

Mixed Reality Anwendungen mit 3D-Stadtmodellen

MARTIN CHRISTEN¹, URS CLEMENT¹ & ADRIAN MEYER¹

Zusammenfassung: Mit einer Augmented Reality App soll der Bevölkerung der Stadt Basel einen neuen Einblick geboten werden. Dabei werden 2D-Karten und auch das physikalische Stadtmodell überlagert. In vier Modulen wird der offizielle Stadtplan mit interaktiven Grafiken bereichert. Zunächst kann das komplette 3D-Stadtmodell überlagert werden, dabei können unterschiedliche Layer wie beispielsweise Fahrradrouten oder Müllabfuhrzonen aktiviert werden. Auch die Visualisierung von Untergrunddaten, wie beispielsweise der Abwasserentsorgung, kann eingeblendet werden. Das zweite Modul beinhaltet die Adresssuche, verbunden mit Informationen zu Quartieren und Sehenswürdigkeiten. Ein weiteres Modul beinhaltet die Verkehrssimulation, bei der Züge, Trams und Schiffe auf der Karte überblendet werden können. Im letzten Modul werden aktuelle Wetterinformationen augmentiert. Dabei werden unter anderem auch Wolken und Regen mit volumetrischen Ansätzen visualisiert, dessen Datengrundlagen von Live-Wetterdaten stammen. In diesem Beitrag wird auch gezeigt, wie eine solche Applikation entwickelt wird und wie die Qualität der 3D-Visualisierung durch globale Beleuchtungsansätze verbessert werden kann.

1 Mixed Reality Anwendungen auf Smartphones

Augmented Realty (AR, erweiterte Realität) hat in den letzten Jahren dank Smartphones deutlich an Popularität gewonnen. Mit Augmented Reality werden virtuelle Welten mit Abbildungen realer Objekte ergänzt. Erste Entwicklungen in diesem Bereich waren noch mit aufwändiger Hardware realisiert (SUTHERLAND 1965). Dank der heutigen Rechenpower und der integrierten Sensoren bei Smartphones (COSTELLO 2016) ist Augmented Reality mit stabilen Tracking auf handelsüblichen Geräten möglich. Inzwischen liefern sogar die Smartphone Hersteller entsprechende APIs mit, so hat Apple das ARKit vorgestellt (APPLE INC. 2017) und Google ARCore (KLING 2017). In der Definition Augmented Reality von AZUMA (1997) werden reale und virtuelle Inhalte kombiniert, und zwar interaktiv in Echtzeit und ist im dreidimensionalen Raum referenziert.

MILGRAM (1994) erwähnte den Begriff **Mixed Reality** im Rahmen des Konzepts des Virtualitätskontinuums. Mixed Reality umfasst das gesamte Realitäts-Virtualitäts Kontinuum, dass die virtuellen Objekte mit der realen Welt interagieren. Dies wurde auch bereits in zahlreichen Applikationen konkret umgesetzt wie beispielsweise in den kürzlich präsentierten Arbeiten von KERVEGANT et al. (2017), PIUMSOMBOON et al. (2017) und RODRIGUES et al. (2017). Weitere aktuelle Applikationen im Bereich zu AR finden sich auch in SCHMID (2017) und LEE (2017). Ein ausführlicher Bericht über Entwicklungen und Technologien im Bereich von Augmented Reality wurde kürzlich von BILLINGHURST (2015) erstellt.

Vuforia ist ein in vielfacher Hinsicht beliebtes Framework für Marker-basierte Augmented und Mixed Reality Anwendungen (LOESCH et al. 2015). Es umfasst ein Software Development Kit

¹ Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institut Geomatik, Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz, E-Mail: [martin.christen, urs.clement, adrian.meyer]@fhnw.ch

(SDK) mit vollständiger Integration in Unity. Dadurch ergibt sich ein hohes Maß an Kompatibilität gegenüber iOS- und Android-Geräten, sowie mit der Wearable Platform Microsoft HoloLens. Bei Vuforia werden jedoch in der Regel keine hardware-basierte Sensorinformationen wie GPS, Kompass und IMU/Accelerometer in die Lageberechnung miteinbezogen. Weil Vuforia durch fortgeschrittene Computer Vision Technik eine im Vergleich sehr robuste Markerdetektion für zweidimensionale Targets aufweist und eine Reihe von Konfigurationsmöglichkeiten für Entwickler bereitstellt, hat sich die Technologie (laut der Mutterfirma PTC) zur Zeit als AR-Marktführer positioniert (SHANDWICK AND WOWTSCHERK 2015). Auch für Ausstellungen und museale Settings, wie sie sich bei diesem Projekt finden, wurde Vuforia schon erfolgreich angewendet (CHRISTEN et al. 2016; LOESCH et al. 2015; PENG AND ZHAI 2017; WÜEST et al. 2016). Vuforia wird derzeit von vielen Entwicklern als AR SDK bevorzugt, da es bis zu einem bestimmten Rahmen im nicht kommerziellen Bereich gratis verfügbar ist und eine große Bandbreite an Features enthält (SCHMIDT 2017). Außerdem bietet die Unterstützung von Unity3D für viele Entwickler eine bereits gewohnte Umgebung und relativ umfangreiche Möglichkeiten zur Portierung vorhandener Apps und Spiele. Der wohl stärkste Konkurrent war bis vor kurzem das Metaio SDK. Es bietet ein ähnlich stabiles Tracking mit vielen Features und kann durch die Unity Integration auf einer großen Bandbreite von Geräten angewendet werden. Ferner existieren ähnlich wie bei Vuforia eine große Community und ausreichend Dokumentation. Der Preis von 5500,- USD für Apps ohne «Watermarking» zusammen mit einer mehrfach beschriebenen «steep learning curve» ist jedoch relativ hoch angesetzt. Einige Entwickler bescheinigen Metaio eine bessere 3D-Marker-Erkennung im direkten Vergleich mit Vuforia. Seit der Übernahme von Metaio durch Apple im Jahr 2015 wird die eigene Software jedoch nicht mehr weiterentwickelt. Es ist anzunehmen, dass das Knowhow der Firma heute sowohl für ARKit, als auch für das FaceID-Verfahren verwendet wird (WIESEND 2015).

Ein weiterer Anbieter einer AR SDK ist Wikitude. Wikitude ermöglicht die Erkennung von 3D-Targets mittels vollintegrierter SLAM-Algorithmen und hat eine relativ große Nutzerbasis. Um Zugriff auf die Objekterkennungsbibliothek zu erhalten, ist jedoch ein Abonnement mit jährlichen Kosten von ca. 3000,- EUR notwendig (WIKITUDE 2017).

Weitere neue Marktteilnehmer mit einer Möglichkeit zur markerbasierten Objekterkennung sind «Total Immersion», «Arpa Solutions», «13th Lab», «ARToolkit» und «Orbotix». Aufgrund hoher Initialkosten, unzureichenden Tutorials/Community-Feedback, fehlender Unity-Unterstützung, instabilem Tracking oder einer schwierigen Einarbeitungsphase erschien eine Anwendung dieser Plattformen für die vorliegende Arbeit im gegebenen Rahmen als unrealistisch (MULA 2015).

Apples ARKit ist ein Software-Framework, das zur Verwendung in modernen iOS-Geräten (Chipsatz mindestens A9) mit dem Update auf iOS 11 ausgespielt wurde. Das Magazin «Apple Insider» ging im Oktober 2017 von einer Nutzerbasis (geschätzt an der Anzahl Installationen) von 350 Millionen Endgeräten aus (DILGER 2017). Das Verfahren der Umgebungsdetektion mittels der Fusion aus bewegungsphotogrammetrischen Bilddaten der rückseitigen Kamera und IMU Sensorik wird «Visual Inertial Odometry» genannt (APPLE INC. 2017). Erwähnenswert ist die Tatsache, dass das Framework ohne Kalibrierung auskommt, horizontale Flächen wie Tische und Böden erkennt, sowie eine Einfallswinkel-Einschätzung des Umgebungslichts ermöglicht. Bereits bei der erstmaligen Vorstellung der Software auf der WWDC2017 wurde außerdem eine

Unterstützung der Unity-Entwicklungsumgebung angekündigt. Derzeit wird die Unity-Integration noch als «experimentell» eingestuft; seit Juni 2017 gab es bereits 11 kleinere Releases (UNITY TECHNOLOGIES 2017). Eine komfortable, markerbasierte Mixed-Reality-Umsetzung außerhalb der frontseitigen Gesichtserkennung fehlt dem Framework jedoch noch. Eine Integration mit Vuforia oder eine andere Methode zur Objekterkennung, die über die Detektion horizontaler Oberflächen hinausgehen würde, ist derzeit noch nicht offiziell verfügbar. Apple forciert momentan noch die Entwicklung von ARKit-Apps mittels der eigenen Entwicklungsplattform Xcode, wobei markerbasierte AR derzeit nicht im Vordergrund zu stehen scheinen (LING 2017). Durch den Zukauf von Metaio im Jahr 2015 ist jedoch davon auszugehen, dass Apple das notwendige Knowhow für markerbasierte AR besitzt und noch an der Umsetzung arbeitet (WIESEND 2015). Einige Entwickler setzen sich jedoch seit der Lancierung von ARKit für die Programmierung von markerbasierter AR im Rahmen von Unity3D ein (STACK OVERFLOW 2017).

2 Problemstellung

Es soll eine Mixed-Reality Applikation entwickelt werden, welche auf zwei Arten mit der realen Welt interagieren kann. Zunächst soll diese Interaktion mit einem 2D-Stadtplan realisiert werden. In der zweiten Phase soll untersucht werden ob es möglich ist auch eine Interaktion mit einem physikalischen Stadtmodell zu realisieren.

