche Fortbewegung des Flugzeugs durch Interpolation simuliert.



Abb. 9: Flugverkehr über der Zentralschweiz mit Fluginformationen

6 Die swissARena App

6.1 Architektur

Durch die Evaluation verschiedener AR-Frameworks musste eine geeignete Plattform gefunden werden die die genügende Performance und Robustheit des Markertrackings auf mobilen Geräten gewährleistet. Frameworks wie ARToolKit (<http://artoolkit.org>) oder OpenCV (<http://opencv.org>) bieten Lösungen für desktopbasierte Anwendungen. Zur Realisierung von AR auf verschiedenen mobilen Plattformen gleichzeitig (Multiplatform Support für Android, iOS etc.) wurde letztlich auf das Framework Vuforia (<http://www.vuforia.com>), in Kombination mit der 3D-Engine Unity3D (<https://unity3d.com>), zurückgegriffen. Dadurch war es möglich, effizientes AR auf mobilen Geräten zu realisieren und gleichzeitig state-of-the-art 3D-Technologie zu nutzen (vgl. Abb. 10).

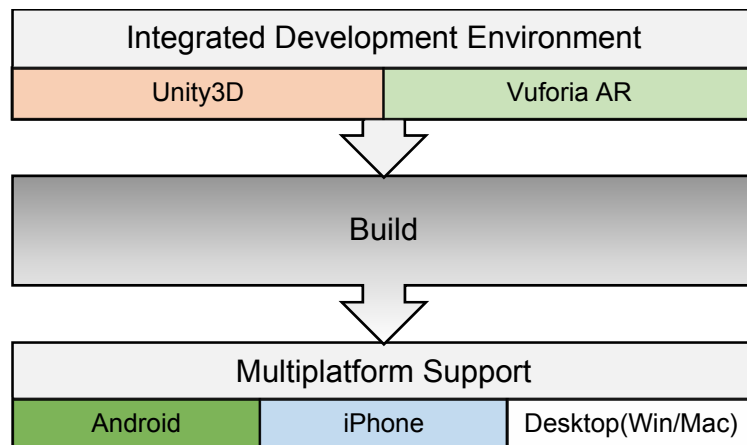


Abb. 10: Entwicklungsarchitektur für AR Apps auf mobilen Geräten

6.2 Geodaten-Einbindung

6.2.1 Datenquellen

Für die umgesetzten drei Inhaltsmodule wurden die folgenden aktuellen und wo möglich frei verfügbaren Datenquellen verwendet:

- **Adressen & Geocoding:** Für das Geocoding beziehungsweise Reverse-Geocoding wird der OpenStreetMap-Dienst Nominatim verwendet (<http://nominatim.openstreetmap.org>). Da wir uns dank der räumlich korrekt platzierten Marker virtuell im Schweizer Bezugsrahmen befinden, können die Koordinaten ohne weitere Transformationen verwendet werden. .
- **Wetter:** Ortsgebundene Wetterdaten können durch OpenWeatherMap (<http://openweathermap.org>) bezogen werden und dienen bei diesem Projekt als Datengrundlage für die Wettersymbole mit den Temperaturangaben. Die Radarbilder werden aus einer kommerziellen Quelle bezogen. Bei beiden Datenquellen handelt es sich um aktuelle Daten mit einem Aktualisierungszyklus von wenigen Minuten.
- **Flugzeuge:** Jedes zivile Luftfahrzeug im Schweizer Luftraum muss über einen sogenannten Transponder verfügen und dessen Daten können mit einem geeigneten Empfänger unverschlüsselt empfangen werden. Die hier verwendeten Daten stammen aus einem Netzwerk von Empfängern und werden freundlicherweise von SwissFlightLive (<http://www.flightlive.net>) zur Verfügung gestellt. Die Daten werden in Zeitabständen von 3-5 Sekunden aktualisiert.

6.2.2 Streaming & Caching

Um die Daten effizient den Benutzerinnen und Benutzer über die App zugänglich zu machen, wurde ein Caching bzw. Streaming-Service realisiert. Dabei soll sichergestellt werden, dass selbst bei einem Ausfall der Rohdatenquelle ein Betrieb der App weiterhin gewährleistet werden kann.