Um der immer weiter etablierten Nutzung von Geodaten auf mobilen Endgeräten Rechnung zu tragen, hat sich das Grundbuch- und Vermessungsamt Basel-Stadt für die Entwicklung einer Augmented-Reality-App als Erweiterung ihres Geoviewers entschieden und das Institut Geomatik IGEO der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW mit der Realisierung einer Augmentierung des offiziellen 2D-Stadtplans Basels beauftragt. Mittels Smartphones und Tablets soll der um 3D-Daten (digitales 3D-Stadtmodell, Terrain), Vektordaten (u.a. ÖV-Linien, Abfuhrzonen, Zonenplan), Punktdaten (u.a. Points of Interest POI) und anderen Informationen, wie Wetter- und Verkehrsdaten erweiterte Stadtplan intuitiv erfahrbar sein und somit die frei verfügbaren Geodaten des Kantons in einem modernen Angebot der Öffentlichkeit präsentiert werden. Die Entwicklung der App ist in Arbeit und wird mit Unity3D unter Verwendung des Vuforia SDK realisiert. Gleichzeitig soll auch untersucht werden, inwiefern sich physikalische Stadtmodelle augmentieren lassen können. Das physikalische Stadtmodell von Basel-Stadt ist ein im Maßstab 1:1000 gefertigtes, realitätsnahes Architekturmodell (LOD2) der gesamten Basler Innenstadt, sowie einigen Vorstädten des umgebenden trinationalen Ballungsraumes. Der öffentlich zugängliche Ausstellungsraum verfügt über ein Beleuchtungssystem, welches einfache Schattenwurfsimulationen ermöglicht. Das dazugehörige Modellbauatelier verfolgt das Ziel, städtisch-raumplanerische Zusammenhänge im Rahmen von Architekturwettbewerben und Testplanungen in diesem musealen Kontext erleb- und erfahrbar zu machen (PLANUNGSAMT DES KANTONS BASEL-STADT 2017).

Es existieren derzeit verschiedene mögliche *Mixed/Augmented Reality* (AR)-Technologien, welche die Realisierung einer Mobile App zur Überlagerung des physikalischen Basler Stadtmodells mit zusätzlicher Information ermöglichen. Ziel der Vorstudie war die Identifikation einer technologischen Lösung, welche die dreidimensionale Lage- und Raumbeziehung von Modell und Betrachter abschätzen kann. Außerdem soll zusätzliche 3D-(Geo-)Informationen durch Bildüberla-

gerung auf handelsüblichen mobilen Endgeräten angezeigt werden können. Über die technische Machbarkeit und die Abwägung der verschiedenen Technologien hinaus, wurde eine Analyse vorgenommen, welche Daten sich zur Überlagerung mit dem Modell eignen, wie diese visualisiert werden und woher sie bezogen werden könnten.

Zusätzlich zur Vorstudie umfasst das Projekt einen Experimentalteil, der die direkte Anwendbarkeit der verschiedenen Technologien untersucht. Hierbei stand neben der Bewertung der verschiedenen Technologieträger vor allem die Entwicklung eines lauffähigen Prototyps im Vordergrund. Dieser stellt die technische Grundlage für die zukünftige Entwicklung (ab Mitte 2018) einer vollwertigen, downloadbaren, öffentlichen Mobile App dar. Der Fokus bei der Appentwicklung wurde in erster Linie auf die sichere Erkennung der Position von Modell und Betrachter, die Stabilität des Trackings und eine performante 3D-Laufzeitumgebung gelegt.

Als AR-Marker - im Sinne eines durch Computer Vision und Bildanalyse erkennbaren Objekts in der realen Welt - stellt das von Hand und aus Holz gefertigte Architekturmodell eine besondere Herausforderung dar: Die Größe des Modells von ca. 40 m² geht weit über die normalerweise zur Anwendung kommenden Ausmaße typischer AR-3D-Marker (z.B. Industrie- und Verbraucherprodukte wie Maschinenteile, Spielzeug, Fahrzeuge oder Möbel) hinaus. Auch die Lichtverhältnisse im musealen Kontext des Modells, sowie texturarme Oberflächen und repetitive Muster stellen teilweise hohe Anforderungen an Hard- und Software dar. Durch die (in den letzten Jahren massiv von verschiedensten Marktteilnehmern vorangetriebene) Technologieentwicklung ist die Realisierung von Zukunftsvisionen - wie der hier vorgestellten Echtzeit-Überlagerung von 3D-Information an einem Architekturmodell - nun möglich geworden.

3 Realisierung der Apps

3.1 Mixed Reality mit dem 2D-Stadtplan Basel-Stadt



Abb. 1: Augmented-Reality-App für den Stadtplan von Basel

3.1.1 Datenhandling

Der Umgang mit Geodaten in Unity3D ist mit großem Aufwand verbunden. Als Grundlagendaten liegen sämtliche verfügbaren Geodaten des Geoportals des Kantons Basel Stadt (<http://www.geo.bs.ch>) im Bezugssystem CH1903+ (LV95, EPSG:2056) vor. Unity verwendet ein lokales Koordinatensystem, wobei eine Unity-Einheit einem Meter entspricht. Sämtliche Geodaten wurden unter Beibehaltung der Skalierung zum Nullpunkt verschoben.

Unity kann mit Vektordaten nicht umgehen und erlaubt nur den Import von Solid Models in Formaten wie Wavefront OBJ oder Autodesk FBX. Volumenmodelle wie das 3D-Stadtmodell können verhältnismässig einfach konvertiert, importiert und in der AR-Szene platziert werden. Geländemodelle können mit Photoshop in .raw-Files gespeichert, in Unity als Heightmaps importiert und als Terrain-GameObjects mit Textur dargestellt werden.

Linien-, Flächen- und Punktdaten zu importieren erweist sich als aufwändiger. Für Shapefiles und andere Vektordatenformate bietet Unity keine direkte Möglichkeit. Aus den Liniengeometrien von Shapefiles wurden deshalb in FME Workbench mittels Buffering, Extruding und Surface Draping dreidimensionale Meshes generiert, ähnlich konnten die Modelle der Flächendaten erstellt werden. Damit allfällige Attribute nicht verloren gehen, können die Shapefiles zusätzlich in JSON konvertiert und die Attribute der Daten in C#-Klassen gespeichert werden. Die so erhaltenen Meshes der Linien- und Flächendaten werden direkt in Unity platziert. Auch aus den Shapefiles der Punktdaten werden C#-Klassen erstellt. Alle Attribute inklusive der Koordinaten werden gespeichert, was eine Platzierung aller POIs in der Szene mittels Funktionen aus C#-Scripts erlaubt.

3.1.2 Image Targets

Vuforia stellt ein Marker-basiertes Augmented Reality-Framework dar. Um den räumlichen Bezug zwischen Kamera und Projektionsfläche (in diesem Sinne der Stadtplan) herzustellen, werden Marker, sogenannte ImageTargets, erstellt.

2D Image Targets sind Bilder, welche durch die Vuforia SDK erkannt und getrackt werden können. Herkömmliche Referenzmarken wie QR Codes oder Data Matrix Codes benötigen spezielle Schwarz-Weiss-Muster oder Strich- und Zahlencodes für eine Detektion. Vuforia Target Manager erlaubt dagegen die Generierung einer Feature-Repräsentation beliebiger Bilder. Die generierten Feature-Repräsentationen der gewünschten Marker werden als Unity Package gespeichert, in Unity importiert und für das Tracking verwendet, indem im Kamerabild erkannte Features mit denjenigen der Image Targets verglichen werden. Marker können im PNG- und JPEG-Format hochgeladen werden, sollten mindestens 320px Seitenlänge aufweisen und dürfen nicht größer sein als 2MB (VUFORIA 2018).



Abb. 2: Stadtplan-Kachel als Image Target

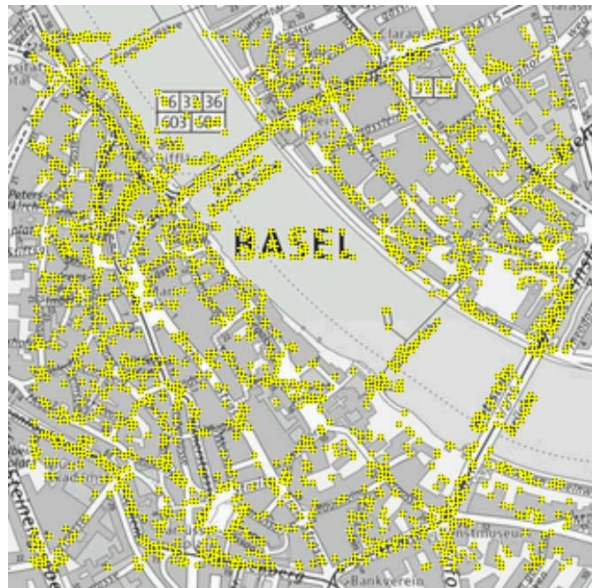


Abb. 3: von Vuforia SDK erkannte Features

2D Image Targets eignen sich speziell für die Augmentierung für Printmedien, weshalb der Stadtplan gekachelte und als Marker verwendet wird. Es werden drei Zoomstufen berücksichtigt, damit ein stabiles Tracking in allen realistischen Distanzen zwischen Kamera und Stadtplan gewährleistet ist. Neben der Eignung der Image Targets hängt ein erfolgreiches Tracking zusätzlich von einer ausreichenden und gleichmäßigen Belichtung des Markers ab.

3.1.3 User Interface UI



Abb. 4: User-Interface und Anzeige von Vektordaten in der 3D-Ansicht

Das User Interface der App ist noch in Entwicklung und erlaubt derzeit das Einstellen verschiedener Fokusmodi der Kamera, das Aufnehmen eines Screenshots, das Einblenden einer Info-Seite und natürlich die Augmentierung des Stadtplans mit Geodaten. Dafür steht zum Einen

eine Schaltfläche für das Umschalten zwischen 2D- und 3D-Modus und zum Anderen ein Button zum Aufrufen aller Geodaten-Inhalte zur Verfügung. So können bisher das 3D-Stadtmodell, das Verkehrsnetz und die Haltestellen des öffentlichen Verkehrs, der Zonenplan, die verschiedenen Abfuhrzonen, Velorouten und Point of Interests eingeblendet werden. Im 2D Modus wird alles flach auf den Stadtplan projiziert, der 3D-Modus liefert alle Geodaten unter Berücksichtigung der Höhenwerte. Mittels Double-Tap auf das Display können alle UI-Elemente für eine uneingeschränkte Betrachtung ausgeblendet werden.



Abb. 5: Vektordaten (ÖV-Linien und Velorouten) als Meshes in der 3D-Ansicht

3.2 Mixed Reality am physikalischen Stadtmodell

3.2.1 Technologie

Nach einigen Vortests (Programmierung und Deployment von AR-Testapps im Rahmen der offiziellen Entwicklertutorials der jeweiligen Plattform) fiel die Wahl zunächst auf entweder ARKit oder Vuforia als aussichtsreichste Kandidaten für die Entwicklung eines Prototyps. Die Entscheidung fiel letztendlich gegen ARKit, weil kein Demonstrator und kein dem Rahmen dieses Projekts angemessener Programmierweg für die Integration eines 2D- oder 3D-Markers in die AR-Erfahrung gefunden werden konnte. Über den „Umweg“, den Benutzer das Modell zunächst umrunden zu lassen, und dabei bestimmte Keypoints manuell zu markieren, wäre eine Referenzierung des globalen Bezugsrahmens trotzdem möglich gewesen. Dies hätte jedoch einen zusätzlichen Aufwand für Endnutzer und Entwickler gleichermaßen bedeutet.

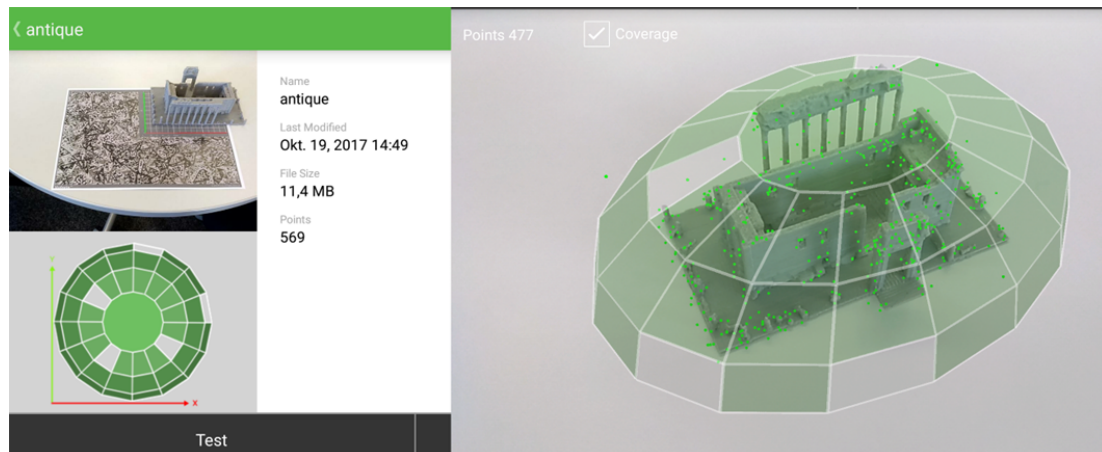


Abb. 6: Vuforia Object Scanner beim Digitalisierungstest an einem kontrastarmen Architekturmodell

Mit Vuforia hingegen konnten alle Vortests mit positivem Ergebnis durchlaufen werden. Auch auf die Gefahr hin, dass die Stabilität des Trackings mit der (nicht offiziell vorgesehenen) Dimensionierung des Stadtmodells gegenüber kleineren Objekten abnehmen könnte, lagen die Voraussetzungen für die Entwicklung eines Prototyps in dieser Umgebung gegenüber anderen Konkurrenten denkbar besser. Als Umsetzungsplattform wurde Microsoft HoloLens verworfen, weil großflächige Marker noch sehr schwer handzuhaben waren und die Anschaffung mehrerer Geräte aufgrund des noch sehr hohen Preises für den Ausstellungsraum derzeit wohl unrealistisch ausfällt. Die Wahl fiel schließlich auf ein modernes Android-Smartphone statt auf ein iPad als Umsetzungsplattform, weil eine für dunkle Umgebungen besser geeignete Kamera verbaut wurde und online auf eine aktivere Entwicklercommunity zurückgegriffen werden konnte.

3.2.2 Prototyp

Tracking und Orientierung von Modell und Betrachter funktionierten dabei grundsätzlich mittels Unity3D und Vuforia auf einem handelsüblichen Android-Smartphone. Die Stabilität des Trackings ist an etwa 80% des Modellumfangs gewährleistet, solange ein Abstand von mindestens 1m zum Modell eingehalten wird. Die Stabilität des Trackings erhöht sich mit zusätzlichem Abstand, sowie mit einer steileren Kameraperspektive auf das Modell.

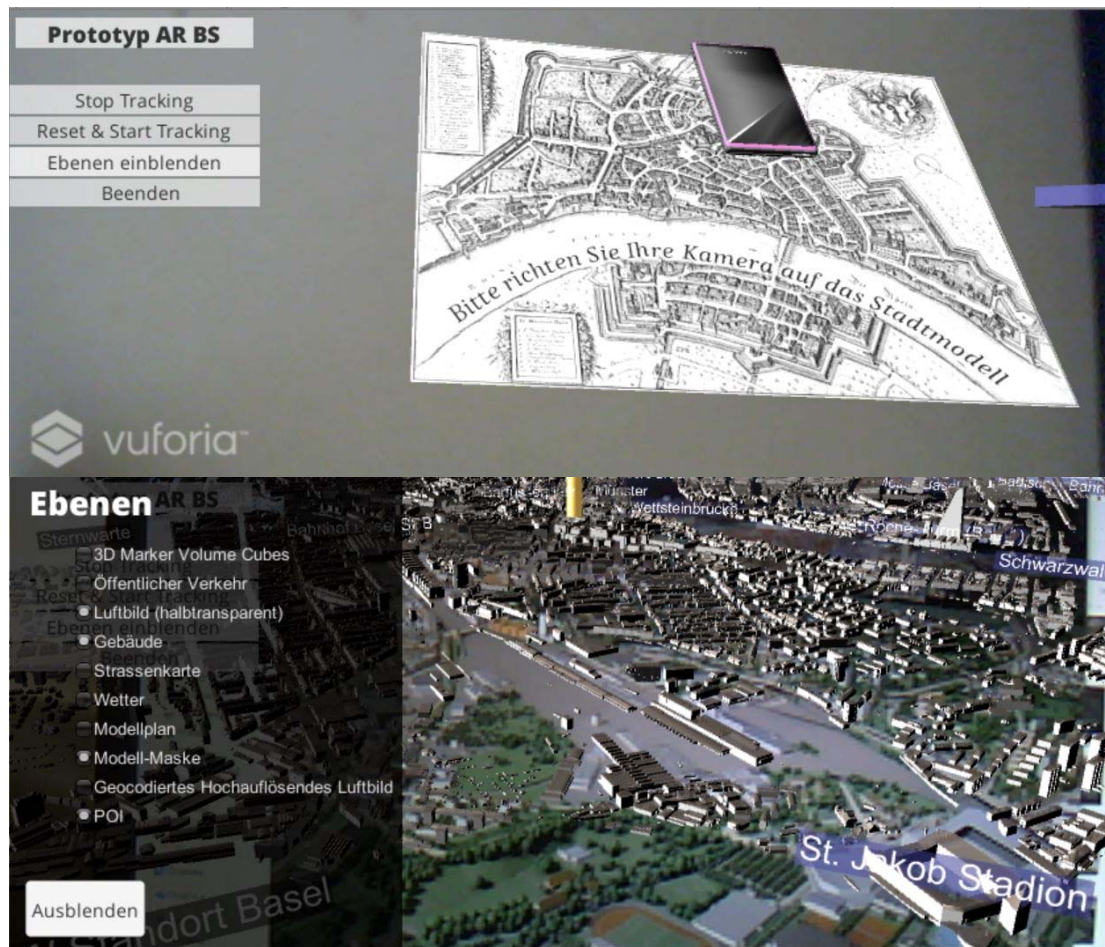


Abb. 7: Screenshots aus der Prototyp-Anwendung

Durch das Scannen weiterer Target Regions und eine präzisere Feinjustierung der räumlichen Positionierung dieser Target Regions zueinander sollte eine Steigerung des trackbaren Modellumfangs auf $>95\%$, sowie eine Unterstützung flacherer Kamerawinkel und niedrigerer Abstände möglich sein. Entscheidend war, herauszufinden, welche Faktoren das Vuforia-Framework bei der Detektion eines derart großen 3D-Markers beeinflussen. Als vorteilhafte Faktoren in der Skalierung stellten sich die Ortsstabilität und die kontrollierbaren Lichtverhältnisse im musealen Kontext dar. Nachteilig wirkten sich die enorme Größe und die schwierige, erhöhte Position des Modells, sowie die dunklen Lichtverhältnisse im Bereich der neben dem Modell anzusetzenden Object Scanning Targets (Abb. 8) aus. Das grundsätzliche Funktionieren des Prototyps beweist jedoch, dass prinzipiell die geforderte Funktionalität der AR-App durch Vuforia gewährleistet werden kann. Hinsichtlich der Stabilität des Trackings und der APK-Dateigröße besteht jedoch noch Optimierungsbedarf.

Punkt-, Linien-, Flächen- und 3D-Daten konnten erfolgreich an der richtigen Position im Modell augmentiert werden. Teilweise muss die Erkennung des Modells im Nahbereich noch verbessert werden, um eine hinreichende Überlagerungstreue herzustellen. Die 3D-Laufzeitumgebung von Unity bietet eine sehr performante und interaktive Darstellungsqualität. Selbst bei sehr umfang-

reichen Datensätzen wie dem digitalen 3D-Stadtmodell kam es zu keinem unangenehmen Ruckeln oder Abstürzen. Das schwächste getestete Gerät konnte unter Android 7.1.1 mit 3Gb RAM und Octacore-CPU eine flüssige Darstellung gewährleisten. Das Verhalten der 3D-Umgebung auf hardware-schwächeren Geräten muss noch getestet werden.



Abb. 8: Abfallende Lichtverhältnisse auf dem Object Scanning Targets erschweren die Digitalisierung einer spezifischen Region am physikalischen Stadtmodell

Die dargestellten Geodaten sind gut erkennbar, Beschriftungen wurden mittels C#-Script korrekt orientiert und das Menü gestattet das Ein- und Ausblenden von Informationslayern. Trotz der Integration nur relativ weniger, beispielhafter Geodaten ist die APK-Datei mit ca. 370 Mbyte derzeit noch sehr groß, was ein Herunterladen über eine datenlimitierte 4G-Verbindung unrealistisch macht. In Kombination mit dem kostenlos verfügbaren Gäste-WLAN des Ausstellungsraums sollte dies jedoch nur bedingt eine Hürde darstellen. Vielmehr ist der interne Speicherplatz vieler (günstiger) Android-Geräte jedoch häufig so knapp bemessen, dass einige Besucher möglicherweise gar nicht in der Lage wären, die App zu installieren. An der Größe der APK-Datei muss daher noch gearbeitet werden. Ein möglicher Ausweg wäre das Auslagern der Target-Erkennungsbibliothek und der Geodaten in die Cloud, was jedoch mit zusätzlichen Kosten auf Betreiberseite verbunden ist. Auch bei der Start-, bzw. Ladezeit der App bis zur Initialisierung des Trackings zeigt sich noch Optimierungsbedarf. Zusätzlich weist die Notwendigkeit, das Tracking derzeit noch manuell über einen Resetbutton steuern zu müssen, noch auf offenes Automatisierungspotential hin.

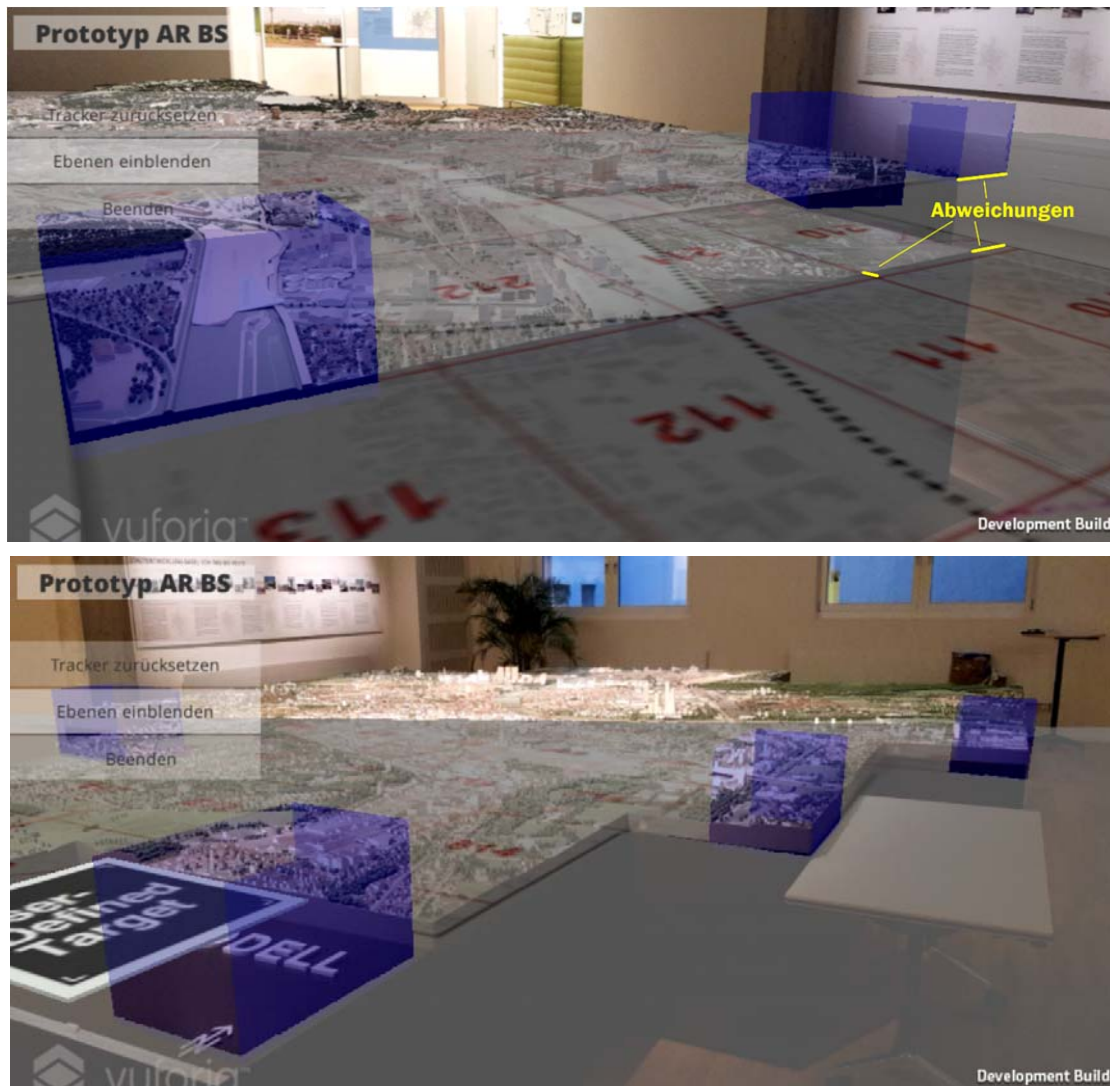


Abb. 9: Oben: Die virtuell skalierten Positionen zeigten zunächst Abweichungen (gelb).
Unten: Erfolgreiche Reduktion der Abweichungen durch manuelle Referenzierung
(dreidimensionales Einpassen der Object Target Regions, blaue Kuben).

4 Fazit & Ausblick

Es wurden einige Anwendungen im Bereich Mixed Reality mit 3D-Stadtmodellen präsentiert. Zukünftig können mehr Daten überlagert werden. Die Umsetzung des ersten Moduls ist weitgehend abgeschlossen. Erste Tests mit Untergrunddaten sowie Animation von Verkehrsmitteln sind erfolgt. Alle Module werden weiterentwickelt und implementiert bevor die App Ende März im Google Play Store und Apple App Store veröffentlicht wird.

Weiter wurde gezeigt, dass auch physische Stadtmodelle mit akzeptabler Genauigkeit überlagert werden können. Der vorliegende experimentale Prototyp der App demonstriert technisch eindrucksvoll, dass es heute möglich ist, unter überschaubarem Ressourcenaufwand innerhalb weniger Monate ein funktionierendes AR-Erlebnis zu entwickeln. In dieser App steckt noch viel

Potential - sowohl in verbesserten Methoden für das Tracking wie auch in der Anreicherung von Daten. In späteren Versionen der App wird es durchaus möglich sein auch das physische Stadtmodell mit geeigneten Geodaten zu überlagern. Zukünftig soll auch darauf geachtet werden, dass Geodaten effizienter komprimiert werden, um die App-Größe und auch das Download-Volumen so gering wie möglich zu halten.

5 Literaturverzeichnis

- APPLE INC., 2017: ARKit - Apple Developer. <https://developer.apple.com/arkit/>, letzter Zugriff 2.10.17.
- AZUMA, R.T., 1997: A Survey of augmented reality. In: Presence, **6**(4), 355-385.
- BEHZADAN, A.H., DONG, S. & KAMAT, V.R., 2015: Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. In: Advanced Engineering Informatics **29**/2 (April), 252-267. doi:10.1016/j.aei.2015.03.005.
- BILLINGHURST, M., CLARK, A. & LEE, G., 2015: A Survey of Augmented Reality. (= Foundations and Trends in Human-Computer Interaction 8:2-3). https://www.orellfuessli.ch/shop/home/artikeldetails/a_survey_of_augmented_reality/mark_billinghurst/ISBN1-60198-920-2/ID42328590.html, letzter Zugriff 7.10.2017.
- 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.), 217-229.
- COLTEKIN, A., 2016: VISDOM: Vision to Visualization - Improving computational and human performance with highly realistic three-dimensional geographic visualizations by means of biomimicry. In: Forschungsdatenbank Universität Zürich. <http://www.research-projects.uzh.ch/p20215.htm>.
- COSTELLO, S., 2016: The 6 Sensors in an iPhone. In: Lifewire, <https://www.lifewire.com/sensors-that-make-iphone-so-cool-2000370>, letzter Zugriff 22.10.2017.
- DILGER, D.E., 2017: How Apple's iPhone X TrueDepth AR waltzed ahead of Google's Tango [WWW Document]. AppleInsider, appleinsider.com/articles/17/10/13/how-apples-iphone-x-truedepth-ar-waltzed-ahead-of-googles-tango, letzter Zugriff 22.11.17.
- KLING, B., 2017: Augmented Reality: Samsung und Google schmieden Partnerschaft, <http://www.zdnet.de/88316121/augmented-reality-samsung-und-google-schmieden-partnerschaft/>
- LEE, D., 2017: 9 cool AR apps you should download to try out iOS 11's ARKit. In: The Verge. <https://www.theverge.com/2017/9/20/16329366/ios-11-apple-arkit-best-new-ar-apps>, letzter Zugriff 22.10.2017.
- LING, H., 2017: Augmented Reality in Reality. IEEE Multimedia **24**, 10–15. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2017.3051517>
- LOESCH, B., CHRISTEN, M., WÜEST, R. & NEBIKER, S., 2015: Geospatial Augmented Reality– Lösungsansätze mit natürlichen Markern für die Kartographie und die Geoinformationsvi-

- sualisierung im Außenraum. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 24, T. Kersten (Hrsg.), 89-97.
- MULA, J., 2015: Augmented Reality: What to choose? In: Unt3Dmag, <http://unt3dmag.com/augmented-reality-what-to-choose/>; letzter Zugriff 22.11.17.
- PENG, F. & ZHAI J., 2017: A mobile augmented reality system for exhibition hall based on Vuforia. 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), 1049-1052. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIVC.2017.7984714>
- PIUMSOMBOON, T., DAY, A., ENS, B., LEE, Y., LEE, G. & BILLINGHURST, M., 2017: Exploring enhancements for remote mixed reality collaboration. In SIGGRAPH Asia 2017 Mobile Graphics & Interactive Applications (SA '17). ACM, New York, NY, USA, Article 16, 5 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132787.3139200>
- PLANUNGSAMT DES KANTONS BASEL-STADT, 2017: Das Modellbauatelier. <http://www.planungsamt.bs.ch/ueber-uns/modellbauatelier.html>; letzter Zugriff 26.10.17.
- RODRIGUES, D.G., JAIN, A., RICK, S.R., SHANGLEY, L., SURESH, P. & WEIBEL, N., 2017: Exploring Mixed Reality in Specialized Surgical Environments. In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17). ACM, New York, NY, USA, 2591-2598. DOI: <https://doi.org/10.1145/3027063.3053273>
- SCHMID, J., 2017: 8 Best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017. In: LinkedIn Pulse, <https://www.linkedin.com/pulse/8-best-augmented-reality-sdk-ar-development-ios-android-schmidt>, letzter Zugriff 22.11.17.
- SUTHERLAND, I., 1965: The ultimate display. In: Multimedia: From Wagner to virtual reality.
- STACK OVERFLOW, 2017: Is it possible to track objects with ARKIT like with Vuforia? <https://stackoverflow.com/questions/44817416/arkit-is-it-possible-to-track-objects-like-with-vuforia>, letzter Zugriff 22.11.17.
- UNITY TECHNOLOGIES, 2017: Unity ARKit Plugin - Asset Store. <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/92515>, letzter Zugriff 22.11.17.
- VUFORIA, 2018: Vuforia Augmented Reality SDK, <https://www.vuforia.com/>
- WIESEND S., 2015: Augmented Reality: Was Apple mit Metaio vorhat. In: Macwelt. <https://www.macwelt.de/news/Augmented-Reality-Apple-Metaio-Facshift-9894664.html>, letzter Zugriff 22.11.17.
- WIKITUDE, 2017: Store licenses for augmented reality products by Wikitude. <https://www.wikitude.com/store/>, letzter Zugriff 22.11.17.
- WÜEST, R., ZWICK, M. & NEBIKER S., 2016: Geospatial Augmented Reality als interaktives Erlebnis im Museum am Beispiel der Swissarena App. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 25, T. Kersten (Hrsg.), 197-207.