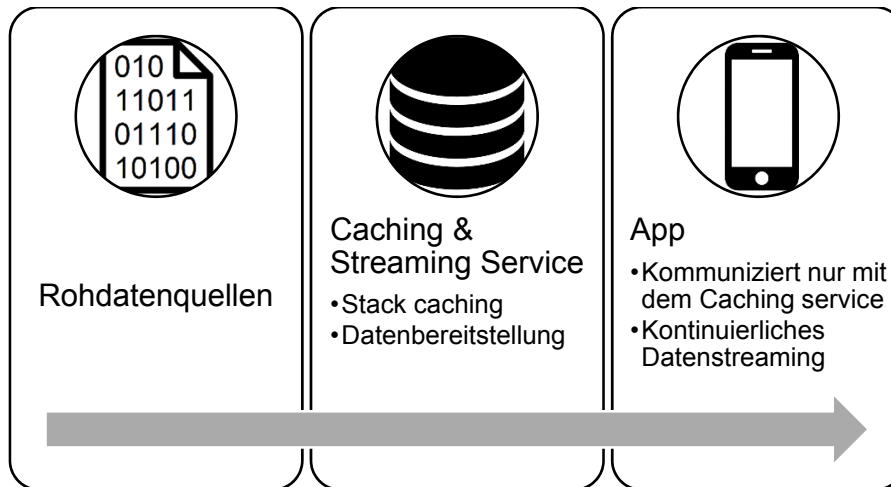


Abb. 11: Caching & Streaming Infrastruktur für die swissARena App

7 Fazit & Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine innovative Augmented Reality Anwendung unter Verwendung eines sehr grossen ausgedruckten Orthophotos als natürlicher Marker vorgestellt. Durch den Einsatz eines optimierten Multimarkerkatalogs mit mehreren Skalierungen konnte ein robustes Tracking der gesamten Markerfläche erreicht werden und es wurde gezeigt welche Faktoren bei der Robustheitssteigerung massgebend sind. Dies ist gerade für die Anwendung in der Swissarena von zentraler Bedeutung – einerseits wegen der partiellen Sichtbarkeit des sehr grossen Markers und wegen Verdeckungen durch anderen Museumsbesucherinnen und -besucher andererseits. Im Beitrag wurde die Integration sehr unterschiedlicher raumbezogener Live-Inhalte untersucht und demonstriert. Die Resultate zeigen auf, dass heute anspruchsvolle AR-Anwendungen auf Smartphones und Tablets realisierbar sind, die sowohl hoch genaues, bildbasiertes Tracking als auch komplexe 3D-Inhalte in Echtzeit unterstützen.

Aufbauend auf den vorgestellten Untersuchungen soll die swissARena App im Sommer 2016 veröffentlicht werden. Dabei ist eine laufende Erweiterung um neue Inhalte und Funktionen geplant. Konkret wird der Einsatz dieser Technologie sowohl für Unterrichtszwecke in Schulen selbst, als auch vor Ort im Museum untersucht. Geospatial Augmented Reality weist ein grosses, noch wenig erschlossenes Potential auf, um den intrinsisch motivierten Entdeckungsdrang von Kindern und Jugendlichen für didaktische Zwecke nutzbar machen.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir der Firma Axon Vibe AG für die gute Zusammenarbeit und die Bereitstellung der digitalen Orthophotos sowie dem Verkehrshaus der Schweiz für die tatkräftige Unterstützung des Projekts herzlich danken.

9 Literaturverzeichnis

- ARTH, C., GRUBER, L., GRASSETT, R., LANGLOTZ, T., MULLONI, A., SCHMALSTIEG, D. & WAGNER, D., 2015: The History of Mobile Augmented Reality, Technical Report ICG–TR–2015-001, University of Technology, Graz.
- AZUMA, R., 1997: A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* **6** (4), 355-385.
- AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R. & FEINER, S., 2001: Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications* **21** (6), 34-47.
- CHRISTEN, M., BLASER, S., LOESCH, B. & NEBIKER, S., 2016: Prozedurale Modellierung von historischen 3D-Stadtmodellen und deren Aufbereitung für 3D-Visualisierungen in einer Smartphone-Applikation am Beispiel der römischen Stadt Augusta Raurica. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 25*, T. Kersten (Hrsg.), Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Bern, 7.-9. Juni 2016, 217-229.
- LOESCH, B., CHRISTEN, M., WÜEST, R. & NEBIKER, S., 2015: Geospatial Augmented Reality – Lösungsansätze mit natürlichen Markern für die Kartographie und die Geoinformationsvisualisierung im Außenraum. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 24*, T. Kersten (Hrsg.), 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 16.-18. März 2015 an der Universität zu Köln, Tagungsband auf CD-ROM, 89-97.
- PAELKE, V., 2007: Mixed Reality - Benutzungsschnittstellen für die raumbezogene Informationsverarbeitung. *GIS Geo-Informationssysteme*, **7** (7), 14-21.
- REED, S. E., KREYLOS, O., HSI, S., KELLOGG, L. H., SCHLADOW, G., YIKILMAZ, M. B., SEGALE, H., SILVERMAN, J., YALOWITZ, S. & SATO, E., 2014: Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education. *American Geophysical Union (AGU), Fall Meeting 2014, Abstract No. ED34A-01*.
- REITMAYR, G., EADE, E. & DRUMMOND, T., 2005: Localisation and interaction for augmented maps. *4th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05)*, 120-129.
- ZWICK, M., 2016: AR App Swissarena – Untersuchungen zur erweiterten interaktiven Nutzung der Swissarena im Verkehrshaus der Schweiz mittels Augmented Reality. Masterthesis, FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz.