

# Einsatz von AR und VR mit Geodaten

Studie



## **Projektteam**

Dr. Ralph Straumann  
Nicole Sulzberger  
Konstantin Arbogast  
Luca Cincera

EBP Schweiz AG  
Mühlebachstrasse 11  
8032 Zürich  
Schweiz  
Telefon +41 44 395 16 16  
[info@ebp.ch](mailto:info@ebp.ch)  
[www.ebp.ch](http://www.ebp.ch)

# Inhaltsverzeichnis

Management Summary	5
1. Einleitung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Leitfragen und Vorgehen	7
1.3 Aufbau des Berichts	8
2. Grundlagen zu AR und VR	8
2.1 Terminologie	8
2.2 Datenformate und -standards	11
2.3 Datenaufbereitung und -transformationen	12
2.4 Geodienste	17
2.5 Übersicht zu Workflows zur Datenaufbereitung	18
2.6 Produkte zur Verarbeitung und Transformation von Geodaten für die Nutzung in XR	21
2.7 Software Development Kits und Plugins	24
2.8 Hardware	30
2.9 Positionierung	37
2.10 OpenXR-Standard	42
2.11 Azure Remote Rendering	43
3. Grundlagen im Kanton Zürich	43
3.1 Infrastruktur	43
3.2 XR-Anwendungen und -Erfahrungen	45
4. Potenzial für AR und VR	46
4.1 Steckbriefe zu erfolgreichen Anwendungen von AR und VR zur Visualisierung von Geodaten	46
4.2 Erfahrungen mit AR und VR bei Schweizer Behörden und Firmen	55
5. Ausgangslage und Bedürfnisse in der Verwaltung	73
5.1 Tiefbauamt, Stab, Informationsmanagement	74
5.2 Tiefbauamt, Stab, Planen und Bauen	76
5.3 Hochbauamt	78
5.4 VBZ	80
5.5 Amt für Landschaft und Natur	83
5.6 Bildungsdirektion	84

5.7	Forensisches Institut Zürich	85
5.8	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Luft, Klima und Strahlung	89
5.9	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz	90
5.10	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Archäologie und Denkmalpflege	92
5.11	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Raumplanung	94
5.12	Projektausschuss des kantonalen Leitungskatasters	95
6.	Fazit zu den Leitfragen	98
6.1	Daten, Datenmodellierung und Infrastruktur	98
6.2	XR-Nutzung ausserhalb der Kantonsverwaltung	99
6.3	Potenzial und Bedürfnisse in der kantonalen Verwaltung	100
7.	Synthese, Roadmap und Empfehlungen	102
7.1	Bewertete Herausforderungen und Bedürfnisse	102
7.2	Massnahmen-Roadmap	104
7.3	Pilotprojekte für XR	110
7.4	Weitergehende Empfehlungen	111

## Management Summary

Die vorliegende Studie hat die Anwendung von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) im Kanton Zürich unter Nutzung von Geodaten untersucht. Sie beantwortet die folgenden sechs Leitfragen:

- LF1 Welche Anforderungen stellen AR und VR an die zugrundeliegenden Daten, die Datenmodellierung und die technische Infrastruktur?
- LF2 Für welche Zwecke werden AR und VR heute ausserhalb des Kantons Zürich bereits eingesetzt? Welche weiteren Einsatzzwecke gibt es? Wie sind die Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer?
- LF3 Welches Potenzial haben die Technologien für die Verwaltung des Kantons Zürich?
- LF4 Welche Interessen und Bedürfnisse sind bezüglich AR und VR in der Verwaltung des Kantons Zürich vorhanden?
- LF5 Wie könnten AR und VR im Kanton Zürich künftig genutzt werden? (Roadmap bezüglich Daten, Technologien und Kompetenzen)
- LF6 Welche Anwendung eignet sich für ein Pilotprojekt? Welche Punkte gilt es bei einem Pilotprojekt zu beachten?

Die heute durch den Kanton Zürich gepflegten Geodaten können generell in XR (AR oder VR) genutzt werden. Allerdings bedingt die Nutzung bei vielen Daten eine vorgängige Aufbereitung sowie eine Formatkonversion bzw. die Bereitstellung in Form von neuen, XR-kompatiblen Geodiensten. Zudem sind in manchen Bereichen der Kantonsverwaltung vorgängig noch Arbeiten im Bereich Data Management am Laufen, die als Vorarbeiten für einen breiteren Geodateneinsatz angeschaut werden können. Die im Kanton Zürich bestehende Infrastruktur basierend auf den Technologien PostGIS, FME und ArcGIS ist geeignet für eine Weiterentwicklung in Richtung XR-Unterstützung.

Sowohl AR als auch VR werden in der kantonalen Verwaltung bereits eingesetzt. Thematische «Vorreiter» sind das Amt für Raumentwicklung (Archäologie), das Tiefbauamt, das Forensische Institut und das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft. Ausserhalb der Kantonsverwaltung hat die Untersuchung einen zum Teil schon relativ routinierten Einsatz von XR gezeigt, beispielsweise bei den VBZ und der Stadt Zürich, bei der SBB und – prototypisch – beim Bundesamt für Landestopografie Swisstopo.

Der Visualisierung von Gebäuden und Anlagen mit AR vor Ort oder mit VR im Planungsbereich wird breit Potenzial zugesprochen, sowohl für Fachpersonen (beispielsweise zwecks Planung, Beurteilung bzw. Jurierung und Umsetzungsbegleitung) als auch zur Kommunikation an Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie an die Bevölkerung. Im Bereich des Unterhalts von Infrastrukturen bietet die Erfassung von Anlagen und ihren Eigenschaften und die AR-gestützte Visualisierung «im Feld» beim Aufsuchen der Anlage oder einer Anlagenkomponente einen Mehrwert. Die Visualisie-

rung von ansonsten «unsichtbaren» Informationen wie zum Beispiel Emissionen (Lärm, Schadstoffe), Entlüftung und Wärme (im Thema Stadtklima) oder Strahlung von Mobilfunkanlagen wäre bei der Planung, bei der Qualitätssicherung von Modellierungen, beim Monitoring, beim Definieren von Schutz- oder Gegenmassnahmen und bei der Kommunikation mit Anspruchsgruppen wertvoll. Das Interesse an solchen und thematisch anders gelagerten XR-Anwendungen in der Kantonsverwaltung ist hoch. In einigen Bereichen wird der Einsatz der Möglichkeiten von XR in Zukunft sogar als essenziell erachtet.

Zentrales Bedürfnis vieler Fachämter ist eine Anlaufstelle mit XR-Knowhow in der Abteilung Geoinformation des Amts für Raumentwicklung, welche andere Stellen der Kantonsverwaltung bezüglich Fragen rund um Konzepte, Daten, Soft- und Hardware für den Einsatz von XR unterstützen kann. Eine weitere unterstützende Leistung wäre der Aufbau einer Plattform zum Teilen von XR-fähigen Modellen (Zusammenstellung von Geodaten für die Modellierung eines Ausschnitts der Realität) und die zentrale Bereitstellung von Werkzeugen für die Datenaufbereitung und -transformation sowie allenfalls von XR-Hardware. Um die Geodaten für XR-Anwendungen systematisch und mit möglichst geringen Effizienzverlusten nutzen zu können, ist vorgängig der Aufbau von Standards für Modelle und Schnittstellen notwendig. Auch in diesem Prozess sollte die Abteilung Geoinformation eine zentrale Rolle einnehmen.

Das benötigte Fachwissen über die sich heute noch rasch weiterentwickelnde Technologie und über Potenziale für die Nutzung sollte durch die Abteilung Geoinformation aktuell gehalten und periodisch in der Kantonsverwaltung verbreitet und verankert werden.

Die Umsetzung von XR-Applikationen ist aufgrund Standards im Bereich der Hardware-Schnittstellen und der Steuerung aktuell noch nicht trivial. Die Umsetzung von XR-Applikationen sollte deshalb in jenen Themen in Betracht gezogen werden, wo der klare Zusatznutzen gegenüber einer klassischen 2D- oder 3D-Darstellung gegeben ist, und die diversen in der vorliegenden Studie identifizierten Erfolgsfaktoren und Empfehlungen beachten. Gut konzipierte XR-Applikationen begeistern die Nutzerinnen und Nutzer und vermitteln diesen tiefere Erkenntnisse als klassische Anwendungen mit Geodaten. Mit dem Einsatz von XR eröffnet sich die Kantonsverwaltung einen weiteren Kanal zur geodatengestützten Vermittlung von Informationen, der das bestehende Portfolio von Leistungen der kantonalen GIS-Infrastruktur ergänzt.

Ein mit der Abteilung Geoinformation und diversen Vertreterinnen und Vertretern von kantonalen Stellen erarbeiteter und mit externer Expertise angereicherter Massnahmenplan (Roadmap) zeigt auf, welche Massnahmen der Kanton kurz-, mittel- und langfristig umsetzen kann, um seine XR-Fähigkeit zielgerichtet auszubauen und erfolgreich einzusetzen, und die Herangehensweise für die Umsetzung von Pilotprojekten.

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der Kanton Zürich hat sich in der Legislaturperiode 2019–2023 unter anderem folgende Ziele gesetzt (Legislaturziel BD 10.1, Massnahme BD 10.1c):

- Schaffen der Grundlagen zur Nutzung räumlicher Daten in Augmented Reality- und Virtual Reality-Anwendungen (AR- bzw. VR-Anwendungen)
- Aufzeigen des Potenzials von AR und VR
- Erstellen einer AR-/VR-Pilotapplikation

Das Amt für Raumentwicklung (ARE) möchte vor diesem Hintergrund in der vorliegenden Studie klären, welche Potenziale AR- bzw. VR-Anwendungen für das kantonale Geoinformationssystem GIS-ZH bieten und welche Bedürfnisse im Thema vorhanden sind. Weiter soll die Studie aufzeigen, wie das ARE mit dem Anbieten von 3D-Geodaten, -Dienstleistungen und -Applikationen die Nutzung von AR und VR in der Verwaltung des Kantons Zürich unterstützen und fördern kann. Die Studie bildet die Basis für die allfällige Realisierung eines Pilotprojekts und beinhaltet daher auch Hinweise und Vorschläge zur konkreten Umsetzung.

## 1.2 Leitfragen und Vorgehen

Die Studie hat folgende Leitfragen:

- LF7 Welche Anforderungen stellen AR und VR an die zugrundeliegenden Daten, die Datenmodellierung und die technische Infrastruktur?
- LF8 Für welche Zwecke werden AR und VR heute ausserhalb des Kantons Zürich bereits eingesetzt? Welche weiteren Einsatzzwecke gibt es? Wie sind die Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer?
- LF9 Welches Potenzial haben die Technologien für die Verwaltung des Kantons Zürich?
- LF10 Welche Interessen und Bedürfnisse sind bezüglich AR und VR in der Verwaltung des Kantons Zürich vorhanden?
- LF11 Wie könnten AR und VR im Kanton Zürich künftig genutzt werden? (Roadmap bezüglich Daten, Technologien und Kompetenzen)
- LF12 Welche Anwendung eignet sich für ein Pilotprojekt? Welche Punkte gilt es bei einem Pilotprojekt zu beachten?

Für die Beantwortung dieser Leitfragen wurde ein Vorgehen mit Recherchen, Interviews mit Fachpersonen innerhalb und ausserhalb der Verwaltung des Kantons Zürich und Workshops mit Mitarbeitenden der Verwaltung des Kantons Zürich gewählt.

## 1.3 Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2: Grundlagen zu AR und VR mit Begriffsklärung und Ausführungen zu Geodaten, Geodiensten, Soft- und Hardware sowie Positionierung
- Kapitel 3: Vorhandene und unmittelbar geplante Grundlagen im Kanton Zürich
- Kapitel 4: Potenzial von Augmented und Virtual Reality anhand von Projektsteckbriefen sowie anhand von Projekten von Schweizer Organisationen und Erfahrungen von Produktherstellern und Lösungsanbietern
- Kapitel 5: Potenziale und Bedürfnisse (und, zum Teil, bestehende Erfahrungen) bezüglich Augmented und Virtual Reality in Verwaltungseinheiten des Kantons Zürich und verwaltungsnahen Einrichtungen
- Kapitel 6: Synthese aus Potenzial und Bedürfnissen sowie Roadmap und Empfehlungen für den Kanton Zürich

## 2. Grundlagen zu AR und VR

### 2.1 Terminologie

Die in der vorliegenden Studie behandelten Themen werden den sogenannten *Immersiven Technologien* («immersive technologies») zugeordnet – also Technologien, mit denen man in einen Gegenstand «eintauchen» kann. Innerhalb des Felds der immersiven Technologien sind verschiedene Begriffe gebräuchlich, die in der Folge kurz eingeführt werden<sup>1</sup>. Diese können auf dem «virtuellen Kontinuum» zwischen Realität und reiner Virtualität verortet werden<sup>2</sup> (Abbildung 1).

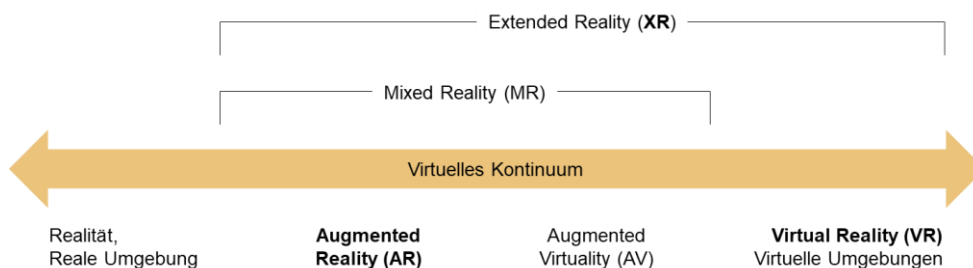


Abbildung 1: Das virtuelle Kontinuum nach Milgram und Kishino (1994). Die in der vorliegenden Studie verwendeten Begriffe sind fett hervorgehoben. «XR» wird als Abkürzung für «AR und/oder VR» verwendet. Achtung. Im modernen Diskurs wird Mixed Reality oft als Teilmenge von Augmented Reality verstanden.

<sup>1</sup> Die Beschreibungen und die Strukturierung der Begriffe orientieren sich an Çöltekin et al. (2020): *Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions* und an Çöltekin et al. (2020): *Geospatial information visualization and extended reality displays*.

<sup>2</sup> Das virtuelle Kontinuum wurde 1994 durch Milgram und Kishino in ihrer Publikation *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays* erstmals präsentiert.



### Augmented Reality (AR)

Im Augmented Reality-Ansatz werden Nutzerinnen und Nutzern der realen Welt überlagerte Objekte oder Informationen präsentiert. Beispiele von AR-Technologien sind Google Glasses (vgl. Abbildung 15 auf Seite 31) oder Smartphone-Applikationen, welche die Realität in einem zur Nutzungszeit gefilmten Video darstellen und darüber Objekte oder Informationen einblenden (zum Beispiel der Panorama-Modus der Swisstopo-App, vgl. Abbildung 2).

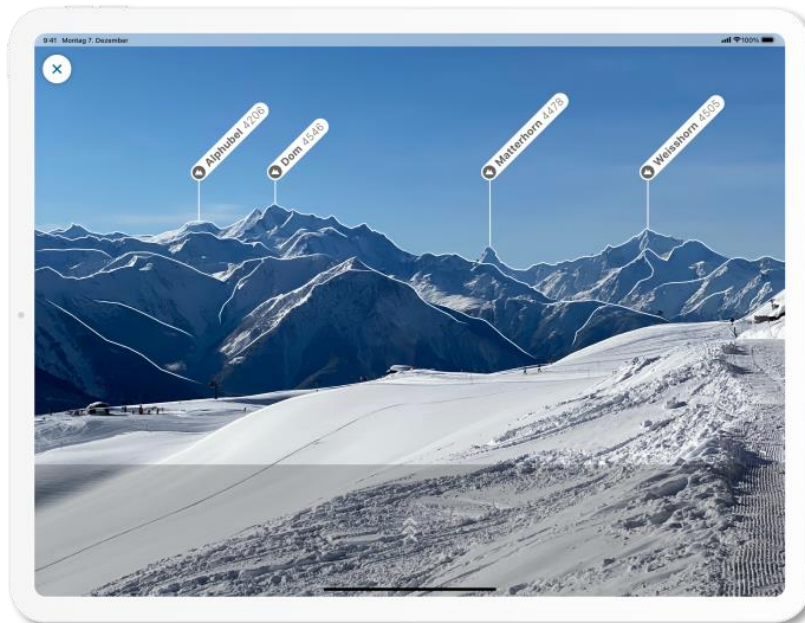


Abbildung 2: Die Swisstopo-App verfügt seit Ende 2020 über einen Panorama-Modus. In diesem werden dem Kamerabild eines Mobilgeräts Umrisse von Geländeformen und Toponyme (Ortsbezeichnungen) überlagert. (Bild: Swisstopo)

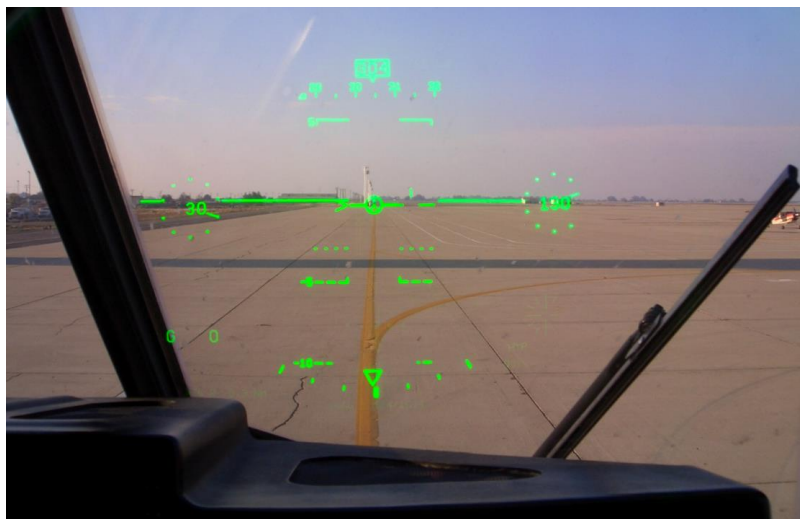


Abbildung 3: Das Head-Up-Display in einem C-130-Flugzeug ist ein Beispiel von Augmented, aber nicht Mixed Reality. Einzig beim künstlichen Horizont könnte man argumentieren, dass es sich dabei um eine Mixed Reality-Element handelt. (Bild: CC-BY Telstar Logistics)

Die in AR überlagerte Information kann, muss aber nicht, räumlich exakt der Realität überlagert werden. Eine AR-Anwendung, bei der die angezeigte Information typischerweise nicht direkt in Beziehung mit der dahinterliegenden Realität steht, sind beispielsweise Head-Up-Displays (Abbildung 3).

Anwendungsfälle, in denen die Nutzerin bzw. der Nutzer lagegenau der Realität überlagerte Informationen konsumiert, sind vor allem draussen und bei hohen Genauigkeitsanforderungen herausfordernd: Positionierung und Ausrichtung des Geräts der Nutzerin bzw. des Nutzers müssen möglichst exakt bekannt sein, so dass Überblendung und Realität gut aufeinanderpassen.

### **Virtual Reality (VR)**

Im Virtual Reality-Ansatz wird Nutzerinnen und Nutzern eine von der Realität möglichst ununterscheidbare virtuelle Erfahrung vermittelt. Allerdings können mit VR nicht nur Teile der realen Welt digital gezeigt werden, sondern die Nutzerinnen und Nutzer können vollständig in eine digitale Szenerie eintauchen und diese dadurch umfassender erfahren. Deshalb wird VR häufig eingesetzt für die Visualisierung und Vermittlung von:

- nicht mehr existierenden Umgebungen (z.B. der Originalzustand von Stätten archäologischer Funde) in realitätsnaher Form
- noch nicht existierenden Umgebungen (z.B. geplante Bauvorhaben)
- erfundene Umgebungen (z.B. in Spieleanwendungen)

Eine formelle Untergrenze des Realitätsgrads einer VR-Anwendung existiert nicht. Die Forschung sieht mitunter vier Kategorien als für den Realitätsgrad relevant an: Visualisierung, Immersion, Interaktivität und sensorisches Feedback.

### **Mixed Reality (MR)**

Der Begriff «Mixed Reality» beschreibt – historisch gesehen – einen ganzen Bereich auf dem virtuellen Kontinuum, der am realitätsnäheren Ende AR und am anderen Ende *Augmented Virtuality* (AV) umfasst. Augmented Virtuality bezieht sich auf virtuelle Umgebungen, in denen physischen Objekten noch eine relevante Rolle zukommt, beispielsweise für die Bereitstellung von physischem Feedback an Nutzerinnen und Nutzer. Beispiele sind spezielle Anzüge oder Handschuhe, die Nutzenden über ihre Interaktionen mit der virtuellen Umgebung Feedback geben können. Sensorisches Feedback wird aber – wie schon in der Erörterung von Virtual Reality angesprochen – manchmal sowieso als wichtige Eigenschaft von VR-Anwendungen angesehen, weshalb der Begriff «Mixed Reality» verwirrend sein kann.

Modern wird «Mixed Reality» von den meisten Personen anders genutzt: Heute bezeichnet «Mixed Reality» einen Teilbereich von Augmented Reality, in dem die mittels AR dargestellten Objekte *an ihrer korrekten Lage und in ihrer korrekten Grösse mit der Realität interagierend* dargestellt werden.

Die Begriffe MR und AV sind hier nur der Vollständigkeit wegen genannt; sie werden im Rahmen dieser Studie nicht aktiv thematisiert.

### **Extended Reality (XR)**

Der Begriff «Extended Reality» ist nicht scharf definiert und wird je nach Kontext unterschiedlich benutzt. Im häufigsten Gebrauch umfasst der Begriff

AR, MR, und VR<sup>3</sup>. Auch «Extended Reality» ist hier nur der Vollständigkeit wegen kurz erwähnt. Der Begriff wird im Rahmen dieser Studie nicht aktiv thematisiert.

Die Abkürzung bzw. Zusammenfassung «XR» wird in der Folge aber als sowohl AR als auch VR umfassender Begriff verwendet. Diese Verwendung deckt sich mit grossen Teilen der Begriffsverwendung in der Praxis. Zum Teil wird, um AR und VR anzusprechen, auch «xR» oder «\*R» genutzt. Diese Abkürzungen sind aber potenziell verwirrend und werden in dieser Studie nicht genutzt.

## 2.2 Datenformate und -standards

XR-Applikationen visualisieren meistens dreidimensionale Objekte (3D-Objekte), welche in einer – realen oder virtuellen – Umgebung platziert werden. Für die Modellierung und Speicherung von 3D-Objekten in XR-Anwendungen gibt es eine Vielzahl von Datenformaten, welche in den Disziplinen 3D-Modellierung und Computer-Aided Design (CAD) gebräuchlich sind. Aufgrund dieser Herkunft sind diese Datenformate per se *nicht* georeferenziert. Dennoch können sie auch für XR-Anwendungen mit räumlichem Bezug von Bedeutung sein.

Generell birgt die Vielzahl von Datenformaten in 3D-Modellierung und CAD Interoperabilitätsprobleme. Sie generiert Aufwand für die Entwicklung von Schnittstellen oder von Datenformat-Konversionen. Aktuell gibt es in XR-Anwendungen drei besonders prominente und gebräuchliche 3D-Datenformate: OBJ, FBX und glTF (Tabelle 1). Diese drei Formate sind sowohl mit den meisten 3D-Modellierungssystemen als auch mit den gängigen Software Development Kits für XR-Anwendungen (u.a. Game Engines; vgl. Kapitel 2.7) kompatibel. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Eigenschaften der drei Formate.

Format	Trägerschaft	Kommentare	Dateiendung	Website / Weitere Infos
OBJ	ehemals Wavefront Technologies	OBJ-Dateien können eine oder mehrere MTL-Dateien <sup>4</sup> referenzieren, die Material/Oberflächenbeschaffheiten modellieren. OBJ unterstützt keine Attribute.	.obj	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file">en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file</a>
FBX (Filmbox)	Autodesk	Proprietäres Format, AutoCAD bietet SDKs für Im- und Export an. Blender (Kapitel 2.6.5) hat eine inoffizielle Spezifikation publiziert. <sup>5</sup> FBX unterstützt neben 3D Modellen auch Scene Hierarchien, Material, Beleuchtung und Animationen. Material und Beleuchtung entsprechen aber nicht den neuesten Standards von	.fbx	<a href="https://www.autodesk.com/products/fbx/overview">www.autodesk.com/products/fbx/overview</a>

<sup>3</sup> <https://www.wired.com/story/what-is-xr>

<sup>4</sup> MTL steht für «Materialbibliothek». Diese erlauben, dass mehrere Geometrien dasselbe Material referenzieren können und letzteres somit nur einmal abgespeichert werden muss.

<sup>5</sup> <https://code.blender.org/2013/08/fbx-binary-file-format-specification>

Format	Trägerschaft	Kommentare	Dateiendung	Website / Weitere Infos
		Game Engines. <sup>6</sup> FBX unterstützt keine Attribute.		
glTF (Graphics Language Transmission Format)	Khronos Group bzw. 3D Formats Working Group	Khronos ist dabei, glTF 2.0.0 durch das ISO/IEC Joint Technical Committee 1 (JTC 1) als ISO-Standard anerkennen zu lassen. <sup>7</sup> glTF unterstützt Material, Beleuchtung (teilweise) und Animationen. Das Format ist kompakter als FBX, näher an Game Engines und kann darum von Game Engines schneller verarbeitet werden. <sup>8</sup> glTF unterstützt benutzerspezifische Attribute.	.gltf (JSON; kann externe Dateien z.B. für Texturen referenzieren) oder .glb (binär, speichert alle Assets in einer Datei)	<a href="http://www.khronos.org/glTF">www.khronos.org/glTF</a>

Tabelle 1: 3D-Formate die als Standard-Austauschformate in XR-Anwendungen genutzt werden können

Das OBJ-Format entstammt der 3D-Modellierung, während FBX aus dem CAD-Bereich kommt. Beide Formate existieren schon sehr lange (OBJ seit 1989, FBX seit 2006) und werden auch von den meisten 3D- bzw. CAD-Programmen als Import- und Exportformat unterstützt. glTF hingegen ist mit dem Erscheinungsjahr 2017 der aktuellen Version noch sehr jung und wird darum noch nicht gleich breit unterstützt wie OBJ und FBX. Das Potenzial von glTF ist jedoch gross, da die Vorteile in den Bereichen Kompression und Rendering gegenüber den anderen beiden Formaten gross sind.<sup>9</sup> Der Druck auf Softwarehersteller steigt, das Format ebenfalls breit zu unterstützen.

Der direkte Import von gebräuchlichen Geodatenformaten bzw. GIS-Formaten in Software Development Kits für XR-Anwendungen, insbesondere in Game Engines, war lange Zeit nicht möglich. Inzwischen existieren in gebräuchlichen Software Development Kits einige Plugins, die einen solchen Direktimport ohne separate Datenformat-Konversion ermöglichen. Allerdings sind Plugins für GIS-Formate noch keinesfalls weit verbreitet. Für die Umwandlung von Daten in GIS-Formaten in XR-kompatible 3D-Formate werden deshalb weiterhin häufig Spezialprogramme wie beispielsweise Esri ArcGIS CityEngine oder FME verwendet (vgl. Ausführungen in Kapitel 2.6.1 und 2.6.2).<sup>10</sup>

Die Plugins für den Import von Daten in GIS-Formaten in XR-Anwendungen dürften sich in naher Zukunft (weiterhin) stark entwickeln. Deshalb werden zwei der verbreitetsten Plugins für den Datenimport von Geodaten in Game Engines in Kapitel 2.7.2 eingehender vorgestellt.

## 2.3 Datenaufbereitung und -transformationen

Geodaten in GIS-Formaten können entweder schon in für XR-Anwendungen passender (dreidimensionaler) Form vorliegen oder noch Aufbereitungsschritte benötigen. Der Import von Geodaten in XR-Anwendungen mittels

<sup>6</sup> <https://www.threkit.com/blog/when-should-you-use-fbx-3d-file-format>

<sup>7</sup> <https://www.khronos.org/blog/khronos-prepares-glTF-2.0-to-be-submitted-as-an-international-standard>

<sup>8</sup> <https://www.threkit.com/blog/when-should-you-use-fbx-3d-file-format>

<sup>9</sup> <https://fiasutton.medium.com/does-choosing-a-glTF-over-an-obj-file-format-matter-42ad5a1794bc>

<sup>10</sup> Pispidikis et al. (2020): 3D Modelling and Virtual Reality for the Management of Public Buildings

Plugins und die Konversion von in GIS-Formaten vorliegenden Daten in XR-kompatible Formate werden in Kapitel 2.7.2 kurz erläutert. In der Folge sollen nicht diese vergleichsweise einfachen Datenformat-Konversionen, sondern Transformationen der Geodaten selbst betrachtet werden. Der Fokus liegt dabei auf folgenden Arten von Datentransformationen:

- Transformation von 2D-Geodaten nach 2.5D- bis 3D-Geodaten
- Transformation bestehender 3D-Geodaten
- Kombination von Geodatensätzen zu 3D-Geodaten

### 2.3.1 Dimensionalität und Levels of Detail

Für die Dimensionalität von – umgangssprachlich in der Regel «dreidimensional» genannten – Geodaten existieren im Detail unterschiedliche Begriffe und Nomenklaturen. Folgende Dimensionalitäten von Geodaten sind mehr oder weniger gebräuchlich:

- **2.5D**: Häufig werden Geodatensätze, welche die Realität als «Felder» (statt Objekte) modellieren («field-based models of reality») als 2.5-dimensional klassifiziert. Beispiele solcher Geodatensätze sind Raster, TINs oder – für Esri-Software – Terrain Datasets. Diese Typen von Geodaten können an einer Position (x, y) nur *eine* z-Koordinate aufweisen. Die resultierenden Oberflächen können also keine exakt senkrechten Flächen abbilden, weshalb die Dimensionalität häufig mit «2.5D» angegeben wird.<sup>11</sup>
- **2.8D**: Wenn ein Datensatz echt senkrechte (nicht nur annähernd senkrechte) Oberflächen modellieren kann, wird er bisweilen als 2.8-dimensional bezeichnet.
- **3D**: (Echt) dreidimensionale Daten können zusätzlich zu senkrechten Flächen auch überhängende Flächen (z.B. Dachtraufe in einem Gebäudemodell) und Hohl- bzw. Innenräume modellieren.

Diese häufig im GIS-Kontext genutzte Nomenklatur korreliert teilweise mit den sogenannten Levels-of-Detail (LoDs), die im Geodatenstandard «CityGML» formal definiert und gebräuchlich sind (vgl. auch Abbildung 4):

- **LoD 0**: 2.5-dimensionale Oberfläche (z.B. Digitales Terrainmodell)
- **LoD 1**: «Klötzchenmodell», Gebäude sind als Würfel ohne Dachformen modelliert
- **LoD 2**: Gebäude sind mit Dachformen und anderen signifikanten Strukturen (Balkone, Treppen) modelliert
- **LoD 3**: Architekturmodell mit detaillierter Modellierung von Wand- und Dachstrukturen, Türen, Fenster und Einbuchtungen
- **LoD 4**: LoD 3 mit zusätzlicher Modellierung von Innenstrukturen wie Räume, Treppen und Möbel

<sup>11</sup> Vgl. die Ausführungen zu «functional surfaces» in <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/what-is-a-functional-surface-.htm>

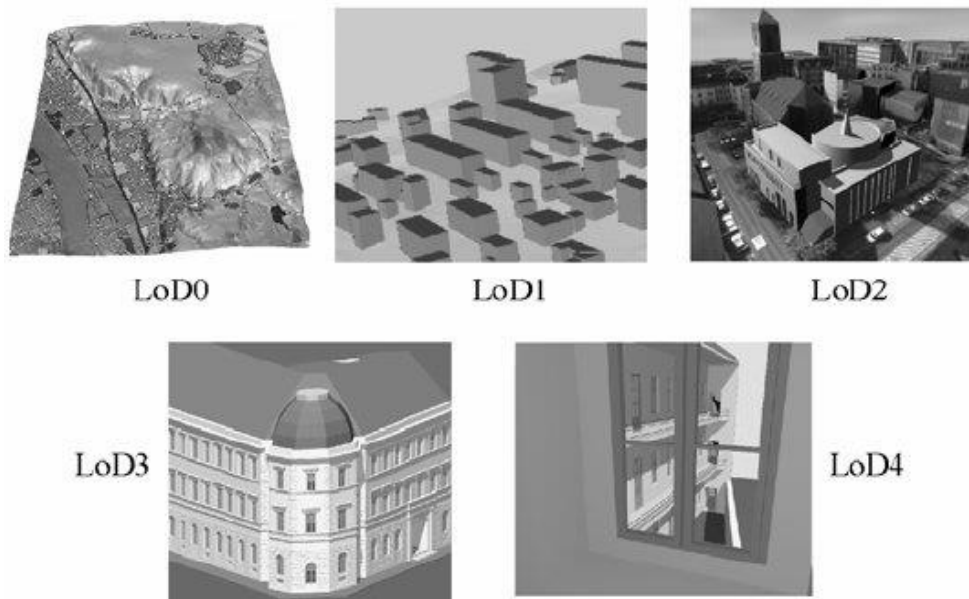


Abbildung 4: Beispielhafte Illustrationen verschiedener Levels-of-Detail (LoDs) des CityGML-Standards (Bild: Kolbe 2009<sup>12</sup>)

### 2.3.2 Transformation von 2D-Geodaten nach 2.5D- bis 3D-Geodaten

Häufig stehen Geodaten nur in zweidimensionaler Form, d.h. ohne z-Ausdehnung bzw. ohne z-Koordinaten, zur Verfügung. In XR-Anwendungen werden Daten und Informationen aber im dreidimensionalen Raum dargestellt. Daher bietet es sich in den meisten Anwendungskontexten an, 2D-Geodaten eine dritte Dimension hinzuzufügen. Folgende Ansätze erlauben es, zweidimensionale Daten nach 2.5D oder höher zu transformieren.

#### **(Surface) Draping**

Ein zweidimensionaler Geodatenatz (häufig Rasterdaten wie z.B. ein Orthophoto) kann mit einem digitalen Höhenmodell (Digitales Oberflächenmodell DSM/DOM oder Digitales Geländemodell DGM/DTM) oder mit einer künstlichen Oberfläche im selben Ausschnitt kombiniert werden. Künstliche Oberflächen können zum Beispiel Dichteoberflächen<sup>13</sup> von beispielsweise der Bevölkerung oder Raster thematischer Größen wie etwa mittlere Handänderungspreise pro Hektare sein.

Durch das «Aufziehen» eines zweidimensionalen Datensatzes auf eine Oberfläche erhält man einen 2.5-dimensionalen Geodatenatz bzw. ein LoD 0-Modell, der bzw. das in einer XR-Anwendung verwendet werden kann.

#### **z-Verortung**

Punkt-, linien- oder flächenförmige Geometrien im 2D-Raum können durch Hinzufügen einer zum Beispiel aus einem Attribut entnommenen Höheninformation als z-Koordinate zu den einzelnen Vertices der Geometrien nach

<sup>12</sup> Kolbe T. H. (2009): Representing and Exchanging 3D City Models with GML

<sup>13</sup> z.B. mittels einer Kernel Density Estimation (KDE) abgeleitet

2.5D oder höher transformiert werden. Bei dieser Art der Transformation verfügen die Objekte anschliessend über zumindest 2.5-dimensionale Form im dreidimensionalen Raum. Die z-Verortung von flächenförmigen Geometrien transformiert diese aber Flächen im 3D-Raum, nicht in volumenhafte Objekte.

### Extrusion

Mittels Extrusion («Auspressen») lassen sich zweidimensionale Geometrien in 2.8-dimensionale Geometrien bzw. in ein LoD 1-Modell transformieren. Die flächenförmigen Geometrien erhalten hierbei ein Volumen. Bei der Extrusion wird die Geometrie eines Objekts senkrecht zur Erdoberfläche «hochgezogen», bis das betreffende Objekt eine bestimmte Höhe erreicht hat.

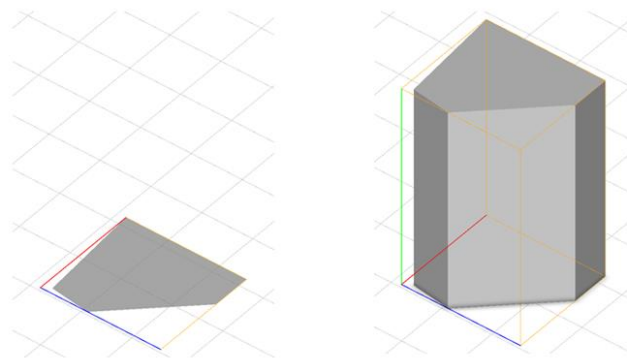


Abbildung 5: Beispiel einer Extrusion eines zweidimensionalen Polygons (links) zu einem einfachen 3D-Objekt (rechts) (Bild: Esri)

In Ermangelung von detaillierten Geodaten wird Extrusion häufig auf (günstiger zu beschaffende) Gebäudegrundrisse angewendet. Als Extrusionswert kann die Gebäudehöhe verwendet werden (sofern bekannt) oder die mit einer typischen Stockwerkhöhe multiplizierte Geschosshöhe des Gebäudes, um ein «Klötzchenmodell» eines Gebäudes zu erhalten.

### 2.3.3 Transformation bestehender 3D-Geodaten

Selbst wenn Geodaten bereits in dreidimensionaler Form vorliegen, sind häufig dennoch weitere Transformationen für die korrekte und vor allem die effiziente und performante Darstellung in XR-Anwendungen nötig. Solche Transformationen beinhalten beispielsweise die folgenden.

#### Transformation einer Punktwolke zu einem 3D-Objekt

Aus der Erhebung mit Fernerkundungsmethoden (beispielsweise terrestrisches oder flugzeuggestütztes Laser-Scanning) können detaillierte punktförmige 3D-Geodaten zu einem Objekt (eine sogenannte Punktwolke) vorliegen.

Um solche Daten möglichst durchgängig und effizient in XR darstellen zu können, können Punktwolken vor der Darstellung in 3D-Modelle umgewandelt werden. Dazu existieren verschiedene Algorithmen, die in der Regel die einzelnen Punkte zuerst miteinander vermaschen und anschliessend die Oberfläche des Objekts konstruieren. Bei der Vermaschung («Meshing»)



werden aus benachbarten Punkten mittels Triangulation Dreiecksflächen gebildet (vergleichbar mit der Erstellung eines TINs in GIS). Aus diesen Dreiecksflächen bildet sich dann die Oberfläche des 3D-Modells («Surfacing»). Meshing und Surfacing sind in Abbildung 6 als Resultat im Teilschritt *b* gezeigt.

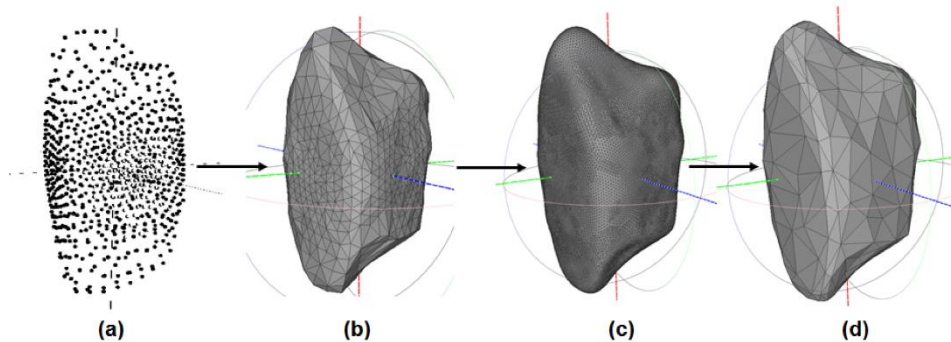


Abbildung 6: Überführung einer Punktwolke (a) zu einem 3D-Modell (b) mittels Meshing und Surfacing. Die Teilschritte (c) und (d) zeigen eine nachgelagerte geometrische Vereinfachung und Datenreduktion des 3D-Objekts durch eine Verringerung der Anzahl der konstituierenden Dreiecksflächen (vgl. nachfolgender Abschnitt). (Bild: Ohbi et al. 2017<sup>14</sup>)

### Generalisierung

Umfangreiche Geodatenätze mit einer Vielzahl von komplexen 3D-Objekten und/oder kleinteiligen 3D-Strukturen (z.B. Fassadendetails an einem Gebäude) können XR-Hardware an die Performanz-Grenze bringen. Dies trifft insbesondere für Standalone-Geräte zu.

Um XR-Anwendungen lauffähig und möglichst performant zu halten, werden komplexe dreidimensionale Datensätze deshalb vor der Verwendung generalisiert. Dabei werden kleinteilige Strukturen entfernt, vereinfacht oder zusammengefasst, so dass die Vertex-Zahl der modellierten Objekte und damit der Datenumfang reduziert wird. In der Praxis werden komplexe 3D-Objekte auch mit signifikantem Aufwand in geringerem Detailgrad «nachmodelliert» (d.h. in einer 3D-Software nochmals erfasst), da eine automatische Generalisierung zu komplex ist.

### 2.3.4 Kombination von Geodatenätzen zu 3D-Szenen

In vielen Fällen liegen Geodaten vor, die einen Bezug zueinander haben, aber in mehreren separaten Dateien und potenziell in unterschiedlichen Formaten vorliegen. Für die einfache Zusammenführung solcher separater Datensätze in eine einheitliche 3D-Szene kommt Spezialsoftware zur Anwendung. Ein Beispiel ist die Software ArcGIS CityEngine (Kapitel 2.6.12.6.1). Damit können beispielsweise verschiedene Punktwolken, 3D-Modelle und 2D-Geodaten kombiniert, manipuliert und designt werden. Anschliessend können sie als ein einzelnes 3D-Objekt in einem XR-kompatiblen Datenformat exportiert werden und anschliessend in XR-Anwendungen genutzt werden.

<sup>14</sup> Ouhbi N., Voivret C., Perrin G., Roux J. (2017): 3D Particle Shape Modelling and Optimization through Proper Orthogonal Decomposition Application to Railway Ballast



## 2.4 Geodienste

Neben dem Import von 3D-Daten unterstützen einige Game Engines seit relativ kurzer Zeit die direkte Einbindung von 3D-Geodiensten mittels Plugins. Damit können diese Geodienste auch in XR-Anwendungen genutzt werden. Das folgende Kapitel beschreibt standardisierte Geodienste, die es XR-Anwendungen erlauben, dreidimensionale Geodaten zu beziehen und einzubinden.

Bei den betrachteten Geodiensten handelt es sich um Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC). Sowohl 3D Tiles (Kapitel 2.4.1) als auch i3S (Kapitel 2.4.2) sind sogenannte «OGC Community Standards»<sup>15</sup>. Diese wurden ausserhalb von OGC entwickelt, sind aber breit unterstützt und von OGC offiziell als Teil des Standard-Ökosystems gutgeheissen.

### 2.4.1 OGC 3D Tiles (Cesium)

3D Tiles ist ein Standard für den Transfer und die Darstellung von dreidimensionalen Geodaten. 3D Tiles wurde von der Firma Cesium entwickelt. Hauptzweck von 3D Tiles ist es, grosse Mengen an dreidimensionalen Daten, und explizit auch raumbezogene Daten, effizient auf einen Client zu streamen und dort darzustellen. Dies geschieht über eine hierarchische Struktur mit verschiedenen Arten von 3D-Daten, welche zu einem einzelnen Datensatz kombiniert werden.

3D Tiles unterstützt hierarchisches LoD-Management. Dreidimensionale Daten können im Service also in mehreren Auflösungen verfügbar sein und je nach aktueller Distanz zwischen Betrachter und 3D-Objekt in der XR-Anwendung und der Bildschirmauflösung der XR-Hardware kann das am besten passende LoD automatisch erkannt und genutzt werden. Dadurch erzielt 3D Tiles automatisch einen sinnvollen Kompromiss zwischen Performanz der den Dienst bereitstellenden Infrastruktur und der den Dienst konsumierenden XR-Anwendung einerseits sowie der Darstellungsqualität in der XR-Anwendung andererseits.<sup>16</sup> Weiter muss der Client nur die Daten herunterladen, die für den aktuellen Kartenausschnitt und die Distanz zum Objekt benötigt werden, und nicht den ganzen Geodatensatz.

Das Generieren von 3D Tiles ist am einfachsten über die Cloud Lösung «ion» von Cesium möglich<sup>17</sup>. Je nach den zu verarbeitenden Daten müssen hier allenfalls Datenschutz-Aspekte berücksichtigt werden. Mit der lizenzpflichtigen ion-Engine bietet Cesium auch ein Tool zur Generierung von 3D Tiles auf einer lokalen Infrastruktur an. Weitere Tools zur Generierung der 3D Tiles sind zum Beispiel FME, Geospatial Content Server<sup>18</sup> oder Python Libraries wie Py3dTiles<sup>19</sup> und pg2b3m<sup>20</sup>. Die Qualität und vor allem die Performanz der generierten 3D Tiles kann von der Software abhängen, mit der die

<sup>15</sup> <https://www.ogc.org/standards/community>

<sup>16</sup> <https://portal.ogc.org/files/92685>

<sup>17</sup> Swisstopo nutzt aktuell den Weg über die ion-Engine von Cesium

<sup>18</sup> <https://www.agi.com/capabilities/geospatial-content-server>

<sup>19</sup> <https://projet.liris.cnrs.fr/vcity/tools/py3dtiles>

<sup>20</sup> <https://github.com/Geodan/pg2b3dm>

Tiles generiert worden sind. Die Performanz hängt daneben auch vom Datenumfang – LOD, Attribute – ab. Mit FME generierte Tiles sind aktuell tendenziell etwas weniger performant als mit den Cesium-Werkzeugen erzeugte Tiles; die Effizienz der beispielhaft genannten Python Libraries ist nicht bekannt.

### 2.4.2 OGC i3S (Esri)

Eine Alternative zu 3D Tiles ist der Standard «Indexed 3D Scene Layers» bzw. «i3S». i3S ist ebenfalls ein OGC Community Standard, entwickelt von Esri.

Ähnlich wie 3D Tiles basiert auch i3S auf einer hierarchischen Datenstruktur mit unterschiedlichen LoDs. Die aktuell unterstützten Arten von 3D Daten umfassen: 3D-Modelle, Oberflächen, Punkte, Punktwolken und Gebäude.<sup>21</sup> i3S Tiles bieten darum dieselben Vorteile wie 3D Tiles.

i3S-Datensätze können sowohl lokal gespeichert und so verwendet werden als auch über REST-Dienste (serviceorientiert) zur Verfügung gestellt und genutzt werden. In beiden Verwendungsformen von i3S sind die Daten mithilfe des ArcGIS Map SDK (vgl. Kapitel 2.7.2) sowohl in Unity3D als auch in Unreal Engine nutzbar.

Die beiden Tile-Spezifikationen – 3D Tiles und i3S – sind untereinander nicht kompatibel. Es laufen aber Bestrebungen von OGC<sup>22</sup> und von privaten Anbietern<sup>23</sup>, die beiden Standards interoperabler einsetzbar zu machen, wie zum Beispiel mit on-the-fly-Konvertierungen.

## 2.5 Übersicht zu Workflows zur Datenaufbereitung

Vor der Erläuterung von Software-Produkten zur Verarbeitung und Transformation von Geodaten (Kapitel 2.6) werden im vorliegenden Kapitel im Sinne einer Übersicht Beispiel-Workflows gezeigt, mit denen Geodaten zur Verwendung in XR aufbereitet werden können. Der erste Workflow (Kapitel 2.5.1) zeigt einen dateibasierten Aufbereitungsweg mit Einsatz von proprietären Tools, der zweite Workflow (Kapitel 2.5.2) stellt eine mögliche dateibasierten Lösung mit Open Source-Werkzeugen dar. Die Kapitel 2.5.3 und 2.5.4 zeigen dienstbasierte Workflows zur Nutzung von Geodaten in Unreal Engine bzw. in Unreal Engine und in Unity.

Die Workflows und die darin genannten Tools sind nicht abschliessend. Für diverse Prozessschritte existieren alternative Tools und Skripte auf dem Markt bzw. in der Open Source-Community. Eine vollständige Auflistung würde den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen.

<sup>21</sup> <https://github.com/Esri/i3s-spec>

<sup>22</sup> <http://docs.openegeospatial.org/per/17-046.html>

<sup>23</sup> loaders.gl Library von <https://loaders.gl/modules/tile-converter/docs/cli-reference/tile-converter>

### 2.5.1 Workflow mit FME und CityEngine (dateibasiert)

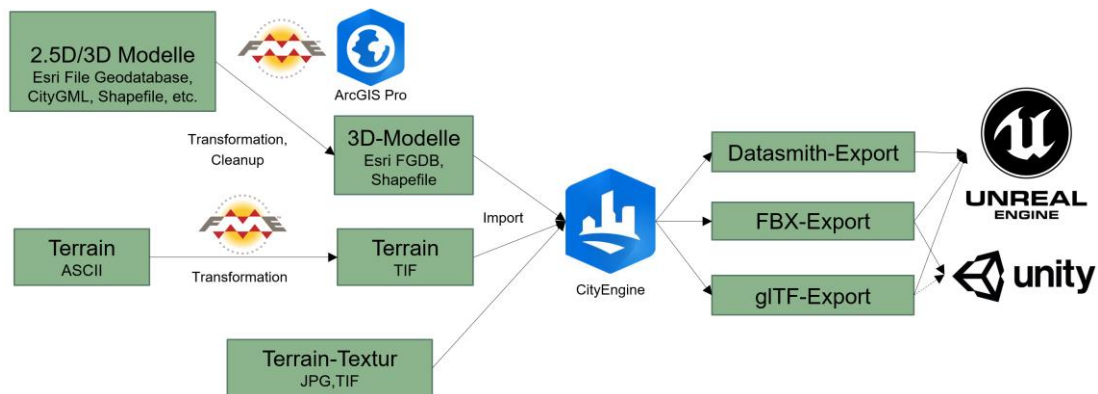


Abbildung 7: Datenvorbereitung mit FME und CityEngine

Zur Vorbereitung der Geodaten und Transformation von 2D zu 3D können GIS-Werkzeuge wie ArcGIS Pro oder FME genutzt werden. Terrain-Formate können beispielsweise mit FME zu einem TIF konvertiert werden.

Im nächsten Schritt werden die Geodaten beispielsweise in Form einer Esri File Geodatabase, als Terrain und als Texturen in CityEngine importiert. In CityEngine werden die Daten in einer Szene kombiniert werden. Zudem können bei Bedarf nochmals Korrekturen an den Daten per Skript oder manuell ausgeführt werden. Weiter können in CityEngine 2D-Geodaten (z.B. Punktpositionen) mit 3D-Modellen der darzustellenden Objekte dargestellt werden.

Im letzten Schritt werden die Daten als FBX, als glTF oder im Datasmith-Format (nur für Unreal Engine) zur Verwendung in XR exportiert.

Der zweite Schritt unter Verwendung von CityEngine kann allenfalls weggelassen werden, da auch FME selbst Exporte nach FBX, glTF und Datasmith unterstützt. Für gewisse Anwendungsfälle kann eine derart vereinfachte Aufbereitung ausreichen; aber wenn mehrere Geodatenätze aus unterschiedlichen Quellen in nicht immer optimal kongruenter Qualität kombiniert werden sollen oder wenn 2D-Geodaten mit 3D-Modellen ersetzt werden müssen, ist die Nutzung von CityEngine vorteilhaft.

## 2.5.2 Workflow mit QGIS, GeoKettle und Blender (dateibasiert)

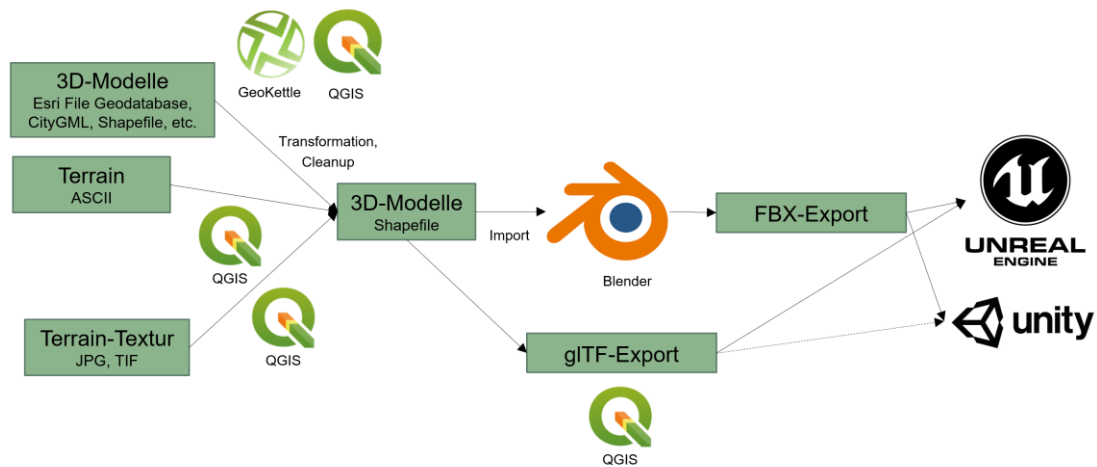


Abbildung 8: Datenvorbereitung mit QGIS, GeoKettle und Blender

Höhl<sup>24</sup> beschreibt einen alternativen Workflow mit Open Source-Technologien. Digitale Orthophotos, 2D-Flächenmodelle und digitale Geländemodelle können in einem ersten Schritt direkt in QGIS importiert werden. 3D-Modelle müssen über GeoKettle transformiert werden; danach können sie ebenfalls in QGIS importiert werden.

Anschließend werden alle Daten aus QGIS als Shapefile exportiert und in Blender importiert. In Blender können die Geodaten bei Bedarf sowohl manuell als auch per Skript bearbeitet werden. Danach werden sie im FBX-Format zur Verwendung in XR exportiert.

Ähnlich wie im proprietären Workflow (Kapitel 2.5.1) kann auch hier direkt aus GIS ein XR-kompatibler Export erfolgen (QGIS erlaubt den Export von Geodaten im glTF-Format, welches direkt in Unreal Engine oder Unity3D importiert werden kann) – mit identischen Nachteilen.

## 2.5.3 Workflow basierend auf 3D Tiles

Der Workflow zur Nutzung von 3D Tiles in Unreal Engine ist in Abbildung 9 inklusive serverseitiger Komponenten ersichtlich. Die lizenzpflichtige Engine von Cesium zur Generierung von 3D Tiles wurde bereits in Kapitel 2.4.1 vorgestellt.

Clientseitig wird in diesem Beispiel-Workflow das Plugin «Cesium for Unreal» (vgl. Kapitel 2.7.2) verwendet, um Daten aus dem 3D Tiles-Dienst in Unreal Engine einzubinden und in XR-Anwendungen nutzen zu können.

<sup>24</sup> [https://www.computer-spezial.de/artikel/entwurf-einer-open-source-production-pipeline-fuer-xr-anwendungen\\_3512925.html](https://www.computer-spezial.de/artikel/entwurf-einer-open-source-production-pipeline-fuer-xr-anwendungen_3512925.html)

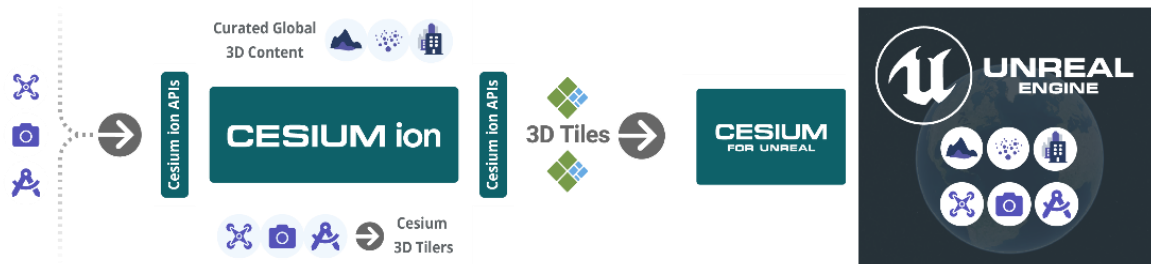


Abbildung 9: Workflow für den Import von Geodaten in Unreal Engine mithilfe von 3D Tiles (Bild: Cesium)

### 2.5.4 Workflow basierend auf i3S Tiles

Der Workflow zur Nutzung von i3S Tiles in Unreal Engine oder Unity3D ist in Abbildung 10 inklusive serverseitiger Komponenten und Datenquellen ersichtlich. Im Unterschied zum Workflow mit der Cesium-Plattform (Kapitel 2.5.3) können in diesem Beispiel-Workflow Geodaten, die in einer Geodatenbank gehalten werden, als Geodienste publiziert und in Game Engines genutzt werden. Die dienstbasierte Nutzung und die Pflege der Geodaten in der Geodatenbank ist gleichzeitig möglich.

Clientseitig wird das Plugin «ArcGIS Maps SDK» (vgl. Kapitel 2.7.2) verwendet, um Daten aus dem 3D Tiles-Dienst in Unreal Engine- oder Unity-basierte XR-Anwendungen einzubinden und zu nutzen.

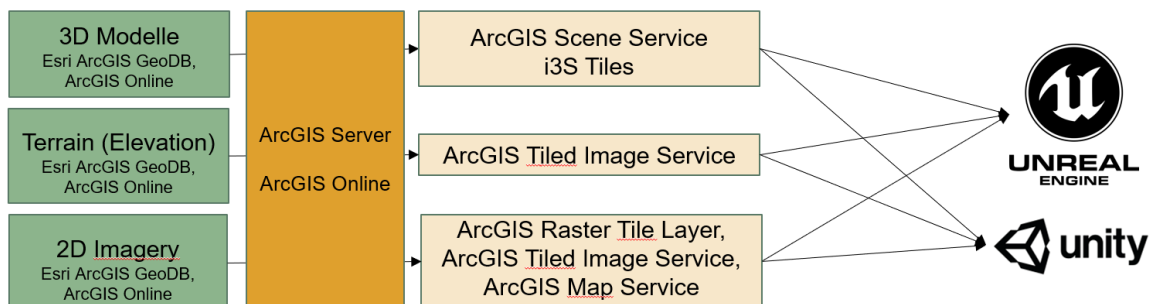


Abbildung 10: Workflow für den Import von Geodaten in Unreal Engine oder Unity3D mithilfe von i3S Tiles

## 2.6 Produkte zur Verarbeitung und Transformation von Geodaten für die Nutzung in XR

Verschiedene Hersteller bieten Produkte an, die die Visualisierung und Manipulation von bzw. die Interaktion mit Geodaten ermöglichen. Die Konvertierung der Geodaten wird dabei von diesen Produkten übernommen, die Einsatzbereiche der Produkte sind aber sehr spezifisch. Hier werden die Werkzeuge erläutert, welche eine gewisse Popularität genießen und einen signifikanten Teil des Workflows abdecken.

## 2.6.1 CityEngine

ArcGIS CityEngine ist ein Werkzeug zur Konstruktion und Visualisierung von dreidimensionalen urbanen Modellen (Abbildung 11). Die Software wird vom Esri R&D Center in Zürich entwickelt. Da CityEngine eine Vielzahl von GIS-Formaten importieren, entsprechend der in Kapitel 2.3 beschriebenen Transformationen manipulieren und diese anschliessend in XR-kompatiblen Formaten exportieren kann<sup>25</sup>, hat sich CityEngine als beliebte Software im Entwicklungsprozess für XR-Anwendungen mit Geodaten etabliert. Die Stadt Zürich und die VBZ beispielsweise nutzen CityEngine für die Kombination von Geodaten und CAD-Daten und für die Transformation als Scenes zu FBX zur weiteren Verwendung in XR-Applikationen (Abbildung 12).



Abbildung 11: Ein Stadtmodell in ArcGIS CityEngine (Bild: Esri)

CityEngine bietet mehrere der in Kapitel 2.3 beschriebenen Möglichkeiten, um zweidimensionalen Datensätzen eine dritte Dimension hinzuzufügen.

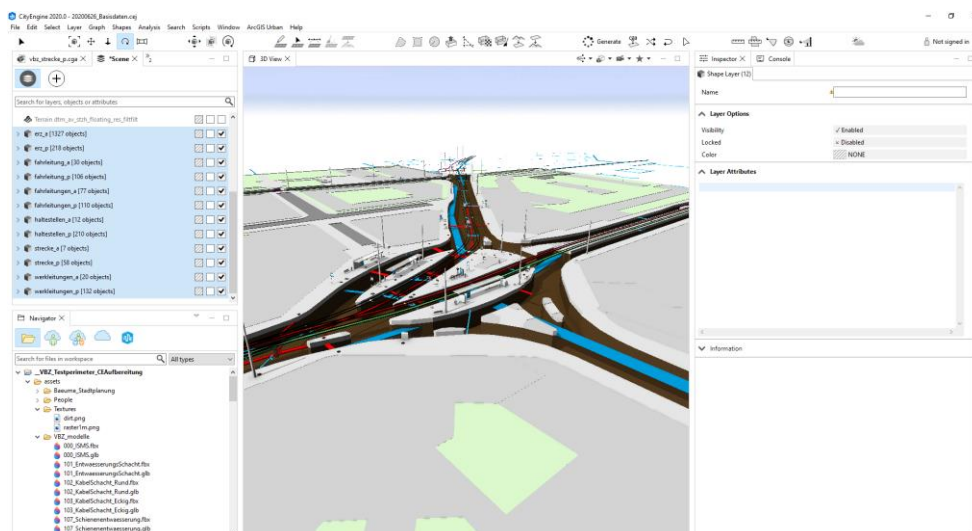


Abbildung 12: Modellierung einer Kreuzung mit ÖV-Haltekanten (Bild: VBZ)

Ein Alleinstellungsmerkmal von CityEngine ist die automatische Prozessierung und Generierung von 3D-Modellen mithilfe von vordefinierten Regeln.

<sup>25</sup> <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>



Anwenderinnen und Anwender können der Software Regeln (beispielsweise für die Konstruktion von Gebäuden) vorgeben. Diese werden dann auf die relevanten zweidimensionalen Objekte angewendet und umgesetzt, ohne dass Nutzende jedes einzelne Objekt selbst betrachten müssen. Ein einfaches Beispiel ist die Extrusion von Häuserflächen um ein Vielfaches der Anzahl Stockwerke, die als Metadaten im Datensatz verfügbar sind. Die regelbasierte Erstellung von Gebäude- und Stadtmodellen in CityEngine geht aber weiter; beispielsweise können der Software im Modell umzusetzende architektonische Merkmale oder städtebauliche Kriterien vorgegeben werden. Durch die regelbasierte Generierung von 3D-Modellen können auch grosse Datensätze ohne grösseren Aufwand erstellt bzw. bearbeitet werden.<sup>26</sup>

### 2.6.2 FME

FME (Feature Manipulation Engine) ist eine von der Firma Safe entwickelte und speziell für Geodaten konzipierte ETL-Software. FME erlaubt das Lesen und Schreiben von Daten aus bzw. in einer grossen Zahl unterschiedlicher Quell- und Zielformate. Mit Operationen («Transformers»), die in einen Workflow kombiniert auf die Daten angewendet werden können, ist eine Vielzahl von Geodaten-Transformationen möglich. Relevante Transformer sind zum Beispiel der *MeshSimplifier*, um die Vertices in einem Mesh zu reduzieren, und der *Extruder*, um 2D-Objekte in 3D-Objekte umzuwandeln.

FME kann die in Kapitel 2.2 erwähnten Formate glTF, FBX und OBJ erzeugen. Zum Teil bestehen aber Spezialitäten bzw. Erweiterungen, welche von FME nicht voll unterstützt werden: Bei FBX wird zum Beispiel das – formatseitig erlaubte – Schreiben von Animationen und Attributen durch FME nicht unterstützt. Anforderungen an bzw. der Funktionalitätsumfang von Quell- und Zielformaten sollten darum anwendungsspezifisch mit der Funktionalität von FME verglichen werden. Weiter ist die Kombination von Geodaten mit korrekter Georeferenzierung in FME schwieriger zu handhaben als beispielsweise in CityEngine.

FME steht als Desktop-Version zur Verfügung. Einmal erstellte Transformations-Workspaces können aber auch als Webservices publiziert und über eine REST-Schnittstelle angesprochen werden – entweder auf einem FME Server in der eigenen Infrastruktur oder in der FME Cloud.

### 2.6.3 GeoKettle

GeoKettle ist ein ETL-Programm für räumliche Daten und basiert auf der Open-Source Software Pentaho Data Integration. Es ist die Open Source-Alternative zum in Kapitel 2.6.2 erläuterten FME. Mit GeoKettle sind ähnliche Funktionen möglich, beispielsweise die Transformation von Geodatenformaten und die Extrusion von 2D- zu 3D-Objekten.

<sup>26</sup> Kelly T. (2021): CityEngine: An Introduction to Rule-Based Modeling

## 2.6.4 ArcGIS Pro und QGIS

Die Geoinformationssysteme ArcGIS Pro und QGIS bieten verschiedene Werkzeuge zur Arbeit mit bzw. zur Transformation von Geodaten, beispielsweise für die Extrusion von 2D- zu 3D-Daten und zur Verarbeitung von Punktwolken aus Laserscan-Erhebungen.

Der Export von Geodaten nach glTF, FBX oder OBJ ist mit ArcGIS Pro und QGIS jedoch nicht unterstützt. Beide Systeme unterstützen aber den Export nach CAD-Formaten (insbesondere DXF), was für die Weiterverarbeitung der Daten hinsichtlich einer Nutzung in XR nützlich sein kann. Operationen auf Daten können in beiden Programmen mit Skriptsprachen automatisiert werden.

## 2.6.5 Blender

Blender ist eine open-source 3D-Grafiksuite, mit der sich Objekte modellieren, texturieren und animieren lassen. Blender ist kein Geoinformationssystem, unterstützt aber auch den Import von Shapefiles (mit BlenderGIS<sup>27</sup>) und den Export von 3D-Modellen im FBX-Format. Damit eignet sich die Software für die Vorbereitung von Geodaten für XR<sup>28</sup>, allerdings nur in Kombination mit einem Geoinformationssystem. Operationen auf Daten können in Blender geskriptet und somit automatisiert werden.

## 2.7 Software Development Kits und Plugins

### 2.7.1 Game Engines

Für die Entwicklung von AR-/VR-Applikationen werden in den meisten Fällen Game Engines verwendet. Besonders beliebt sind dabei zwei Engines: Unity 3D<sup>29</sup> und Unreal Engine<sup>30</sup>. Beide dieser Engines unterstützen die meisten modernen AR-/VR-Plattformen, und SDKs für moderne AR-/VR-Applikationen werden im Normalfall für Unity3D und Unreal Engine zur Verfügung gestellt. Da diese beiden Game Engines den Markt für AR-/VR-Applikationen dominieren, werden im Rahmen dieser Studie nur Unity3D und Unreal Engine im Detail betrachtet.

#### Unity3D

Unity3D ist eine Game Engine von Unity Technologies für die Entwicklung von Videospielen und anderer 3D-Grafik-Anwendungen.

Grosse Beliebtheit erlangte Unity3D vor allem bei der Entwicklung von mobilen Videospielen und der AR-/VR-Entwicklung. Gemäss eigener Aussagen wurden bis 2018 60–70% aller XR-Applikationen auf Unity3D entwickelt<sup>31</sup>. Unity3D kann kostenfrei heruntergeladen werden. Für die kommerzielle Nutzung stehen verschiedene Lizenzmodelle zur Verfügung.

<sup>27</sup> <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>

<sup>28</sup> [https://www.computer-spezial.de/artikel/entwurf-einer-open-source-production-pipeline-fuer-xr-anwendungen\\_3512925.html](https://www.computer-spezial.de/artikel/entwurf-einer-open-source-production-pipeline-fuer-xr-anwendungen_3512925.html)

<sup>29</sup> <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html>

<sup>30</sup> <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/SharingAndReleasing/XRDevelopment/>

<sup>31</sup> <https://techcrunch.com/2018/09/05/unity-ceo-says-half-of-all-games-are-built-on-unity>



Unity3D unterstützt viele geläufige 3D-Datenformate. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Datenimport zu automatisieren. Durch den Auto Import werden alle Daten in gewissen Ordnern laufend auf Änderungen überprüft. Falls diese in externer Software, wie zum Beispiel Blender oder Autodesk 3ds Max verändert werden, werden die aktualisierten Daten automatisch in das Projekt reimportiert.

### Unreal Engine

Unreal Engine ist eine Game Engine von Epic Games für die Entwicklung von 2D- und 3D-Videospielen sowie anderer grafischer Applikationen.

Die erste Version von Unreal Engine war bereits ab 1998 im Einsatz. Das ursprüngliche Geschäftsmodell bestand darin, die Engine an grosse Entwicklerunternehmen zu lizensieren. Seit 2015 ist Unreal Engine allerdings für die Öffentlichkeit kostenfrei nutzbar. Kostenpflichtige Lizenzen sind erst nötig, wenn die Applikation einen gewissen Umsatz eingebracht hat. Amtliche Nutzung ist daher kostenfrei möglich.

In Unreal Engine kann für den Import von Daten die integrierte Tool-Sammlung «Datasmith»<sup>32</sup> verwendet werden. Mithilfe von Datasmith können verschiedene im CAD-Bereich gängige Dateiformate importiert werden und in Unreal Engine integriert werden. Ähnlich wie in Unity gibt es auch in Unreal Engine eine Möglichkeit, verknüpfte Daten bei einer Änderung automatisch zu reimportieren. 3D-Objekte und Materialien können über Datasmith aufeinander gemappt werden. Die 3D-Objekte können aktualisiert werden, ohne dass das Mapping der Objekte und Materialien zu den Repräsentationen in Unreal Engine überschrieben wird.

### Vergleich

Sowohl Unity3D als auch Unreal Engine unterstützen die meisten geläufigen AR-/VR-Plattformen. Durch aktive Unterstützung des Standards «OpenXR» (vgl. Kapitel 2.9) ist auch zukünftig davon auszugehen, dass Unity3D und Unreal Engine mit den gängigen Plattformen kompatibel sein werden.

Beide Engines bieten eine gute Grundlage für die Entwicklung von AR-/VR-Applikationen. Als Entscheidungshilfe werden nachfolgend einige wichtige Unterschiede von Unity3D und Unreal Engine aufgelistet<sup>33</sup>:

Unity3D	Unreal Engine
28 unterstützte Plattformen	15 unterstützte Plattformen
Meiste AR-/VR-Applikationen	Zweitmeiste AR-/VR-Applikationen
Gute Unterstützung für AR und VR	Gute Unterstützung für VR, etwas schwächer bei AR
Lizenzmodell für kommerzielle Nutzung	Prozentuale Abgabe der Einnahmen über einem Freibetrag, amtliche Nutzung kostenlos
Programmiersprache C#	Programmiersprache C++
Proprietäre Software	Open Source

<sup>32</sup> <https://viscircle.de/einsteigerguide-was-ist-datasmith>

<sup>33</sup> <https://circuitstream.com/blog/unity-vs-unreal/>

Unity3D	Unreal Engine
Ideal für kleinere und mobile Applikationen	Ideal für aufwändigere Applikationen
Mehr Aufwand für Optimierung der Grafik	Weniger Aufwand für Optimierung der Grafik
Grössere Anzahl an externen Tutorials	Kleinere Anzahl an externen Tutorials
Ca. 30'000 Objekte im Asset Store	Ca. 10'000 Objekte im Asset Store
Ca. 16'000 öffentliche Repositories zum Thema auf Github	Ca. 600 öffentliche Repositories zum Thema auf Github

Tabelle 2: Unterschiede zwischen Unity3D und Unreal Engine

Eine Analyse der Anzahl Suchanfragen zu den Game Engines zeigt ausserdem, dass Unity3D seit circa 2008 ein deutlich grösseres Interesse erzeugt als Unreal Engine (Abbildung 13) (wobei diese Analyse natürlich alle Nutzungskontexte umfasst und nicht auf räumliche Anwendungen eingeschränkt werden kann).

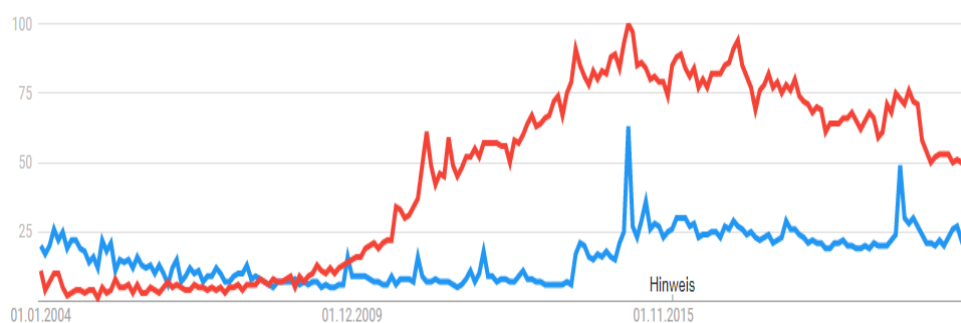


Abbildung 13: Trend der Anzahl an Suchanfragen zu Unreal Engine (blau) und Unity3D (rot) von 2004 bis 2021. (Quelle: Google Trends)

Bezüglich der Nutzung der Game Engines im GIS-Kontext ist die aktuelle qualitative Einschätzung, dass Unreal qualitativ besser ist bezüglich Materialisierung von 3D-Objekten und der Beleuchtung von Szenen. Unreal ist aktuell auch stark engagiert, Anwendungsfälle im Kontext von Architektur zu unterstützen, beispielsweise mit der Integration von Datasmith. Unity ist demgegenüber insgesamt tendenziell offener angelegt als Unreal und verfügt über ein grosses Ökosystem von Plugins und Plugin-Entwicklerinnen und -Entwicklern. Die «schnelle» Nutzung von Unity – beispielsweise im Umfeld von Pilotversuchen – ist zudem etwas einfacher.

## 2.7.2 Game Engine Plugins

Für die Arbeit mit Geodaten in Game Engines existieren verschiedene Plugins. Drei der verbreitetsten werden nachfolgend kurz vorgestellt:

### Maps for Unity

*Maps for Unity* ist ein Plugin von Mapbox für die Arbeit mit GIS-Daten in Unity. Das Plugin bietet beispielsweise Möglichkeiten, Objekte mit Attributen wie geographischen Längen- und Breitengraden zu versehen. Mithilfe dieser Angaben können Daten also mit der Angabe einer WGS1984 Koordinate

(EPSG:4326) georeferenziert in Unity angezeigt werden. Die Darstellung selbst verwendet dann ein projiziertes Koordinatensystem. Zudem bietet Maps for Unity eine Schnittstelle, um von Unity aus auf Mapbox Web services APIs zuzugreifen, wodurch beispielsweise auch Dienste Geokodierung und Routenplanung ermöglicht werden.<sup>34</sup>

Mithilfe des Plugins können Geodaten auch direkt georeferenziert importiert werden, wenn die Informationen in einem unterstützten Format, beispielsweise *COLLADA* vorhanden sind.<sup>35</sup>

### **Cesium for Unreal**

Mit «Cesium for Unreal» bietet Cesium ein aktuell kostenfreies Open Source-Plugin für Unreal Engine an. Cesium for Unreal ermöglicht es, in Unreal Engine mit georeferenzierten Daten zu arbeiten. Zu den Hauptfunktionen gehören ein kompletter WGS1984-Globus, der in Unreal Engine importiert werden kann und Funktionalitäten, um 3D-Inhalte im Bezug zu diesem Globus darzustellen – inklusive Support des 3D Tiles-Standards (Kapitel 2.4.1).<sup>36</sup> Wie die Lizenzierung dieses Plugins in Zukunft gestaltet wird, ist unklar, aktuell ist die Nutzung noch kostenlos. Bezüglich Monetarisierung verfolgt Cesium aktuell die Strategie, dass für die Nutzung von Diensten Kosten entstehen, nicht aber für die Nutzung der Client-APIs (wie zum Beispiel die JavaScript-API CesiumJS).

### **ArcGIS Map SDK for Unity/Unreal Engine**

Im Gegensatz zu den anderen Beispielen ist *ArcGIS Map SDK* sowohl für Unity<sup>37</sup> als auch für Unreal Engine<sup>38</sup> verfügbar. Beide Varianten des Plugins sind zum Zeitpunkt der Studie noch in einem Pre-release Stadium - die erste Beta-Version erschien im Oktober 2020. Bei Esri-affinen Organisationen dürfte dieses Plugin in Zukunft gut etabliert sein. Allerdings ist unklar, wie die künftige Lizenzierung aussehen wird. Die Hauptfunktionen sind:

- Zugriff auf ArcGIS Online-Basiskarten
- Zugriff auf ArcGIS Online-Höhenmodelle
- Import von eigenen Kartendaten, lokal oder als Map Service
- Import von eigenen 3D-Szenen, lokal oder als Scene Service (i3S Support, vgl. Kapitel 2.4.2)
- Aufbau von globalen Szenen (gesamte Erde)
- Aufbau von lokalen Szenen (Kartenausschnitt)
- Georeferenzierung von 3D-Objekten mittels WGS1984-Koordinaten (EPSG:4326) (die Unterstützung von weiteren Koordinatensystemen ist geplant)
- Geokodierung

<sup>34</sup> <https://docs.mapbox.com/unity/maps/guides/>

<sup>35</sup> Höhl W. (2020): Official Survey Data and Virtual Worlds – Designing an Integrative and Economical Open Source Production Pipeline for xR-Applications in Small and Medium-Sized Enterprises

<sup>36</sup> <https://cesium.com/platform/cesium-for-unreal/>

<sup>37</sup> <https://developers.arcgis.com/unity-sdk/>

<sup>38</sup> <https://developers.arcgis.com/unreal-engine-sdk/>

— Routenplanung

Wie die Lizenzierung dieses Plugins in Zukunft gestaltet wird, ist unklar, aktuell ist die Nutzung noch kostenlos. Die Nutzung anderer Client-APIs von Esri (wie zum Beispiel der ArcGIS JS API) ist im Vergleich zu Cesium weniger frei und die Nutzung der Services von ArcGIS Online ist ebenfalls nicht kostenlos.

### 2.7.3 Native SDKs für iOS und Android

#### Google ARCore

ARCore ist ein SDK für die Entwicklung von AR-Applikationen für Android-Geräte, welches auf unterschiedlichen Entwicklungsumgebungen verfügbar ist. Dabei werden verschiedene APIs zur Verfügung gestellt, um mittels drei Schlüsselfunktionen den Bezug zwischen Realität und Virtualität herstellen zu können<sup>39</sup>:

- Bewegungsverfolgung: Durch die Kamera werden bei der Benutzung stetig visuelle Merkmale verfolgt, um die Lageänderung des Gerätes zu berechnen. Kombiniert mit den Trägheitsmessungen der integrierten IMU können so die Position und Orientierung der Kamera relativ zur Umgebung im Laufe der Zeit geschätzt werden.
- Umweltverständnis: Durch Erkennung von Merkmalspunkten können horizontale oder vertikale Ebenen im Raum gefunden werden. Dadurch können virtuelle Objekte beispielsweise auf Tischen oder an Wänden platziert werden.
- Lichteinschätzung: Die Kamera erkennt unterschiedliche Beleuchtungen, wodurch virtuelle Objekte mit den korrekten Bedingungen beleuchtet werden können.

#### Apple ARKit

Ein ähnliches SDK existiert auch für iOS Geräte und trägt den Namen ARKit. Grundsätzlich basiert das ARKit auf ähnlichen Prinzipien wie ARCore. Einen wesentlichen Unterschied gibt es allerdings für neuere Apple Smartphones (seit dem iPhone 12 Pro). Diese beinhalten einen LiDAR Scanner, welcher von ARKit verwendet wird, um die 3D-Umgebung in der Theorie zuverlässiger und schneller zu modellieren.<sup>40</sup>

#### Apple RealityKit

Apple bietet zusätzlich ein weiteres SDK namens RealityKit an, welches auf ARKit basiert und direkt dafür verwendet werden kann, virtuelle Objekte in einer realen Umgebung zu rendern. Seit RealityKit 2 kann das SDK auch eingesetzt werden, um 3D-Modelle aus Fotos zu generieren.<sup>41</sup>

#### Vergleich

Die Lösungen von Apple und Google bieten beide eine gute Grundlage für die Entwicklung von mobilen AR-Applikationen. Beide SDKs unterstützen die beiden grossen Game Engines Unity3D und Unreal Engine.

<sup>39</sup> <https://developers.google.com/ar/develop>

<sup>40</sup> <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>

<sup>41</sup> <https://developer.apple.com/augmented-reality/realitykit/>

Die Wahl des SDKs hängt vom Anwendungsfall ab. Eine kurze Übersicht über die wichtigsten Unterschiede ist nachfolgend aufgelistet:

Google ARCore	Apple ARKit
Grundlegende Funktionalitäten	Weiterreichende Funktionalitäten
Kompatibel mit modernen Android und iOS Geräten	Kompatibel mit modernen iOS Geräten
Kostenfrei verfügbar	Apple Developer Mitgliedschaft nötig

Tabelle 3: Unterschiede zwischen ARCore und ARKit

## 2.7.4 SDKs für GIS-Anwendungen

Im Bereich von GIS-Anwendungen gibt es vor allem zwei Anbieter, die SDKs anbieten, um AR/VR (vor allem AR) und GIS in Applikationen zu vereinen: *Mapbox* und *Esri*. Die Lösungen dieser beiden Anbieter werden nachfolgend kurz beschrieben.

### Mapbox

Mapbox bietet AR-Funktionalitäten in drei verschiedenen SDKs an, für drei verschiedene Entwicklungsplattformen<sup>42</sup>:

- Maps SDK for Unity: Eine Sammlung von Tools für die Einarbeitung von 2D und 3D Karten in ein Unity3D Projekt. Dort können 3D-Kartendaten dann für AR/VR-Anwendungen verwendet werden.
- Mapbox AR SDK for React Native: Ein SDK, welches Mapbox Funktionalitäten in die React Native Umgebung bringt. Dadurch können GIS Anwendungen in AR für Android und iOS entwickelt werden.
- Mapbox SceneKit SDK für iOS: Explizit für die Entwicklung auf neuen iOS Geräten. SceneKit nutzt die umfangreichen Funktionalitäten von Apple ARKit, um 3D Terrain bestmöglich auf iOS Geräten darzustellen

### ArcGIS Runtime

ArcGIS Runtime von Esri bietet grundsätzlich Funktionalitäten, um Applikationen für 2D und 3D Karten oder allgemein für die Arbeit mit Geodaten zu entwickeln.

Inkludiert in ArcGIS Runtime sind auch Funktionalitäten für Augmented Reality. Dabei werden explizit drei verschiedene Ansätze für AR mit GIS-Bezug genannt, die mithilfe von ArcGIS Runtime umgesetzt werden können<sup>43</sup>:

- Flyover: Ein Punkt über einer Karte wird als Startpunkt gewählt. Der Benutzer kann sich nun durch Umherlaufen und Umsehen die Karte aus der Vogelperspektive betrachten.
- Tabletop: Ein virtuelles 3D-Modell wird auf eine reale Oberfläche projiziert. Dadurch kann beispielsweise ein Modell auf einem Tisch platziert und aus allen Winkeln betrachtet werden.

<sup>42</sup> <https://www.mapbox.com/augmented-reality>

<sup>43</sup> <https://developers.arcgis.com/net/scenes-3d/display-scenes-in-augmented-reality/>

- World-Scale: In diesem Fall wird die reale Welt als Basis genutzt und nur mit virtuellen Elementen angereichert. Beispielsweise Wegpunkte, die zum Zweck der Navigation auf einer Strasse platziert werden.

### 2.7.5 Andere SDKs

Neben den in den vorgehenden Kapiteln genannten SDKs für die Entwicklung von XR-Anwendungen gibt es eine grosse Anzahl an weiteren SDKs. Eine detaillierte Auflistung würde den Rahmen der Studie sprengen. Zur Vollständigkeit werden in Tabelle 4 einige populäre SDKs aufgeführt.

SDKs für AR	SDKs für VR	SDKs für XR
Vuforia	NVIDIA VRWorks	MixedReality Toolkit (primär Microsoft HoloLens)
Wikitude	Google VR SDK	
EasyAR	MixedReality Toolkit	
Kudan	OpenVR SDK (HTC Vive)	
ARToolKit	PSVR Dev Kit (PlaystationVR)	
Onirix	Oculus SDK (Oculus Rift)	
MaxST		
React Native		
Lumin (Magic Leap)		

Tabelle 4: Weitere SDKs für XR-Anwendungen

## 2.8 Hardware

### 2.8.1 Hardware für Augmented Reality

#### Smartphones und Tablets

Der einfachste Weg, AR-Applikationen zu verwenden, ist mithilfe von Smartphones und Tablets. Kompatibel sind alle neueren Geräte. Bei Google wird Android 7.0 vorausgesetzt<sup>44</sup>, bei Apple iOS 11.0 sowie ein Gerät mit A9-Prozessor (oder neuer)<sup>45</sup>. Damit liegt die Anzahl AR-kompatibler Smartphones weltweit im Milliardenbereich. Ende 2020 war Google ARCore bereits auf 1 Milliarde Geräten installiert<sup>46</sup>.

Bereits heute existiert eine Vielzahl von Smartphone-Apps, die auf AR basieren. Zu den beliebtesten gehören Spiele wie *Pokémon Go*, Bildungs-Applikationen wie *SketchAR* oder Shopping-Hilfen wie *IKEA Places* (Abbildung 14).

<sup>44</sup> <https://developers.google.com/ar/devices?hl=cs>

<sup>45</sup> [https://developer.apple.com/documentation/arkit/verifying\\_device\\_support\\_and\\_user\\_permission](https://developer.apple.com/documentation/arkit/verifying_device_support_and_user_permission)

<sup>46</sup> <https://www.androidpolice.com/2020/12/15/googles-arcore-library-is-now-installed-on-1-billion-devices/>



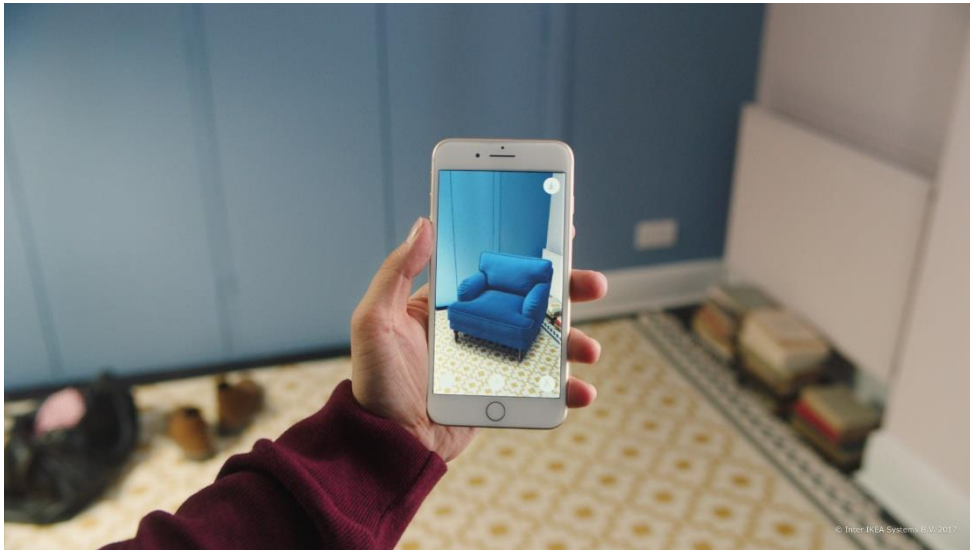


Abbildung 14: Mit dem Smartphone und einer AR-Anwendung können Möbel virtuell in der Wohnung platziert und begutachtet werden (Bild: IKEA)

### Smartglasses

Eine vollständig auf AR ausgelegte Hardware stellen Smartglasses (oder auch «Datenbrillen») dar. Die Idee dahinter ist, dass die Nutzenden durch einen transparenten Bildschirm das normale Sichtfeld sehen, welches mit virtuellen Elementen überlagert werden kann.

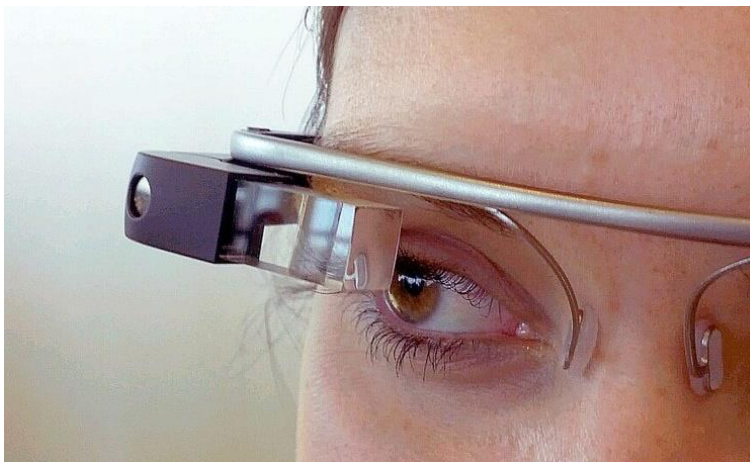


Abbildung 15: Bei Google Glass handelt sich um eine Brille, die Informationen ins Gesichtsfeld der Nutzerinnen und Nutzern einblenden kann, beispielsweise in Echtzeit erstellte Übersetzung von Texten (z.B. Hinweistafeln) im Sichtfeld. Andere Anwendungen umfassten Kochrezepte, Fitness-Tracking und Distanzmessungen<sup>47</sup>. (Bild: CC-BY Antonio Zugaldia)

Die ersten Smartglasses, die grosse Bekanntheit erlangten, wurden im Jahr 2012 mit *Google Glass*<sup>48</sup> vorgestellt (Abbildung 15). Google Glass besteht aus einem einfachen Brillengestell mit einem Minicomputer, der im rechten Bügel eingebaut ist und auf der Vorderseite mit einer Kamera und einem kleinen transparenten Bildschirm vor dem rechten Auge ausgestattet ist.

<sup>47</sup> <https://www.cnet.com/tech/services-and-software/google-glass-throws-open-its-doors-to-developers>

<sup>48</sup> <https://www.google.com/glass/start>

Google Glass erzielte auf dem Markt nicht den gewünschten Erfolg, unter anderem aufgrund von Bedenken zur Privatsphäre<sup>49</sup>. Es ebnete aber den Weg für zukünftige Smartglasses.

Der nächste wichtige Meilenstein in der Entwicklung von Smartglasses war der Release der *HoloLens* durch Microsoft (Abbildung 16) im Jahr 2015. Im Gegensatz zu Google Glass ist die HoloLens nicht für den alltäglichen Gebrauch konzipiert, sondern für den gezielten Einsatz im Rahmen spezifischer Anwendungsfälle. Die HoloLens besteht aus einem verstellbaren inneren Ring, der bequem am Kopf befestigt werden kann, sowie einem äusseren Ring, der die Technik beinhaltet und nach vorne und hinten gekippt werden kann, sodass die Bildschirme perfekt vor den Augen platziert werden können. Dabei findet sich bei Bedarf sogar noch Platz für eine Brille.<sup>50</sup>



Abbildung 16: Microsoft HoloLens (Bild: CC-BY Kai Kowalewski)



Abbildung 17: HoloLens 1: «Bloom»-Geste (links) zum Öffnen von Menüs und «Air Tap» (rechts) zum Klicken (Bild: Microsoft)

Für die Bedienung der HoloLens gibt es mehrere Eingabemöglichkeiten: Durch Eye-Tracking wird die momentane Blickrichtung aufgenommen und als Cursor auf den Bildschirm übertragen. Über ein Mikrofon können Sprachbefehle aufgenommen werden. Die wichtigsten Eingabemöglichkeiten sind

<sup>49</sup> <https://www.techradar.com/news/mobile-computing/google-glass-say-goodbye-to-your-privacy-1134796>

<sup>50</sup> <https://www.slashgear.com/hololens-hands-on-building-for-windows-holographic-01381717>



allerdings Gesten<sup>51</sup>, die mit der Hand vor der Kamera ausgeführt werden können (vgl. Abbildung 17).

Während sich die Handinteraktionen bei der ersten Generation der HoloLens sich noch auf die zwei Gesten in Abbildung 17 beschränken, kann die zweite Generation (Microsoft HoloLens 2, ab 2019) einzelne Finger tracken. Zudem geht von jeder Hand ein virtueller Strahl aus, mit dem punktgenau auf Objekte in der Ferne gezielt werden kann. Dadurch wird es möglich, nahe und ferne Objekte mit intuitiven Handbewegungen auszuwählen und zu manipulieren<sup>52</sup> (Abbildung 18 links). Die *Bloom*-Geste wurde für die HoloLens 2 ausserdem durch einen virtuellen Knopf auf dem Handgelenk ausgetauscht, welcher mit der zweiten Hand betätigt werden kann (Abbildung 18 rechts).

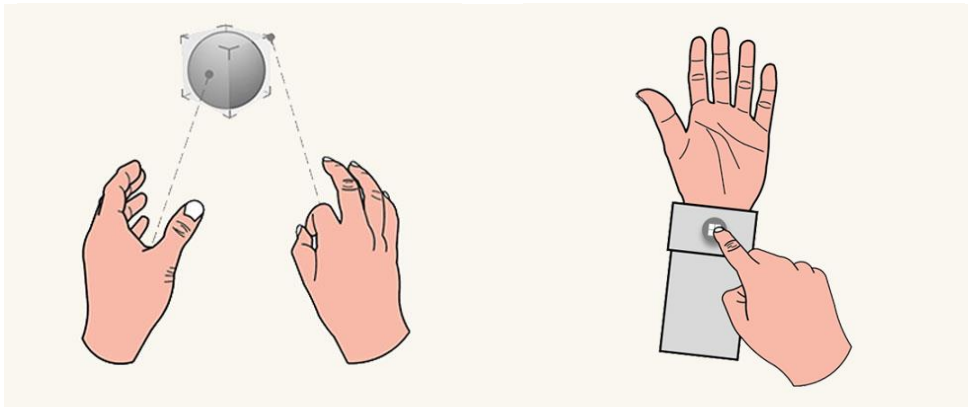


Abbildung 18: HoloLens 2: Mit zwei Händen und den zugehörigen Strahlen können Objekte präzise manipuliert werden (links). Wenn die Handfläche nach oben gehalten wird, erscheint ein Knopf auf dem Handgelenk, mit welchem das Hauptmenü geöffnet werden kann. (Bild: Microsoft)

Angetrieben durch das von Google Glass und der HoloLens aufgezeigte Potenzial der Smartglasses kamen in den letzten Jahren einige neue Modelle auf den Markt. Zu den bekanntesten gehören die *Snap Spectacles* (2016) und die *Magic Leap One* (2018). Auch in Zukunft sind weitere Fortschritte in der Entwicklung von Smartglasses zu erwarten, wobei die mediale Aufmerksamkeit sich zurzeit auf Apple fokussiert, da die Firma an Smartglasses forscht, die in Zukunft sogar eine Alternative zum Smartphone darstellen sollen.<sup>53</sup>

## 2.8.2 Hardware für Virtual Reality

### VR Headsets

Als erste Umsetzung eines VR-Headsets gilt die *NASA Virtual Interface Environment Workstation (VIEW)*, welche bis 1990 als VR-Trainings-Simulator für angehende Astronautinnen und Astronauten entwickelt wurde. Durch einen verkabelten Handschuh konnten Handbewegungen auf das VR-System angewendet werden (Abbildung 19).<sup>54</sup>

<sup>51</sup> <https://docs.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/guides/authoring-gestures>

<sup>52</sup> <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/design/point-and-commit>

<sup>53</sup> <https://www.techradar.com/news/apple-glasses>

<sup>54</sup> [https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas](https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas)



Abbildung 19: NASA Virtual Interface Environment Workstation (VIEW) (Bild: NASA)

Frühe Versuche zum kommerziellen Vertrieb von VR-Headsets, wie beispielsweise der *Nintendo Virtual Boy*<sup>55</sup>, scheiterten an nicht ausreichend performanter Hardware, wodurch den Nutzerinnen und Nutzern kein zufriedenstellendes VR-Erlebnis geboten werden konnte.



Abbildung 20: Oculus Rift (Bild: CC BY Sebastian Stabinger)

Im Jahr 2012 kam neuer Schwung in die Entwicklung von VR-Headsets: Als erstes Beispiel einer neuen Generation von VR-Headsets wurde ein Prototyp von *Oculus Rift* vorgestellt. Nach einer erfolgreichen Crowdfunding-Kampagne<sup>56</sup> konnte im März 2013 das Oculus Rift Development Kit veröffentlicht

<sup>55</sup> <https://www.businessinsider.com/nintendo-virtual-boy-reality-3d-video-games-super-mario-2018-3>

<sup>56</sup> <https://www.bbc.com/news/technology-19085967>

werden (Abbildung 20). In dieser ersten veröffentlichten Form bestand die Oculus Rift aus zwei Bildschirmen mit einer Auflösung von je 640 x 800 Pixeln. Zwischen den Augen und den Bildschirmen befinden sich Linsen, wodurch der Trägerin oder dem Träger ein einigermaßen realistischer 3D-Effekt simuliert werden kann.<sup>57</sup>

Bei modernen VR-Headsets werden zwei Bauarten unterschieden: Standalone-Geräte (sämtliche Technik ist im Gerät selbst verbaut) und Nicht-Standalone-Geräte (das Gerät muss mit einem separaten Computer, z.B. PC oder Konsole, verbunden werden). Standalone-Geräte haben den Vorteil, dass keine externe Hardware für den Betrieb benötigt wird. Aber nicht alle heute bestehenden VR-Applikationen sind mit Standalone-Headsets kompatibel.

Spezifikationen	HTC Vive Pro 2 <sup>58</sup>	HTC Vive Focus 3 <sup>59</sup>	Oculus Quest 2 <sup>60</sup>
Bauart*	Nicht-Standalone	Standalone	Hybrid
Erscheinungsjahr	2021	2021	2020
Auflösung (pro Auge)	2448 x 2448	2448 x 2448	1832 x 1920
Bildwiederholrate	90–120 Hz	90 Hz	72–120 Hz
Prozessor	keiner	Snapdragon XR2	Qualcom XR 2
Arbeitsspeicher	Abhängig vom PC	8 GB	6 GB
Speicherplatz	Keiner	128 GB	128 / 256 GB
Horizontales Sichtfeld	120°	120°	89° <sup>61</sup>
Preis	\$799	\$1'300	\$299–\$399 (128 bzw. 256 GB)

Tabelle 5: Technischer Vergleich einiger aktueller VR-Headsets

Seit der Lancierung von Oculus Rift sind zahlreiche weitere VR-Headset-Modelle in den Markt eingetreten. Eine detaillierte Analyse der einzelnen VR-Headsets würde den Rahmen dieser Studie sprengen, daher werden in Tabelle 5 drei der aktuell beliebtesten Modelle hervorgehoben und anhand der wichtigsten Kennzahlen miteinander verglichen.

Bei den meisten VR-Headsets funktioniert die Steuerung auf eine ähnliche Art: Die Ausrichtung und Position des Kopfes werden üblicherweise über Sensoren in allen sechs Freiheitsgraden aufgenommen und in die virtuelle Umgebung projiziert. Zudem können Veränderungen der Position im Raum durch Lasertracking erfasst werden. Für die eigentliche Bedienung werden im Normalfall die Hände benutzt. Für die Aufnahme von Handbewegungen sind drei verschiedene Ansätze verbreitet<sup>62</sup>:

<sup>57</sup> [https://www.pcwelt.de/produkte/Oculus\\_Rift\\_Developer\\_Kit\\_im\\_Praxis-Test-Virtuelle\\_Realitaet\\_zum\\_Aufsetzen-8223701.html](https://www.pcwelt.de/produkte/Oculus_Rift_Developer_Kit_im_Praxis-Test-Virtuelle_Realitaet_zum_Aufsetzen-8223701.html)

<sup>58</sup> <https://www.vive.com/de/product/vive-pro2/specs>

<sup>59</sup> <https://www.vive.com/de/product/vive-focus3/specs>

<sup>60</sup> <https://developer.oculus.com/resources/oculus-device-specs>

<sup>61</sup> <https://vr-compare.com/headset/oculusquest2>

<sup>62</sup> [https://mixed.de/virtual-reality-starter-guide/#Wie\\_interagiere\\_ich\\_in\\_VR](https://mixed.de/virtual-reality-starter-guide/#Wie_interagiere_ich_in_VR)

- **VR-Controller:** Das beliebteste Eingabegerät für VR-Headsets sind sogenannte VR-Controller (vgl. Abbildung 21). Die relative Position und Ausrichtung der Hände in Bezug auf das Headset werden laufend aufgenommen. Detailliertere Bewegungen werden durch verschiedene Tasten, Sensoren und Analog-Sticks an den Controllern realisiert.
- **VR-Handschuhe:** Durch das Tragen von Handschuhen, die mit Sensoren bedeckt sind, können sämtliche Bewegungen der Hände erfasst werden. Dadurch kann die komplette Hand realitätsgetreu in die virtuelle Welt übertragen werden. VR-Handschuhe sind kostspielig und noch wenig verbreitet.
- **Optisches Tracking:** Mithilfe von Kameras und/oder Laserscannern wird die gesamte Hand aufgenommen, um ohne einen VR-Handschuh dennoch die komplette Hand in der virtuellen Welt modellieren zu können.



Abbildung 21: HTC Vive im Einsatz mit Controllern (Bild: CC BY ESA)

Eine Eingabemöglichkeit, mit der in Zukunft vermehrt zu rechnen sein dürfte, ist Gedankensteuerung (Brain-Computer-Interfaces). Durch die Aufzeichnung neuronaler Aktivität und konzentrierter Denkleistung der Nutzerin oder des Nutzers können bestimmte Elemente von VR-Anwendungen angesteuert werden. Auch wenn eine ausgereifte Umsetzung für Gedankenkontrolle noch in Ferne scheint, gibt es mit *NextMind*<sup>63</sup> bereits scheinbar marktfähige Ansätze.

<sup>63</sup> <https://www.next-mind.com>

### Google Cardboard

Cardboard (Abbildung 22) ist eine von Google entwickelte preiswerte Alternative zu herkömmlichen VR-Headsets<sup>64</sup>. Mit Cardboard verfolgt Google das Ziel, VR für eine breite Personengruppe zugänglich zu machen. Cardboard besteht aus einer Halterung aus Karton, in welche ein Smartphone platziert wird, und zwei Linsen, durch die die Nutzerin oder der Nutzer auf den Bildschirm des Smartphones schaut. Dadurch kann jedes moderne Smartphone in ein einfaches VR-Gerät umgewandelt werden.

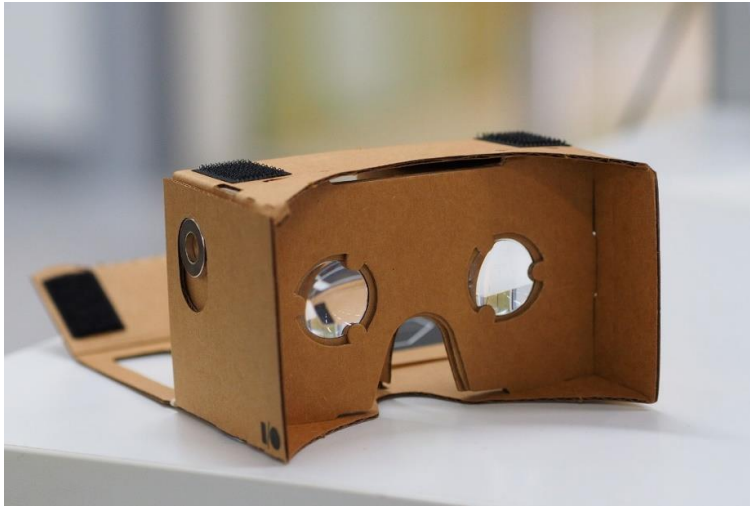


Abbildung 22: Google Cardboard (Bild: CC-BY othree)

Mit Google Cardboard kompatible Apps teilen den Bildschirm des Smartphones in zwei Hälften. Durch die Linsen von Cardboard hat jedes Auge jeweils eine Bildschirm-Hälfte im Blick. Dadurch wird ein 3D-Effekt simuliert, welcher für die Nutzenden ein real wirkendes Blickfeld erzeugen kann. Neigungen des Kopfes werden vom Smartphone erkannt und in die 3D-Umgebung übertragen<sup>65</sup>.

Da Cardboard selbst nur aus analoger Hardware besteht, hängen die technischen Spezifikationen (wie zum Beispiel Auflösung oder Rechenleistung) ausschliesslich vom verwendeten Smartphone ab.

## 2.9 Positionierung

Damit ortsbasierte AR-Applikationen Geodaten an der korrekten Position und im korrekten Blickwinkel darstellen, wird ein Mechanismus benötigt, der dem Endgerät die notwendigen Informationen für das korrekte Rendering der AR-Szene übergibt. Dazu kommen verschiedene Ansätze zur Anwendung, die im Folgenden kurz erläutert werden.

<sup>64</sup> <https://arvr.google.com/cardboard>

<sup>65</sup> <https://www.techradar.com/news/phone-and-communications/mobile-phones/google-cardboard-everything-you-need-to-know-1277738>



## 2.9.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)

«Global Navigation Satellite System» (GNSS) ist ein Sammelbegriff für verschiedene Arten von Satellitennavigationssystemen, die weltweit verwendet werden, z. B. GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou. GNSS-basierte Systeme können für eine bessere Genauigkeit auch gleichzeitig auf mehrere Satellitensysteme zugreifen.

### Standard Positioning Service (SPS)

Die Messmethode «Standard Positioning Service» (SPS) greift auf vier oder mehr Satellitensignale zu und berechnet aufgrund der Laufzeiten der Signale die Position des Endgerätes. Die Genauigkeit von mit SPS bestimmten Positionen ist ziemlich beschränkt, da die reale Geschwindigkeit des Signales vom Satelliten zum Endgerät vom Zustand der Erdatmosphäre abhängig ist, welcher sich stetig verändert.<sup>66</sup>

### Real-Time Kinematic Positioning (RTK)

Die RTK-Messungsmethode verwendet dieselbe Methode wie SPS. Zusätzlich werden im Abgleich mit einer zusätzlichen Basisstation (Abbildung 23) aber die Eigenschaften der Trägerwellen zwischen dem Satelliten und dem Endgerät analysiert und die Positionierungsgenauigkeit damit verbessert. Für diese Genauigkeitsverbesserung existieren zwei Algorithmen mit unterschiedlicher Güte: RTK-Integer und RTK-Float.<sup>67</sup>

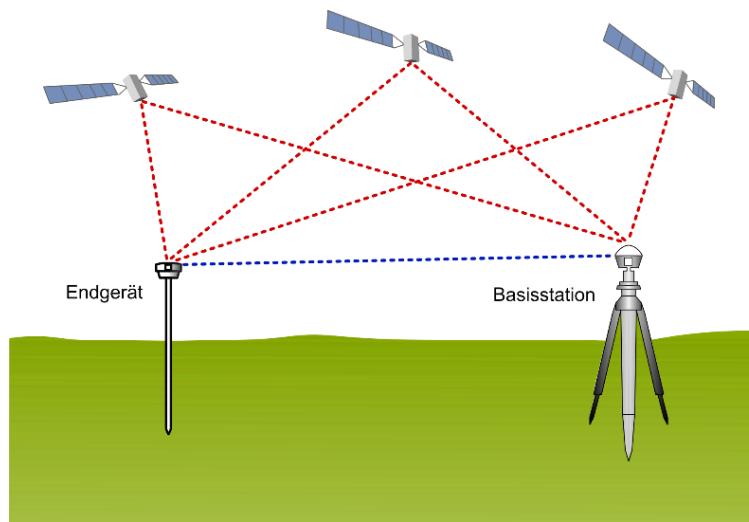


Abbildung 23: GNSS-Positions-messung mit einem Endgerät und einer damit verbundenen Basisstation zwecks RTK- oder DGNSS-basierter Verbesserung (blaues Signal) der Positions-genauigkeit (Bild: CC-BY-SA TS Eriksson)

### Differential GNSS (DGNSS)

Die DGNSS-Messmethode ergänzt die SPS-Methode mit einer Verbindung des Endgeräts zu einem kalibrierten GNSS-Empfänger (Basisstation, vgl. Abbildung 23), dessen Position vor der Nutzung genau vermessen worden

<sup>66</sup> <https://www.oxts.com/de/sps>

<sup>67</sup> <https://www.oxts.com/de/rtk>

ist. Die Basisstation übermittelt dem Endgerät ihre aktuellen GNSS-basierten Positionsmessungen und die initial exakt vermessene Position (DGNSS-Korrekturdaten). Anhand dieser Daten kalibriert das Endgerät seine eigene GNSS-basierte Positionsmessung.<sup>68</sup>

In der Schweiz betreibt Swisstopo ein flächendeckendes Netz von automatischen GNSS-Basisstationen (Automatisches GNSS-Netz Schweiz, AGNES). Darauf aufbauend bietet Swisstopo unter dem Label «swipos» verschiedene kostenpflichtige Dienste an, um die GNSS-Positionierungsgenauigkeit in unterschiedlichem Mass zu erhöhen.<sup>69</sup>

## 2.9.2 Indoor-Positionierungssysteme

Indoor-Positionierungssysteme ermöglichen das Bestimmen der Position eines Endgeräts innerhalb eines Gebäudes, wo GNSS-Systeme nicht nutzbar sind. Wie bei GNSS werden die Laufzeiten von Signalen analysiert (Trilateration). Gängige Technologien sind Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons, WLAN und Ultra-Wideband.

## 2.9.3 Inertiale Navigationssysteme (INS)

Inertiale Navigationssysteme (INS), auch Trägheitsnavigationssysteme genannt, berechnen relative Positionsveränderungen von Endgeräten. INS können keine absoluten Positionen bestimmen. Sie können ermitteln, in welche Richtung und mit welcher Distanz sich das Gerät seit einem bestimmten Zeitpunkt und relativ zu der damaligen Position fortbewegt hat. Dazu werden verschiedene Typen von Sensoren (Kreisel und Beschleunigungsmesser) verwendet, deren Signale kombiniert werden, um die Positionsveränderungen bestimmen zu können. Eine Schwäche dieser Systeme ist der entstehende Drift-Fehler der Sensoren, welcher sich über die Laufzeit kumuliert.

INS werden typischerweise mit einer Technologie, die eine absolute Positionierung vornehmen kann, kombiniert, beispielsweise mit GNSS- oder Indoor-Positionierungssystemen. Die Kombination ermöglicht eine sehr genaue Positionierung des Endgerätes, auch wenn dieses sich dreht oder bewegt.<sup>70</sup>

## 2.9.4 Marker-basierte Positionierung

Bei der Marker-basierten Positionierung erkennt die AR-Anwendung vorher eingerichtete oder eingemessene Marker (auch «Fiducial Markers» genannt) in der echten Welt, um sich zu positionieren und 3D-Modelle lagegetreu darzustellen.

Die AR-Anwendung muss in der Lage sein, den oder die Marker eindeutig zu erkennen. Dazu muss der Marker genug eindeutige Punkte besitzen, damit die Applikation ihn als eindeutig identifizierbares Objekt erkennen kann. Marker können verschiedene Formen annehmen: Es kann sich dabei um

<sup>68</sup> <https://www.oxts.com/de/dgps>

<sup>69</sup> <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/geoservices/swipos/swipos-dienste.html>

<sup>70</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Trägheitsnavigationssystem>

QR- oder ähnliche Codes (Abbildung 24), Bilder oder Objekte mit einer speziellen Form handeln.

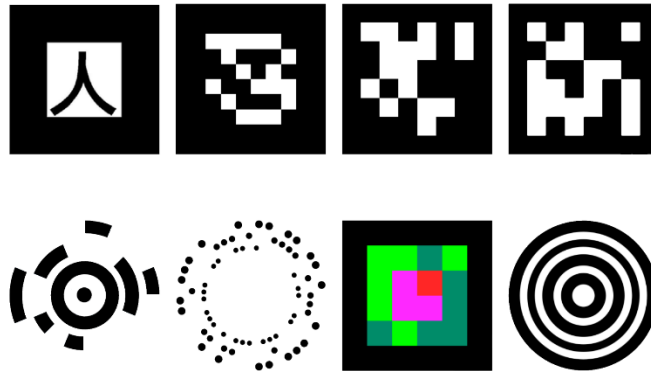


Abbildung 24: Verschiedene Marker für AR-Anwendungen (Bild: Benligiray et al. 2019<sup>71</sup>)

Zur Bestimmung der Blickrichtung des Benutzers kann auch dieses System mit einem INS kombiniert werden, wenn der Marker nicht die Bestimmung der Blickrichtung erlaubt. Die Marker-basierte Geopositionierung erlaubt nicht zu grosse Distanzen zwischen Endgerät und Marker, da sich Lagefehler zu gross werden.

### 2.9.5 Spatial Anchors

Microsoft bietet mit Azure Spatial Anchors<sup>72</sup> eine Erweiterung Marker-basierter Positionierung. Mit Spatial Anchors können Anwenderinnen und Anwender räumliche Information zwischen Anwendungssessions oder zwischen verschiedenen Geräten derselben Session teilen, so dass die Anwenderinnen und Anwender ein 3D-Modell in einer geteilten AR-Umgebung sehen können (Abbildung 25). Dazu erfasst Microsoft mittels der Kamera des Endgeräts die Umgebung und speichert ausgezeichnete Punkte in der Azure-Cloud. Google verfügt mit Cloud Anchors über eine ähnliche Lösung.<sup>73</sup>



<sup>71</sup> Benligiray B., Topal C., Akinlar C. (2019): STag: A Stable Fiducial Marker System

<sup>72</sup> <https://azure.microsoft.com/en-us/services/spatial-anchors>

<sup>73</sup> <https://developers.google.com/ar/develop/cloud-anchors>



Abbildung 25: Gemeinsames Betrachten eines 3D-Modells in AR-Anwendungen auf verschiedenen Endgeräten (Bild: Microsoft)

Google bietet mit dem Visual Positioning System (VPS) eine weitere Möglichkeit der Bestimmung von Ort, Richtung und Blickwinkel, ohne dass für die Applikation Spatial Anchors erzeugt werden müssen. Indem die Kameraansicht des AR-Gerätes mit einem VPS-Bildindex abgeglichen wird, der aus den Bildern von Google StreetView erzeugt worden ist, wird die räumliche Positionierung des Geräts berechnet.

### 2.9.6 Genauigkeit und Verfügbarkeit von Positionierungssystemen

Tabelle 6 zeigt die ungefähre erzielbare Lagegenauigkeit der verschiedenen Positionierungsmethoden.

Positionierungsmethode	Erzielbare Genauigkeit
GNSS SPS	3–15 m
GNSS RTK Float	20–40 cm
GNSS RTK Integer	circa 1 cm
DGNSS	Dezimeter-Bereich, i.d.R. < 40 cm
BLE Beacon	wenige Meter
WLAN	5–15 m
Ultra-Wideband	30 cm
INS	(wird in der Regel mit einer absoluten Positionierungsmethode kombiniert)
Marker-basiert	je nach Anwendungskontext

Tabelle 6: Lagegenauigkeit von Positionierungssystemen

Tabelle 7 zeigt die aktuelle Verfügbarkeit von Positionierungssystemen in verschiedenen Hardware-Klassen für Augmented Reality. Hochpräzise Positionierung wie zum Beispiel RTK ist heute in keinem Gerät standardmässig vorhanden. Smartphones und Tablets bringen mit GNSS SPS aber zumindest eine Positionierung mit, die auf einige Meter genau ist.

Bei Anwendungsfällen, die höhere Genauigkeit erfordern, können aber externe GNSS-Geräte angeschlossen werden, und mit Hilfe eines Positionierungsdienst kann auch für Smartglasses wie eine HoloLens eine zentimetergenaue Positionierung erreicht werden.

Gerät	Positionierungstechnologie <sup>74</sup>
Smartphones/Tablets	GNSS (SPS) und INS für Blickrichtung, Marker-basierte Positionierung
Smartglasses am Beispiel der HoloLens 2	Indoor WLAN und INS, Marker-basierte Positionierung

Tabelle 7: Verfügbarkeit von Positionierungssystemen in AR-Geräten

<sup>74</sup> <https://developer.oculus.com/resources/oculus-device-specs>

## 2.10 OpenXR-Standard

Wie die vorhergehenden Schilderungen zeigen, besteht im XR-Bereich heute eine Vielzahl verschiedener Hardware- und Softwarekomponenten. In der aktuell schnell wachsenden XR-Branche besteht dabei die Gefahr, dass sich Lösungen für verschiedene Soft- und Hardwaretypen entwickeln, die untereinander nicht kompatibel sind. Um dies zu verhindern, hat die Khronos Group den OpenXR-Standard<sup>75</sup> ins Leben gerufen.

OpenXR ist ein offener, lizenzfreier Standard für XR-Software und -Hardware. Während der Game Developers Conference 2017 wurde OpenXR angekündigt<sup>76</sup>. Nach Einbezug von XR-Entwicklerinnen und -Entwicklern wurde der Standard dann im Juli 2019 offiziell eingeführt<sup>77</sup>.

Ziel von OpenXR ist es, eine Grundlage zu schaffen, damit in allen geläufigen Entwicklungsumgebungen Applikationen erstellt werden können, die auf möglichst vielen XR-Geräten lauffähig sind, ohne dass für jedes Gerät eine eigene Lösung entwickelt bzw. angepasst werden muss (Abbildung 26).

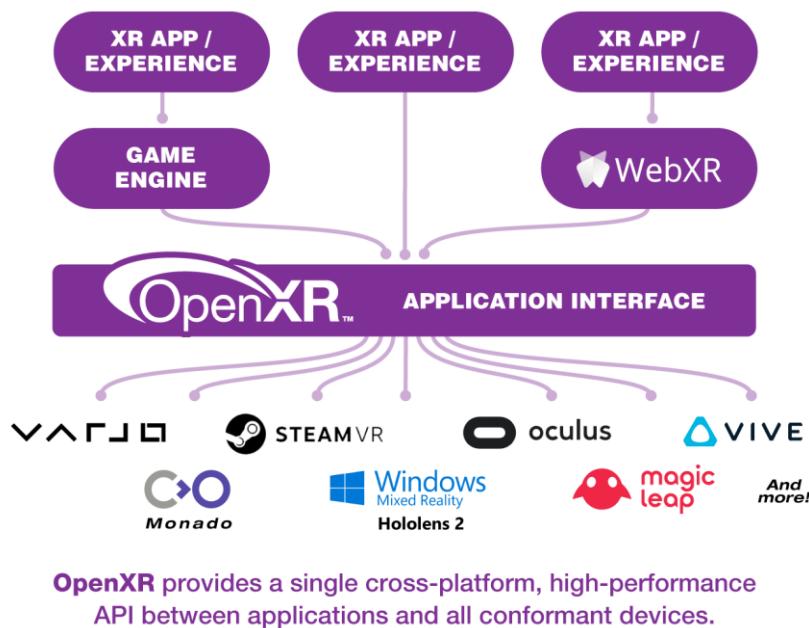


Abbildung 26: Idee des OpenXR-Standard: Einziehen einer Cross-Plattform-fähigen performanten API, die zwischen Anwendungen und OpenXR-kompatiblen Geräten vermittelt (Bild: Khronos Group)

Mit Firmen wie Microsoft, Facebook, HTC oder Valve auf Hardwareseite und Programmen wie Unity, Unreal Engine und Blender auf Softwareseite unterstützen heute bereits die meisten substanziellen XR-Hersteller und -Entwickler den OpenXR Standard.

<sup>75</sup> <https://www.khronos.org/openxr/>

<sup>76</sup> <https://www.khronos.org/news/press/khronos-reveals-api-updates-new-workgroups-at-gdc>

<sup>77</sup> <https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-openxr-1.0-specification-establishing-a-foundation-for-the-ar-and-vr-ecosystem>

## 2.11 Azure Remote Rendering

Eine neuere technische Entwicklung ist Remote Rendering. Dieses wird aktuell von Microsoft in der Azure Cloud angeboten. Im Remote Rendering-Verfahren werden 3D-Objekte für XR-Szenen in der Azure Cloud gerendert und als Bilddaten in Echtzeit an eine HoloLens 2 gestreamt.<sup>78</sup> Da vor allem im AR-Einsatz mobile Endgeräte bei komplexen 3D-Modellen in Bezug auf ihre Performanz an ihre Grenzen stossen, wird beim Remote Rendering das rechenintensive Rendern auf performante Server in der Cloud verschoben.

Diese Technologie dürfte künftig eine valable Alternative zur Vereinfachung von geometrischen Objekten auf weniger Vertices, um eine Entlastung des Endgeräts zu erzielen. Der Aufwand für die Vereinfachung komplexer 3D-Modelle kann wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben gross sein und es können wichtige Details verloren gehen. Dafür ist bei Remote Rendering zumindest aktuell die Qualität der Interaktivität etwas eingeschränkt, da aufgrund des Datentransfers über das Netzwerk eine Verzögerung entstehen kann.

## 3. Grundlagen im Kanton Zürich

### 3.1 Infrastruktur

Der Kanton Zürich betreibt eine Geodateninfrastruktur, die folgende Prozesse unterstützt:

- Neuerfassung oder Aktualisierung von Geodaten durch Fachämter (zuständige Stellen)
- Qualitätssicherung der Geodaten
- Publikation der Geodaten:
- Visualisierung der Geodaten in Webapplikation GIS-Browser
- Geodienste (OGC WMS, OGC WFS)
- Download von Geodaten über Webapplikation GIS-Browser
- Direktzugriff auf publizierte Geodaten in Geodatenbank, zum Beispiel für räumliche Analysen und Produktion von Plänen oder Printmedien

Die Geodateninfrastruktur besteht aus folgenden Hauptbestandteilen:

- ROFA (Raumdatenbank für Original-Fachdaten): Zentrales Datenhaltungssystem für die Geodaten innerhalb GIS-ZH
- GIS-Browser: Zentrale kartengestützte und webbasierte Geoinformationsplattform des Kanton Zürichs. Mehr als 100 Themen sind als Webkarten verfügbar, die nebst Informationsabfragen teilweise auch die Pflege eigener Geodaten erlauben.
- Geolion: Baustein für die Pflege von Metainformationen aller Geodaten in der ROFA

<sup>78</sup> <https://azure.microsoft.com/en-us/services/remote-rendering>

- ETL (Extract, Transform, Load): Baustein zur Datenaufbereitung und –integration, um Daten in und aus der ROFA verfügbar zu machen
- Desktop GIS: Arbeitsplatzgestütztes GIS-System, das in den Fachstellen zur Ausführung von anspruchsvolleren und/oder speziellen GIS-Arbeiten eingesetzt wird.
- Tools: Dieser Baustein umfasst alle individuellen Erweiterungen, die GIS-Tätigkeiten in den Fachstellen in Form von Skripten unterstützen.

Eine Fragestellung in dieser Studie lautet, wie bestehende Geodaten in einer Form publiziert werden können, so dass die optimal für die Entwicklung von AR und VR Applikationen genutzt werden können. Die Dokumentation der bestehenden Infrastruktur fokussiert deshalb auf die Infrastruktur zur Datenhaltung, Publikation von Geodiensten und Unterstützung von Downloadfunktionalitäten.

Zu bemerken ist, dass die GIS-Infrastruktur des Kantons im Umbruch ist, es ist ein Austausch zentraler gewisser Komponenten (GIS-Browser und Esri ArcGIS Enterprise) geplant. In der Dokumentation wird deshalb der Ist-Zustand aufgezeigt, aber auch die geplanten Anpassungen, da sie Einfluss auf die Bereitstellung von Geodiensten und Downloadfunktionalitäten haben.

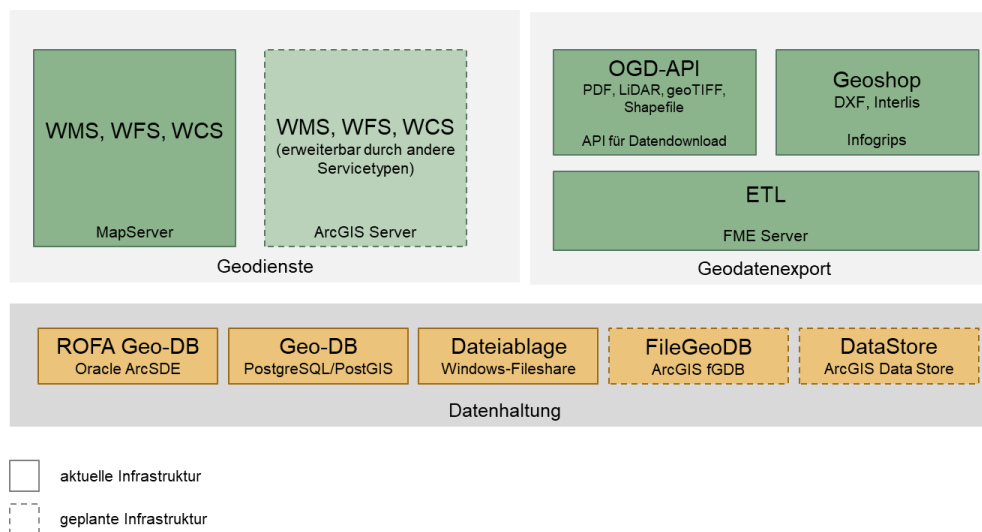


Abbildung 27: Geodateninfrastruktur des Kantons Zürich für die Bereiche Datenhaltung, Geodiensten und Geodatenexport

### 3.1.1 Datenhaltung

Die ROFA (Raumdatenbank für OriginalFachdaten) bildet als zentrales Datenhaltungssystem für kantonale Geodaten die Datendrehscheibe innerhalb GIS-ZH. In dieser Datenbank werden alle kantonalen Geovektordaten gehalten sowie ein kleiner Anteil an Rasterdaten.

Die PostGIS Geo-DB wurde für die Datennutzung im Web konzipiert. Sie wird als Datenquelle für MapServer verwendet, sowohl für die Generierung der Kartenbilder für den GIS-Browser als auch für die Bereitstellung der WMS, WFS und WCS-Services. Einige Datensätze werden über die Schnittstellen editiert. Die Daten werden regelmässig zwischen der ROFA Geo-DB und der PostGIS Geo-DB synchronisiert.

Die Dateiablage dient zur Speicherung von grösseren kantonalen Rasterdaten wie zum Beispiel Orthofotos oder DGMs/DTMs. Sie werden als Raster-Mosaic-Dataset in der ROFA Geo-DB referenziert.

Neu geplant ist die Einführung von ArcGIS FileGeoDB als alternative Datenspeicherung von Geodaten. Zur Speicherung der in ArcGIS Portal gehaltenen Geodaten ist die Einführung von ArcGIS Data Store geplant. Der Zeitraum für die Einführung ist aber noch unklar.

### 3.1.2 Geodienste

Über MapServer werden aktuell Geodienste vom Typ OGC WMS für Kartenbilder, OGC WFS für Vektordaten, und OGC WCS für Rasterdaten angeboten. Die Dienste werden vom GIS-Browser genutzt, es existieren aber auch Fachapplikationen, die diese Dienste direkt nutzen.

Geplant ist die Einführung von ArcGIS Server zur Bereitstellung von Diensten vom Typ WMS, WFS und WCS. Über ArcGIS Server wird es auch möglich sein, andere Typen von Services anzubieten. Beispiele dafür sind ArcGIS MapService, ArcGIS FeatureService, ArcGIS ImageService oder ArcGIS Scene Service. Diese Typen werden weitere Nutzungsszenarien ermöglichen. MapServer soll als Legacy-System weiter betrieben, da gewisse Fachapplikationen nicht sehr einfach auf ArcGIS Server migrieren können. Die Einführung von ArcGIS Server ist aktuell im POC-Status.

### 3.1.3 Geodatenexport

Für den Geodatenexport steht aktuell das OGD-API zur Verfügung. Das OGD-API nutzt FME Server zur Extraktion und Transformation von Geodaten in das vom Benutzer gewünschte Dateiformat wie zum Beispiel PDF, LiDAR, GeoTIFF oder Shapefile. Das API wird direkt von Fachapplikationen genutzt, aber auch der GIS-Browser nutzt für den Geodatenexport das OGD-API.

Per Ende März 2022 wird/wurde ein neuer Geodatenshop eingeführt, über den Geodaten bestellt werden können. Darin ist eine zentrale Applikationslogik für die Bereitstellung der Geodaten enthalten, welche individuell eingesetzt werden kann. Die Aufbereitung der bestellten Datenprodukte ist mit FME Server umgesetzt.

## 3.2 XR-Anwendungen und -Erfahrungen

Einige Verwaltungseinheiten im Kanton Zürich haben bereits Erfahrungen mit XR-basierten Anwendungen sammeln können (zum Beispiel im Building Information Modelling- bzw. BIM-Umfeld). Diese bestehenden Anwendungen, die eingesetzten Daten und aus den Anwendungen resultierende Erfahrungen sind mittels Interviews erhoben worden. Sie sind in Kapitel 5 dokumentiert.

Generell sind die Erfahrungen von Verwaltungseinheiten, die XR schon eingesetzt haben, gut bis sehr gut. Abstriche an der Zufriedenheit entstehen am ehesten wegen nicht-trivialer Bedienung und der Kosten von dedizierter XR-Hardware (Headsets und Smartglasses), des Aufwands für die Datenbereitstellung und der notwendigen Investitionen für den Erfahrungsaufbau.

## 4. Potenzial für AR und VR

### 4.1 Steckbriefe zu erfolgreichen Anwendungen von AR und VR zur Visualisierung von Geodaten

Im folgenden werden (operative und prototypische) AR- und VR-Anwendungen mittels Steckbriefen dargestellt und erläutert. Der Fokus liegt auf Anwendungen, welche Geodaten nutzen und welche für kantonale Ämter sowie deren Kundinnen und Kunden von Interesse sein könnten.

### 4.1.1 Visualisierung von Untergrundinfrastruktur



Trägerschaft	Toms River Municipal Utilities Authority (TRMUA) in New Jersey, Meemim und Esri
Kurzbeschreibung	<p>Die AR-Anwendung wurde vom kanadischen Start-Up Meemim für die Toms River Municipal Utilities Authority (TRMUA) im Bundesstaat New Jersey entwickelt. Ziel der Applikation ist der Support der Ausendienstmitarbeitenden von Versorgungsunternehmen (z.B. Energieanbieter). Diesen Mitarbeitenden soll die tägliche Arbeit erleichtert werden, indem sie die Verläufe von Untergrundinfrastrukturen am Einsatzort zielsicher erkennen können und so Missverständnisse vermeiden oder auflösen können. Die AR-Applikation ist besonders wertvoll, wenn die Sicht stark eingeschränkt ist, so dass auf dem Boden angebrachte Markierungen nur noch schwer erkennbar sind – etwa bei Dunkelheit, Schnee oder Okklusion zum Beispiel durch parkierte Fahrzeuge.</p> <p>Der Anwendungsfall wird von diversen Forschungseinrichtungen und Lösungsanbietern verfolgt. Erwähnenswert sind im Bereich der Forschung das Lara-Projekt und im deutschsprachigen Raum Frox-IT (vgl. Links).</p>
Zielpublikum	Vorsorgeunternehmen, Tiefbauämter, Planungsbüros
Zeitraum / Zeitpunkt	2018
AR oder VR?	AR
Prototypisch oder operativ?	Operativ
Softwarekomponenten	Unity, vGIS (Meemim), CityEngine, SketchUp
Hardwarekomponenten	Microsoft Azure, Android Endgerät
Verwendete Daten	Esri ArcGIS, Infrastrukturdaten (Nicht weiter spezifiziert)
Website / Links / Literatur	<a href="https://www.geoweekevents.com/blogs/enhancing-gis-augmented-reality">https://www.geoweekevents.com/blogs/enhancing-gis-augmented-reality</a> <a href="https://www.lara-project.eu">https://www.lara-project.eu</a> <a href="https://frox-it.de/fx-reality-app">https://frox-it.de/fx-reality-app</a>

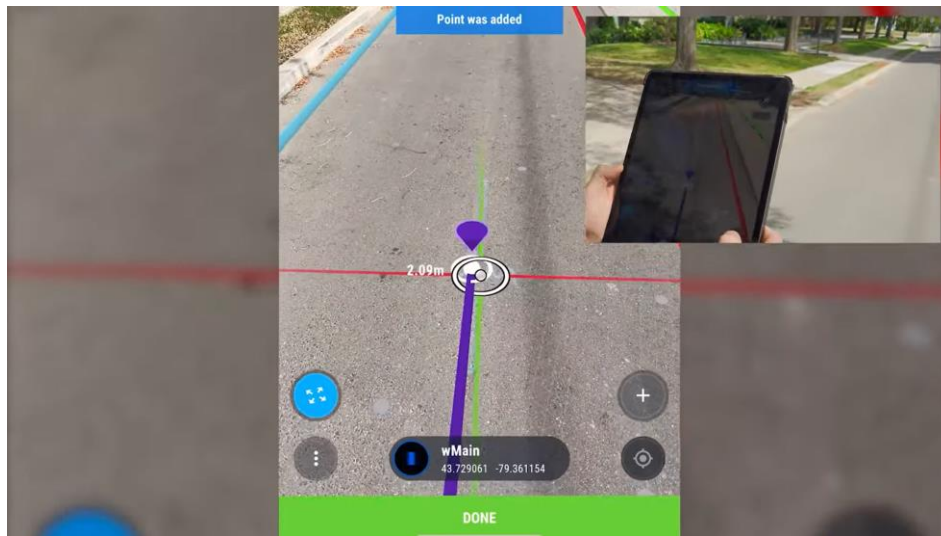


#### 4.1.2 Gebäudevisualisierung in einer bestehenden Umgebung



Trägerschaft	Esri, Ingenieurbüro Ackermann+Wernli, Leica
Kurzbeschreibung	<p>Das grundlegende Ziel solcher AR-Anwendungen ist die Einbettung von virtuellen Objekten (oftmals Gebäude oder Infrastrukturobjekte im Planungsstadium) in eine bestehende reale Umgebung.. Diese Anwendungen bieten eine breite Nutzung für unterschiedliche Stakeholder eines Projektes: Unterstützung der Planung durch Visualisierung der Einbettung/Vereinbarkeit mit der Umgebung, Visualisierung des Schattenwurfs und von Gebäudeeigenschaften, Vermittlungsarbeit zuhanden von Betroffenen und Entscheidungsträgerinnen und -trägern. Das Qualitätsspektrum des Anwendungsfalls reicht von hochqualitativen Lösungen von Planungs- und Architekturbüros bzw. für Bauherren bis hin zu Anwendungen von Privatpersonen.</p> <p>Im vorliegenden Steckbrief soll speziell der eine Lösung von Esri in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Ackermann+Wernli und Leica erwähnt werden: Dieser AR-Anwendungsversuch aus dem Jahr 2021 konnte zeigen, dass die AR-Technologie weit genug fortgeschritten ist, um eine massgetreue Darstellung eines Mehrfamilienhauses in eine Umgebung zu projizieren. Für positionsgenaue Resultate musste auf Spezialkomponenten zur Positionierung (Geräte von Leica mit Genauigkeiten im Bereich von 2cm) zurückgegriffen werden.</p>
Zielpublikum	Alle potenziellen Stakeholder im Planungsprozess von Gebäuden und Infrastrukturbauten: Planungsfirmen, Architekturbüros, Bauherren, Bauherrenvertreter, Mitglieder von Juries von Architektur-/Gestaltungswettbewerben, Bevölkerung, Amtsträgerinnen und Amtsträger u.ä.
Zeitraum / Zeitpunkt	2021
AR oder VR?	AR
Prototypisch oder operativ?	Proof of Concept
Softwarekomponenten	vGIS
Hardwarekomponenten	Leica Zeno FLX100, mobile Endgeräte
Verwendete Daten	CAD-Daten und 3D-Gebäude von Swisstopo, dreidimensionale BIM-Objekte
Website / Links / Literatur	<p><a href="https://storymaps.arcgis.com/stories/9d789230b04e4216b4a9b7a5fbfa1d2d">https://storymaps.arcgis.com/stories/9d789230b04e4216b4a9b7a5fbfa1d2d</a></p> <p>Holopanning: Die Stadt Zürich entwickelte zusammen mit der Firma afca eine ähnliche Lösung basierend auf Hololense 2 (<a href="https://www.afca.ch/de/projekte/holopanning">https://www.afca.ch/de/projekte/holopanning</a>).</p>

### 4.1.3 Erfassung (Qualitätssicherung) von GIS-Objekten / Geodaten



Trägerschaft	vGIS Inc.
Kurzbeschreibung	<p>Das grundlegende Ziel des Anwendungsfalls ist die einfache Erfassung von Geodaten in einer AR-Anwendung. Die Nutzerin oder der Nutzer kann reale Objekte im Raum erkennen und anschliessend mit den passenden Koordinaten in der AR-Anwendung erfassen. Dazu wird ein virtuelles Objekt dem realen Objekt überlagert. Anschliessend kann der Lage des Objekts durch die Positionierung der Nutzerin bzw. des Nutzers und die Geometrie der AR-Szene ermittelt und abgespeichert werden. Die so erfassten Daten werden an eine Datenbank übermittelt und das Erfassungsobjekt wird in der AR-Szene dem Erfassungsort überlagert dargestellt.</p> <p>Vorbereitend werden die relevanten Objekttypen als 3D-Modell modelliert, so dass sich diese Objekttypen durch die AR-Anwendung erfassen und darstellen lassen.</p> <p>Die AR-Applikation ermöglicht viele Anwendungskontexte, bei denen die Genauigkeit (initial, bei der Feldaufnahme) nicht beliebig hoch sein muss. Die Erfassung kann durch Fachpersonen erfolgen oder auch im Rahmen von Crowdsourcing- bzw. Citizen-Science-Projekten durch motivierte Laien.</p>
Zielpublikum	Diverse Stakeholder (Fachpersonen, Bevölkerung, Firmen)
Zeitraum / Zeitpunkt	2019
AR oder VR?	AR
Prototypisch oder operativ?	Operativ
Softwarekomponenten	vGIS
Hardwarekomponenten	mobile Endgeräte, GPS-Gerät
Verwendete Daten	Modelle der zu erfassenden Objekte, Positionierungsdaten
Website / Links / Literatur	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=2ySMX2ktgn4">https://www.youtube.com/watch?v=2ySMX2ktgn4</a> , <a href="https://www.youtube.com/watch?v=YdQDg8djs9s">https://www.youtube.com/watch?v=YdQDg8djs9s</a> , <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Wg6jN-audEM&amp;t=180s">https://www.youtube.com/watch?v=Wg6jN-audEM&amp;t=180s</a> (ab 1:28) <a href="https://v-labs.ch">https://v-labs.ch</a>

#### 4.1.4 Visualisierung von Überflutungsszenarien im «Feld»



Trägerschaft	University of Sheffield
Kurzbeschreibung	<p>Die wissenschaftliche Untersuchung hatte zum Ziel, den Nutzen einer AR-Applikation zu untersuchen, welche Überflutungsszenarien im Feld darstellen kann. Die Untersuchung erfolgte anhand einer Befragung von Fachpersonen.</p> <p>Die Fachpersonen waren sehr zufrieden mit der AR-Anwendung. Die Visualisierung von Hochwasserereignissen mittels AR wurde als sehr gut verständlich und plausibel eingeschätzt. Die Verwendung einer AR-Anwendung für die Vermittlung an bzw. Sensibilisierung «im Feld» von Fachpersonen innerhalb von Planungsprozessen oder auch der betroffenen Bevölkerung wurde als wertvoll eingeschätzt.</p>
Zielpublikum	Fachpersonen (in der Studio: Hydrologen), Planungsbüros, Bevölkerung
Zeitraum / Zeitpunkt	2018
AR oder VR?	AR
Prototypisch oder operativ?	Prototyp
Softwarekomponenten	Vuforia (AR SDK)
Hardwarekomponenten	Android Endgerät
Verwendete Daten	<p>Höhenmodell, Daten zu Bauten zwecks Maskierung</p> <p>Das Ausmass des Hochwassers (Höhe der Wasseroberfläche) kann im Feld variiert werden. Zudem ermöglicht die App die Erfassung von weiteren Daten (zum Beispiel Annotationen).</p>
Website / Links / Literatur	Haynes, Hehl-Lange, Lange 2018: Mobile Augmented Reality for Flood Visualisation, <a href="https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.012">https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.012</a>

## 4.1.5 Visualisierungen von Windkraftwerken



Trägerschaft	Bentley University (MA, USA), Tetra Tech (VA, USA)
Kurzbeschreibung	<p>Im Projekt wurde untersucht, wie sich eine multimodale und immersive VR-Visualisierung eines Windkraftwerks auf die Erwartungen und Ansichten zu Windenergie generell und zum Bau von Windkraftwerken auswirkt.</p> <p>Die allgemeine Zustimmung der Bevölkerung für den Bau von neuen Windkraftwerken ist hoch, die lokale Akzeptanz für neue Bauprojekte durch Anwohnerinnen und Anwohner hingegen meist tief. Untersuchungen haben festgestellt, dass die Erwartungen bezüglich der Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Landschaftsbild und auch akustisch meist unzutreffend sind, aber gleichzeitig die Diskussionen vor Ort bestimmen.<sup>79</sup> Professionelle Visualisierungen werden häufig erst in späteren Projektphasen veröffentlicht, wenn Unsicherheiten bezüglich der Grösse der Anlagen geklärt sind<sup>80</sup> Dann ist es aber oft zu spät, die Meinungen sind schon gebildet.</p> <p>Mit VR können Grössenverhältnisse und (wenn vorgesehen) die Akustik der Anlagen realistisch dargestellt werden. Anwohnerinnen und Anwohner können sich mit VR ein realistisches Bild des Projekts verschaffen. Traditionelle Medien wie 3D-Visualisierungen, textuelle Beschreibungen und 2D-Videos vermitteln dagegen nur einen Teil der notwendigen Information, die Lücken müssen die Betroffenen selbst schliessen – was oft in nicht realistischen Annahmen resultiert.</p> <p>Das Projekt hat festgestellt, dass VR-Visualisierungen in denjenigen Bevölkerungsgruppen am meisten Nutzen bringen, die nur wenige oder keine Erfahrung mit Windkraftwerken haben.<sup>81</sup> Die Studie attestiert der Wirkung einer VR-Visualisierung einen hohen Nutzen bezüglich der Haltung der Bevölkerung gegenüber dem Bau von Windkraftwerken. Es gab keine Teilnehmenden, die nach der VR-Anwendung eine negativere Meinung gegenüber Windkraftwerken hatten.</p> <p>In der Praxis sind ausser Proof of Concepts bisher aber nur wenige VR-Projekte zu Windkraftwerkprojekten zu finden. In der Schweiz</p>

<sup>79</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629620300840>

<sup>80</sup> Kauling, Taeger 2021: Frühzeitige Visualisierung in Planungsprozessen – ein Dilemma und mögliche Lösungsansätze durch flexible partizipative Ansätze am Beispiel der Windenergie

<sup>81</sup> Cranmer 2020: Worth a thousand words

	wurde von einem erfolgreichen Windkraftwerk-Projekt Lutersarni eine VR-Visualisierung umgesetzt, um das Projekt besser erlebbar zu machen. Es wurde aber das Erlebnis im und auf dem Kraftwerk vermittelt, keine Ansicht aus weiter Entfernung (vgl. Links).
Zielpublikum	Experten und Bevölkerung
Zeitraum / Zeitpunkt	2018–2019
AR oder VR?	VR
Prototypisch oder operativ?	Prototyp
Softwarekomponenten	Software basierend auf Unity3D
Hardwarekomponenten	HTC Vive
Verwendete Daten	Es wurde ein 360° Video eines bestehenden Windkraftwerkes aufgenommen (Windkraftwerk mit 660 kW Leistung in Hull, MA, USA) mit einer Kamera vom Typ Insta360 Pro. Während der Bildaufnahme wurde auch das Geräusch der Windturbine aufgenommen. Das Geräusch der Windturbine wird den Nutzenden abhängig vom Bildausschnitt, der betrachtet wird, präsentiert.
Website / Links / Literatur	<p>Cranmer 2020: Worth a thousand words: Presenting wind turbines in virtual reality reveals new opportunities for social acceptance and visualization research, <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629620300840">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629620300840</a></p> <p>VR Visualisierung Windkraftwerk Lutersarni (CKW): <a href="https://www.youtube.com/watch?v=cfGnYkT4iXM">https://www.youtube.com/watch?v=cfGnYkT4iXM</a></p> <p>Kauling, Taeger 2021: Frühzeitige Visualisierung in Planungsprozessen – ein Dilemma und mögliche Lösungsansätze durch flexible partizipative Ansätze am Beispiel der Windenergie</p> <p>Projekt MoDal-MR: Beispiel für AR in der Landschaftsarchitektur: Beispielprojekt für Planung von Windkraftwerken, <a href="https://www.youtube.com/watch?v=AWv9k9XtE18">https://www.youtube.com/watch?v=AWv9k9XtE18</a></p> <p>AR App zur Visualisierung von Windkraftanlagen, <a href="https://www.enbw.com/unternehmen/presse/augmented-reality-fuer-visualisierung-von-windkraftanlagen.html">https://www.enbw.com/unternehmen/presse/augmented-reality-fuer-visualisierung-von-windkraftanlagen.html</a></p>



#### 4.1.6 Planung in der Landschaftsarchitektur: Schulanlage Sonnenberg in Adliswil



Trägerschaft	Planikum, Stadt Adliswil, Liegenschaften, Oxid Architektur GmbH (ehem. burkhalter sumi architekten)
Kurzbeschreibung	<p>Das Landschaftsarchitektur und Umweltplanungsbüro Planikum hat die Visualisierung der geplanten Gebäude in der Schulanlage Sonnenberg in Adliswil während des Planungsprozesses genutzt. Folgende Prozessschritte wurden mit VR-Visualisierung unterstützt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Visualisierung von speziellen Stellen projektintern für Planerinnen und Planer während des Planungsprozesses (auf Knopfdruck in der Planungssoftware Revit über Enscape)</li> <li>— Visualisierung für Abstimmungsmeetings mit dem Bauherrn (vor allem in frühen Phasen des Projekts, bis Baueingabe)</li> <li>— Visualisierung an Sitzungen mit Stakeholdern, zum Beispiel Gemeinderatssitzungen</li> </ul> <p>Der Aufwand für die Bereitstellung der VR-Visualisierungen entstand vor allem bei der Erzeugung des 3D-Modells und der Modellierung der Umgebung. Die Generierung von VR-Visualisierungen mittels Revit-Plugin Enscape wurde durch die Projektverantwortlichen als einfach eingestuft.</p> <p>Die Nutzung der VR-Visualisierung durch die Planerinnen und Planer selbst ist als nützlich eingestuft worden, allerdings nur für komplexe Orte im Bauprojekt. Die VR-Visualisierung für den Bauherrn wurde auch als nützlich betrachtet, um zum Beispiel Mauerhöhen oder Übergänge in den öffentlichen Raum besser einschätzen zu können. Die Akzeptanz der VR-Brille in den Gemeinderatssitzungen war aber durchwachsen: Nicht alle Teilnehmenden wollten die Brille nutzen, teilweise aus sozialen Gründen (Die Nutzerin oder der Nutzer fühlt sich «ausgestellt» oder beobachtet) und aus hygienischen Überlegungen (Schwitzen). Projekträume mit Multiprojektor-Panoramadisplays sind für diesen Nutzungskontext aktuell besser akzeptiert.</p>
Zielpublikum	Architektinnen und Planer, Bauherr bzw. Bauherrenvertretung, andere fachexterne Stakeholder
Zeitraum / Zeitpunkt	Planung: 2016–2017, Bau 2019–2021

AR oder VR?	VR
Prototypisch oder operativ?	operativ
Softwarekomponenten	Revit Autodesk, Civil3D, Enscape, SteamVR
Hardwarekomponenten	VR-Brille Oculus
Verwendete Daten	3D-Modell des geplanten Gebäudes, Nachmodellierungen markanter topografischer Objekte und Strukturen wie Wälder oder einzelne Bäume (teilweise werden existierende Modelle aus Software verwendet), Nachmodellierungen von Werkleitungen mit Normhöhen (da die korrekten Höhen nicht bekannt waren), Terrainmodelle und Oberflächenmodelle (LiDAR), Amtliche Vermessung und 3D-Gebäude von Swisstopo in verschiedenen Detaillierungsstufen
Website / Links / Literatur	<a href="https://planikum.ch/projekt/schulanlage-sonnenberg-adliswil">https://planikum.ch/projekt/schulanlage-sonnenberg-adliswil</a>



## 4.2 Erfahrungen mit AR und VR bei Schweizer Behörden und Firmen

Erfahrungen mit AR und VR in Schweizer Behörden und Schweizer Firmen wurden in Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern von Institutionen, die AR und VR anwenden, sowie von Lösungsanbietern bzw. Systemherstellern erhoben. Die Interviews wurden anhand eines mit dem Auftraggeber abgestimmten Interview-Leitfadens geführt.

In der Folge sind die zentralen Erkenntnisse aus den zu Zielen und Potenzialen von AR- und VR-Anwendungen, aktuellen und geplanten Projekten, eingesetzten Technologien und Herausforderungen sowie Erfolgsfaktoren zusammengefasst. Nicht-anwendungsspezifische Best Practices und Einschätzungen zu Trends im Bereich AR und VR sind separat und über alle Interviewpartner gemeinsam dokumentiert. Folgende Institutionen und Personen wurden interviewt (Tabelle 8).

Name	Organisation	Interview
Michael Zwick	Swisstopo	25.11.2021
Robin Dittli, Francine Rotzetter	Raumgleiter	29.11.2021
Christian Hürzeler, Tobias Frey	Stadt Zürich, Hochbaudepartement, Amt für Städtebau	01.12.2021
Diemer Cohen Stuart	V-Labs	07.12.2021
Joe Scheidegger, Günhan Akarçay	SBB, Center of Competence XR	08.12.2021
Taisha Fabricius, Jonas Shriqui	Esri R&D	16.12.2021

Tabelle 8: Interviewte Personen bei Organisationen mit AR- und VR-Anwendungsfällen bzw. -Produkten

### 4.2.1 Swisstopo

#### Allgemein

Die interviewte Person, Michael Zwick, arbeitet in einem kleinen Innovationsteam mit Fokus auf GIS und Visualisierungen. Die Hauptaufgabe dieses Teams ist die Bereitstellung von Geoinformationen für die private Nutzung und die Nutzung in Behörden.

Für XR-Themen und -Projekte gibt es bei Swisstopo aktuell kein eigenständiges Team, allerdings gab es ein Projektteam «Weiterentwicklung AR». Ziel des Projekts «Weiterentwicklung AR» für Swisstopo war es, den aktuellen Stand der AR-Technologie zu analysieren, Erfahrungen in der Nutzung von Geodaten für AR zu gewinnen und mit verschiedenen Showcases das Potenzial von AR aufzeigen zu können. Ein Fokus lag dabei unter anderem auf der exakten Positionierung im Aussenraum.

Swisstopo ist im Wesentlichen – ausserhalb des spezifischen Projektkontexts – dafür zuständig, amtliche Geodaten in für relevante Nutzungen kom-

patiblen Formaten bereitzustellen und damit arbeitende Fachleute wie Entwicklerinnen und Entwickler – beispielsweise anderer Bundesämter – nach Möglichkeit in der Nutzung der Geodaten zu unterstützen und zu beraten. Michael Zwick ist dabei die primäre Ansprechperson für XR-Anfragen an Swisstopo. Einen eigenen Entwicklungsauftrag für XR-Anwendungen hat aber Swisstopo nicht – daher gibt es auch keine definierte XR-Strategie.

### Technologie und Entwicklung

Für die Entwicklung von Applikationen verwendet Swisstopo meistens Unity, da es in dieser Umgebung besonders einfach ist, eine Applikation auf unterschiedliche Betriebssysteme und Geräte auszurollen. Die Aufbereitung von Geodaten wird meistens in FME vorgenommen, gesteuert mit Python-Code. Besonders die Python-Library von Esri ArcGIS, *arcpy*, kommt für die Vorprozessierung zum Einsatz.

Eine wichtige Frage bei XR-Anwendungen ist die Datenreduktion. Dass die Applikation während der Nutzung flüssig läuft, ist in der Regel wichtiger als eine hohe Auflösung der Daten. Daher muss häufig beispielsweise auf TIN-Generalisierung, Kachelung oder unterschiedliche LoDs zurückgegriffen werden. Allerdings ist das genaue Vorgehen immer stark von den jeweiligen Daten und der spezifischen Anwendung abhängig, so dass keine global gültigen Vorgaben formuliert werden können.

### Projekte

Im Rahmen des Projekts «Weiterentwicklung AR» wurden durch Dienstleister von Swisstopo drei verschiedene AR-Showcase-Anwendungen<sup>82</sup> erstellt, die im Folgenden kurz zusammengefasst sind:

#### *Showcase «Präsentation Bauvorhaben»*

In diesem Showcase wurde in Zusammenarbeit mit der Firma afca eine browserbasierte Applikation entwickelt, um 3D-Geodaten von Swisstopo aus einem Gebiet zu beziehen, diese mit eigenen georeferenzierten 3D-Modellen anzureichern und sie anschliessend dreidimensional in einem Tabletop-Modell visualisieren zu können (Abbildung 28). Die intendierte Anwendung ist, die Visualisierung von geplanten Bauvorhaben im jeweiligen städtebaulichen und architektonischen Kontext. Der Showcase bindet Geländedaten von Swisstopo aufgrund technischer Schwierigkeiten filebasiert, statt als Service, ein. Texturen (Orthophotos) werden allerdings via einen Web Map Service (WMS) bzw. Web Map Tile Service (WMTS) der Swisstopo einge spielt.

<sup>82</sup> <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geoinformation/augmented-virtual-reality/augmented-reality.html>

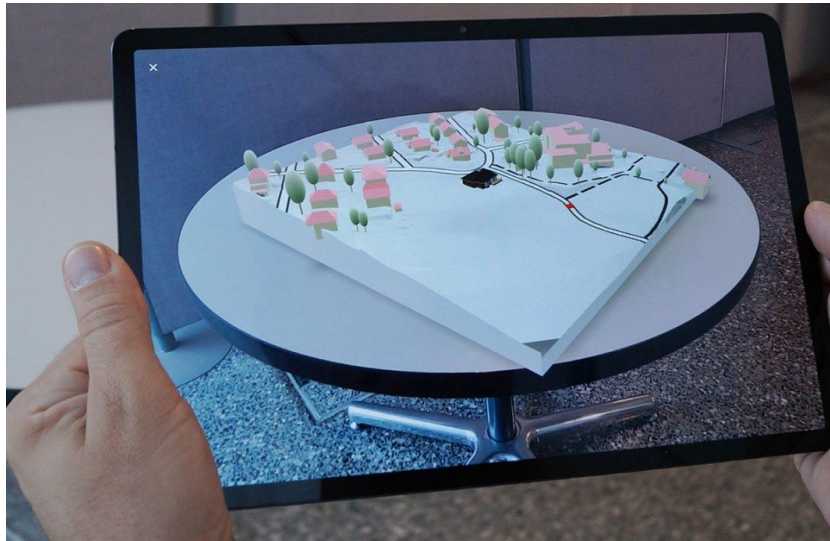


Abbildung 28: AR-Showcase «Präsentation Bauvorhaben» (Bild: Swisstopo)

### *Showcase «Entdeckung Untergrund»*

Im Showcase «Entdeckung Untergrund» wurde gemeinsam mit der Firma GiGa infosystems eine iOS-Applikation entwickelt, um geologische Gegebenheiten und Phänomene unter der Erdoberfläche mithilfe von AR darzustellen. Der Showcase kann mehrere Smartphones miteinander verknüpfen, so dass dieselben geologischen Daten aus den jeweiligen subjektiven Blickwinkeln der Smartphone-Nutzenden angezeigt werden (Abbildung 29).

Die Geodaten der Landesgeologie werden von einem Server in die iOS-Applikation eingebunden: Die Daten werden im .gst-Datenformat auf einem Server hinterlegt und dynamisch angezogen.

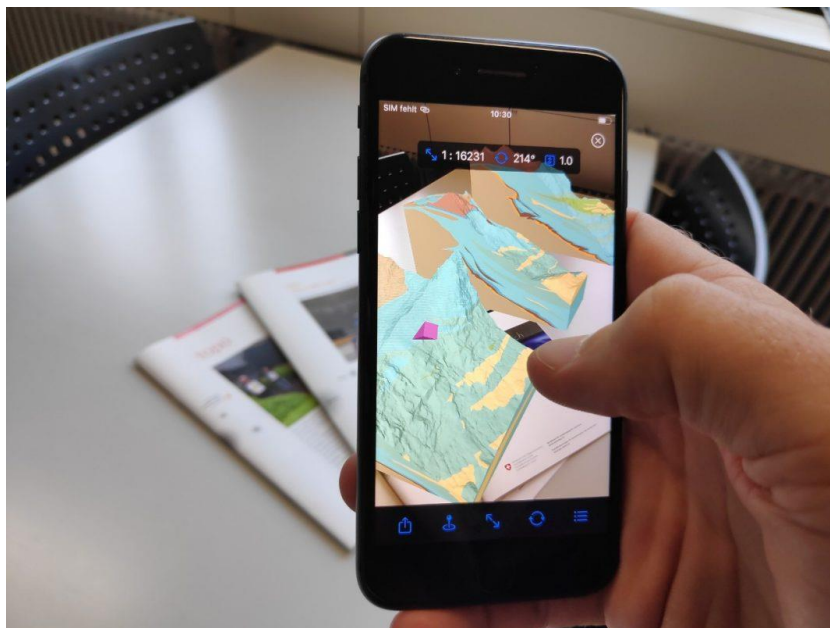


Abbildung 29: AR-Showcase «Entdeckung Untergrund» (Bild: Swisstopo)

## Showcase «HoloLens und swipos»

In Zusammenarbeit mit der Firma V-Labs (vgl. Kapitel 4.2.6) wurde eine Applikation für die Microsoft HoloLens 2 entwickelt, mit der unsichtbare Objekte wie zum Beispiel Grenzen oder geplante Leitungsverläufe in Kontext der echten Welt georeferenziert angezeigt werden können (Abbildung 30). Bei «HoloLens und swipos» handelt es sich also – im Gegensatz zu den ersten beiden Showcases – um eine MR-Anwendung, nicht um eine AR-Anwendung im weiteren Sinn.

Durch die Kombination mit dem Positionierungsservice swipos der Swisstopo können die Geodatenelemente innerhalb der Anwendung mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich über die Realität überlagert werden. Die Geodaten können dabei allerdings nur filebasiert eingebunden werden.



Abbildung 30: AR-Showcase «HoloLens und swipos» (Bild: Swisstopo)

Neben den drei AR-Anwendungen im Rahmen des Projekts «Weiterentwicklung AR» hat die Swisstopo bzw. Michael Zwick Erfahrungen mit weiteren Umsetzungen von AR- und VR-Apps, vor allem aus den folgenden beiden Projekten:

- **Swisstopo VR App<sup>83</sup>:** In der Swisstopo VR App können Fotos und digitale 3D-Modelle von ausgewählten Orten in der Schweiz im 360° Panoramamodus angeschaut werden. Dabei werden 3D-Daten von Swisstopo mit Photographien kombiniert, um ein realistisches 3D-Gefühl zu erzeugen.
- **GeodataLab<sup>84</sup>:** Das GeodataLab von Swisstopo (Abbildung 31) kann im Rahmen einer Betriebsführung bei Swisstopo besucht werden. Herzstück des GeodataLabs ist ein sechseckiger Tisch, welcher mit acht Microsoft HoloLens 2 ausgestattet ist und eine Karte der Schweiz

<sup>83</sup> <https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geoinformation/augmented-virtual-reality/virtual-reality.html>

84 <https://iart.ch/en/work/swisstopo>

anzeigt. Durch diese HoloLenses können Daten über die Karte überlagert werden und aus mehreren Blickwinkeln synchronisiert durch die HoloLens-Trägerinnen und -Träger betrachtet werden.



Abbildung 31: Der HoloLens-Tisch im GeodataLab von Swisstopo (Bild: iart)

### Fazit und Ausblick

Aktuell gibt es bei Swisstopo keine Pläne, weitere eigene XR-Applikationen zu entwickeln. Jedoch wird mit einer Vielzahl von neuen Anfragen in Zukunft gerechnet, da das Thema XR überall präsent(er) wird. Potenzial wird vor allem in den Themen Tiefbau, Hochbau und Simulationen oder Training (zum Beispiel von Sicherheitsorganen) gesehen. Zudem könnte AR Swisstopo bei Feldbegehungen unterstützen, um beispielsweise bereits vermessene Fixpunkte im Feld schneller aufspüren zu können.

Als Herausforderung wurde wahrgenommen, dass die Anfragen an Swisstopo zum Thema XR so vielseitig sind, dass es mit der aktuellen Technologie unmöglich ist, eine einzige vorgefertigte Lösung anzubieten. Stattdessen müssen für jeden Kunden massgeschneiderte Konzepte ausgearbeitet und umgesetzt werden.

Die Ergebnisse der Showcases aus dem Projekt «Weiterentwicklung AR» werden bei Swisstopo nicht als voller Erfolg wahrgenommen: Man sieht signifikante Probleme und Herausforderungen durch mangelnde Inkompatibilität und Interoperabilität verschiedener Software- und Hardware-Komponenten. Zudem war die Erstellung der AR-Applikationen vergleichsweise aufwändig und diese bieten dafür oft nur beschränkten Mehrwert gegenüber klassischen 2D- oder 3D-Anwendungen. Michael Zwick geht davon aus, dass AR in manchen Anwendungsfällen dazu beitragen kann, die Effizienz von Prozessen zu steigern, aber in sehr vielen Fällen sind die Ergebnisse zwar spannend und visuell attraktiv, die Projekte lassen sich aus strikter Kosten-Nutzen-Sicht aktuell aber nur schwer amortisieren bzw. rechtfertigen.

## 4.2.2 Stadt Zürich

### Allgemein

Die beiden Interviewpartner, Christian Hürzeler und Tobias Frey, arbeiten im GIS-Kompetenzzentrum der Stadt Zürich, das zum Departement Hochbau gehört. Sie sind dabei als Projektleiter bzw. als Experte für 3D-GIS und XR-Anwendungen tätig.

Grundsätzlich sind die GIS-Tätigkeiten und -Dienstleistungen innerhalb der Stadt Zürich dezentralisiert organisiert, sprich jedes Departement verfügt über Spezialistinnen und Spezialisten im Thema. In der Praxis hat sich jedoch durch eine starke Bündelung von Knowhow das GIS-Kompetenzzentrum im Amt für Städtebau herausgebildet.

Grundsätzlich sollen Ideen für neue Projekte zu den Themen GIS- und XR-Anwendungen in den Fachabteilungen entstehen. In der Praxis funktioniert dieses Prinzip zum aktuellen Standpunkt noch nicht wie gewünscht, so dass erste Impulse und Anregungen für XR-Projekte in der Regel vom Kompetenzzentrum geleistet werden müssen.

Die bisher realisierten Projekte hatten meist zum Ziel, dass bestehende analoge Prozesse durch neue XR-gestützte Abläufe und Methoden zu unterstützen oder zu ersetzen. Als grosses Potenzial werden Kosteneinsparungen und ökologische Aspekte vorgebracht. Beispielsweise lassen sich im Bereich des Städtebaus und bei Architekturwettbewerben Herstellung, Transport und Ausstellung grosser und schwerer Gipsmodelle durch die Verwendung von XR-Modelle komplett ablösen.

### Technologie und Entwicklung

Die Stadt Zürich begann 2016 mit der Entwicklung der AR-Applikation «HoloPlanning». Die Applikation kann grundsätzlich alle Arten von 3D-Daten visualisieren, der Fokus liegt aber klar bei Geodaten. In der Stadt Zürich bauen diverse spezifische Anwendungen auf HoloPlanning auf (in manchen Fällen kommen aber auch spezifisch beschaffte bzw. entwickelte Spezialanwendungen zum Einsatz, beispielsweise bei der VR-gestützten Einsatzschulung der Stadtpolizei).

Die Clouddienste laufen über Microsoft Azure und für die Softwarekomponente wird auf Unity3D zurückgegriffen. Für die Entwicklung von AR-Applikationen für mobile Endgeräte werden die Technologien AR-Core und AR-Kit eingesetzt. Die interviewten Personen halten generell fest, dass die Angebote von Herstellern aus der Gaming-Branche den Angeboten von Herstellern aus anderen Branchen aktuell technologisch klar überlegen sind.

Bei den aktuellen Projekten der Stadt Zürich werden die benötigten Daten a priori auf die Brillen geladen und es wird lediglich eine Internetverbindung für die Kommunikation mit anderen Brillen benötigt. Für Architekturmodelle wird meist das IFC-Format verwendet, während das Format FBX für sonstige 3D-Anwendungen benutzt wird. Die Datentransformationen erfolgen mittels FME und CityEngine. Die Datenaufbereitung empfinden die interviewten Personen als technisch schwierig. Beispielsweise sind die Ergebnisse von Algorithmen zur Vereinfachung von 3D-Modellen nicht immer befriedigend.



Bei Datentransformationen werden so oftmals gewisse manuelle Nachbearbeitungsschritte notwendig.

Mittelfristig hat sich die Stadt zum Ziel gesetzt, dass die Brillen über Liveverbindungen mit Inhalten versorgt werden. In diesem Modell sollen dereinst alle Berechnungen von Inhalten auf einem Server laufen und bloss die Ergebnisse, d.h. die Visualisierung, auf die Brillen gestreamt werden (vgl. dazu die Ausführungen der SBB in Kapitel 4.2.3).

### **Projekte**

Im Folgenden werden einige Projekte und prototypische Anwendungen genannt, in denen die Stadt Zürich XR nutzt bzw. testet.

#### *Aufbau eines digitalen Stadtmodells*

Ein digitales Stadtmodell (Abbildung 32) soll das bestehende grosse Stadtmodell der Stadt Zürich (im Umfang von 100 m<sup>2</sup>) aus Holz und Gips ersetzen. Mit dem digitalen Stadtmodell wurden für erste Bauprojekte bereits Architekturwettbewerbe ausschliesslich digital durchgeführt. In diesen Wettbewerben werden die teilnehmenden Firmen darauf verpflichtet, ihre Entwürfe digital abzugeben, und damit vom Bau physischer Modelle entlastet.



Abbildung 32: Digitales Stadtmodell (Bild: Stadt Zürich)

#### *AR-Anwendung Pfahlbausiedlung*

Das Departement Archäologie nutzt eine AR-Anwendung, um für interessierte Privatpersonen eine historische Pfahlbausiedlung im Gebiet des Sechseläutenplatzes zu visualisieren (Abbildung 33). Die Anwendung erlaubt es, die historischen Gebäude in der heutigen Zeit zu erkunden, und dient der Bildung und Sensibilisierung für archäologische Anliegen.





Abbildung 33: Darstellung von Pfahlbauten auf dem Sechseläutenplatz in einer AR-Anwendung (Bild: Geografisches Institut der Universität Zürich)

#### *VR-Anwendung für Verkehrssicherheit*

Die Abteilung Verkehrssicherheit der Stadt Zürich nutzt eine VR-Anwendung, um Präventionsarbeit im Bereich Verkehrssicherheit zu leisten. In der VR-Anwendung können Personen die Perspektive von Lastwagenfahrerinnen und -fahrern bei der Fahrt in der Stadt im gemischten Verkehr mit Velofahrenden einnehmen.

#### *VR-Anwendungen für die Einsatzschulung und Verbrechensaufklärung*

Die Stadtpolizei Zürich nutzt XR-Anwendungen zur Schulung der Polizeicorps der Stadt Zürich für spezielle Einsätze wie etwa Geiselnahmen (Abbildung 34).



Abbildung 34: VR-Training der Stadtpolizei Zürich (Bild: Stadtpolizei / digitaltag.swiss)

Das forensische Institut nutzt XR-Anwendungen für die Unterstützung der Staatsanwaltschaft im Bereich der Verbrechensaufklärung. Durch solche Anwendungen soll beispielsweise geklärt werden, ob eine Person über ein bestimmtes Hindernis sehen konnte.

### Diverse

Verschiedene Projekte unterstützen mittels XR-Anwendungen die unterschiedlichen Stakeholder (Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Bevölkerung) bei Neu- oder Umbauprojekten. Beispielsweise nutzen die VBZ eine XR-Anwendung, beim Neubau einer Tramlinie zum einen für die Vermittlungsarbeit gegenüber der Bevölkerung und zum anderen für die visuell unterstützte Planung der Strecke (Abbildung 35).



Abbildung 35: Das Tram Affoltern in einer AR-Anwendung der VBZ (Bild: VBZ)

Das ewz und die VBZ planen die Implementierung von weiteren XR-Anwendungen, die aber keinen Geodatenbezug aufweisen dürften. So sollen beispielsweise Servicetechnikerinnen und Servicetechniker bei ihrer Arbeit unterstützt werden, indem Wartungsanweisungen per AR-Anwendung bereitgestellt und physische Unterlagen abgelöst werden.

### Fazit und Ausblick

Die Stadt Zürich ist mit den bisher durchgeführten XR-Projekten zufrieden und wird bestimmte weitere Anwendungen in diesem Bereich realisieren mit dem übergeordneten Ziel, in der Regel eine Ergänzung zu den bisherigen Werkzeugen zu bieten und diese nicht generell zu ersetzen.

Laut den interviewten Personen zeigen sich die Anwenderinnen und Anwender der XR-Applikationen meist sehr begeistert von den neuen technischen Möglichkeiten. Negativ aufgefallen ist, dass es manchen Nutzenden bei reinen VR-Anwendungen etwas übel wird; dies ist bei AR-Anwendungen nicht der Fall. Weiter fiel auf, dass die Nutzenden teilweise Mühe damit bekunden, sich durch Tragen eines Headsets vollständig von der Umgebung abzuschotten. Der Austausch zwischen mehreren Personen ist erschwert, wenn jede Person ihr Headset angezogen hat. Zuletzt konnte ein gewisses Schamgefühl beobachtet werden: Die Nutzerinnen und Nutzer bekunden etwas Mühe mit der Tatsache, dass sie allfällige weitere beobachtende Personen wegen des Headsets selbst nicht sehen können.

Für die erfolgreiche Umsetzung und Einführung von XR-Applikationen erachten die Interviewten es als besonders wichtig, dass Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie Nutzende so bald wie möglich ein Mi-

nimum Viable Product (MVP) zum Ausprobieren in die Hände gegeben werden kann. Es gelte klar: Praxis vor Theorie. Weiter muss speziell am Anfang der Nutzung von XR ein signifikanter Effort geleistet werden, um in den diversen Departementen der Stadtverwaltung sinnvolle Projekte zu identifizieren, zu planen und zu initiieren. Kritische Stakeholder im Management liessen sich durch das Aufzeigen von Einsparpotenzialen überzeugen.

### 4.2.3 SBB

#### Allgemein

Die interviewten Personen, Günhan Akarçay und Joe Scheidegger, arbeiten im Kompetenzzentrum Extended Reality der SBB. Vor einigen Jahren wurden bei der SBB die «Schlüsseltechnologien der Zukunft» identifiziert. Als eine dieser Schlüsseltechnologien schaut die SBB XR an. Um das Thema weiter zu erforschen, wurde das Kompetenzzentrum Extended Reality innerhalb der SBB gegründet. Das Kompetenzzentrum soll Antworten liefern auf die Frage, wie XR der SBB helfen kann und in welchen Kontexten sich welche XR-gestützten Anwendungen erfolgreich einsetzen lassen.

#### Technologie und Entwicklung

Für die Entwicklung von Applikationen verwendet die SBB Unity. Je nach Anwendungsfall und Hardware kommen dabei unterschiedliche Plugins zum Einsatz. Als Endgeräte hat die SBB schon eine Vielzahl von AR-Geräten getestet, beispielsweise Smartglasses wie die Microsoft HoloLens, aber auch Smartphones und Tablets.

Grundsätzlich versucht das Kompetenzzentrum der SBB stets, mit Partnern zusammenzuarbeiten, wenn gewünschte Komponenten bereits irgendwo angeboten werden. Eigene XR-Entwicklungen sollen nur angestrebt werden, wenn keine bestehenden Lösungen gefunden (und allenfalls adaptiert) werden können.

Geodaten bezieht das Kompetenzzentrum häufig im GeoJSON-Format. Mit diesem Format und der genutzten Software und Plugins, ist keine Umwandlung nötig. Datentransformationen umfassen vor allem die Umprojizierung zwischen Koordinatensystemen. Für Standalone-AR-Headsets, wie beispielsweise die Oculus Quest oder Microsoft HoloLens, müssen die Daten in den meisten Fällen noch ausgedünnt werden. Für diese Datentransformation nutzt die Software Blender, mit der die Prozessierungen halbautomatisch vorgenommen werden können. Häufig ist die Generalisierung der Daten aber auch mit viel manueller Arbeit verbunden.

Für viele XR-Anwendungen innerhalb der SBB werden die Daten jeweils vor der Nutzung auf das jeweilige Endgerät heruntergeladen. In manchen Fällen werden aber Dienste benutzt. Die interviewten Personen nennen Dienste von Esri als Beispiel. Zum Teil kommen auch Remote Rendering-Dienste von Microsoft<sup>85</sup> zur Anwendung. Diese Dienste rendern 3D-Inhalte auf der Infrastruktur von Microsoft und streamen die gerenderten Inhalte anschließend auf ein kompatibles Endgerät wie die HoloLens 2 (vgl. Kapitel 2.11).

<sup>85</sup> <https://azure.microsoft.com/en-us/services/remote-rendering>

Für die Positionierung werden verschiedene Visual Positioning Systems bzw. Marker-basierte Positionierung inklusive (für Indoor-Anwendungen) Beacons (vgl. Kapitel 2.9.4) eingesetzt. Daneben kommen aber auch GNSS- und WLAN-Positionierung zur Anwendung. Die Firma V-Labs (Kapitel 4.2.6) wurde als Partner für die Bereitstellung von AR-Positionierung evaluiert und als interessant eingestuft.

### Projekte

Die SBB hat bisher vor allem Proof-of-Concept-Projekte (PoCs) durchgeführt. Hauptziel dabei ist es, mithilfe von AR einen Mehrwert für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und/oder den Kundenkreis der SBB zu generieren und interne Arbeitsprozesse zu optimieren.

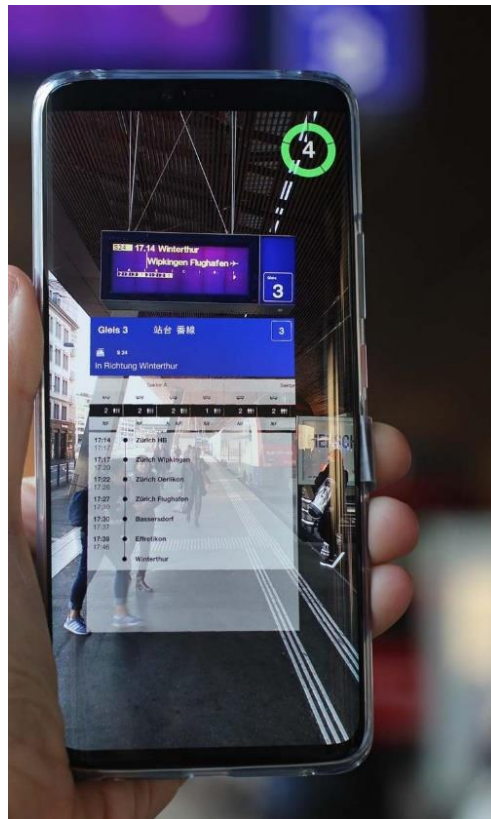


Abbildung 36: SBB AR Preview App mit Fahrplaninformationen, die auf das aktuelle Gleis des Zürcher Hauptbahnhofs abgestimmt sind (Bild: SBB)

2018 publizierte die SBB eine Android-App (SBB AR Preview App; Abbildung 36) im Google Play Store, die mithilfe des Google VPS ein Smartphone innerhalb des Zürcher Hauptbahnhofs durch die Kamera positionieren konnte. Anhand der aktuellen Position und Ausrichtung konnten dann Informationen zu Gleisen bzw. Halteketten, Shops oder Fahrpläne mit hoher räumlicher Genauigkeit dargestellt werden. Ausserdem ermöglichte die App auch eine AR-unterstützte Navigation durch den Zürcher Hauptbahnhof. Allerdings ist laut den interviewten Personen seit 2020 keine externe Nutzung von Googles VPS mehr möglich, weshalb die App wieder aus dem Play Store entfernt werden musste.

In einem aktuell laufenden Pilotprojekt sollen Geodaten aus SBB-internen Datenbanken angezogen werden, um sie als Layer in einer AR-Umgebung

darstellen zu können. Die Positionierung läuft dabei bisher über Marker. Die Funktionalität dafür ist bereits umgesetzt – aktuell werden Use Cases innerhalb der SBB für eine solche Applikation analysiert.

Andere PoCs thematisieren vor allem die Navigation innerhalb von Bahnhöfen und Bahnhofarealen oder sollen Wartungsarbeiten und Störungsbehebungen unterstützen.

### **Fazit und Ausblick**

Das Kompetenzzentrum Extended Reality hat laut den interviewten Personen für die SBB ein sehr grosses Potenzial für die Nutzung von XR, insbesondere AR, ausgemacht. Bislang verliefen die Analysen von potenziellen Anwendungsfällen allerdings noch stark prototypisch und konzeptionell; als nächster Schritt möchte die SBB das erkannte Potenzial vermehrt durch konkrete Umsetzungen untermauern.

Bei den PoCs wurde seitens der XR-Konzeption und -Entwicklung eng mit UX-Teams zusammengearbeitet. Privatpersonen konnten sich freiwillig für Nutzendentests der SBB anmelden. Die Akzeptanz für AR auf Smartphones oder Tablets ist gemäss den Beobachtungen der SBB bei Nutzerinnen und Nutzern von Beginn weg sehr hoch. Das Tragen eines Headsets hingegen war für die meisten Nutzerinnen und Nutzer anfangs noch sehr ungewohnt und teilweise unangenehm. Ausserdem wurde in Tests beobachtet, dass Drittpersonen sich häufig gefilmt fühlen, wenn eine Nutzerin oder ein Nutzer mit einer AR-Applikation auf einem mobilen Endgerät an ihnen vorbeigeht.

Als Wünsche für die Zukunft nannten die interviewten Personen vor allem weitere Verbesserungen im Bereich der Positionierung von AR-Geräten, mehr Interaktion mit den dargestellten Daten (anstatt nur Visualisierung) und eine automatisierte Datenaufbereitung für XR-Anwendungen. Als mögliche zukünftige Anwendungsbereiche für XR bei der SBB wurden vor allem die Zusammenarbeit mit Herstellern von Bauteilen für Konstruktion und Wartung oder der XR-unterstützte Einsatz teil-automatisierter Fahrzeuge im Cargo-Bereich genannt.

## **4.2.4 Raumgleiter**

### **Allgemein**

Die interviewten Personen, Francine Rotzetter und Robin Dittli, sind bei Raumgleiter im Bereich VR-Entwicklung bzw. Real-Time-Rendering tätig.

Raumgleiter bietet vor allem Lösungen an, die bei der Entscheidungsfindung – in mehreren thematischen Bereichen – helfen sollen. Dabei ist der Entwicklungsprozess sehr marktgesteuert, wobei den Kunden sowohl «Out of the Box»-Lösungen als auch massgeschneiderte Software angeboten werden. Die Kunden von Raumgleiter sind sowohl in der öffentlichen Verwaltung als auch in der Privatwirtschaft zu finden.

In erster Linie werden bei Raumgleiter VR-Applikationen entwickelt. Dabei liegt der Fokus vor allem auf der Visualisierung von dreidimensionalen Daten, die sich in einer virtuellen Umgebung besser darstellen und vermitteln lassen als auf einem zweidimensionalen Bildschirm. AR-Applikationen sind

zwar auch Teil des Portfolios von Raumgleiter, aber nicht im Fokus der Entwicklungen.

### **Technologie und Entwicklung**

Für die Entwicklung von Applikationen nutzt Raumgleiter in erster Linie Game Engines. Dabei ist Unity meistens die erste Wahl für AR-Applikationen, während Unreal Engine für VR-Applikationen bevorzugt wird.

Daten zur Gebäudearchitektur gelangen oft in Form von PDF-Plänen zu Raumgleiter und werden in der Folge meist in CAD-Programmen (ArchiCAD) manuell zu 3D-Modellen aufbereitet. Das geläufigste Datenformat für die Integration in Game Engines und damit in die XR-Applikationen ist dann FBX.

Zusätzliche Geodaten stammen meist aus dem Angebot von Swisstopo. Dabei handelt es sich in der Regel um Daten zu Gebäuden (swissBUILDINGS3D 2.0, um Höhendaten und um Texturen (Orthophotos und andere Layer via WMTS).

Beim Bezug von Swisstopo werden die benötigten Daten (in den relevanten räumlichen Ausschnitten) via API heruntergeladen. Leider ist die Datenbereitstellung seitens Swisstopo nicht für die Zwecke von Raumgleiter optimiert. Beispielsweise bietet Swisstopo verschiedenen Bestandteile von 3D-Modellen aufgesplittet an, die zudem zum Teil in unterschiedlichen Koordinatensystemen vorliegen. Die unterschiedlichen Koordinatensysteme bedingen aufwändige Umprojizierungen. Ausserdem ist das von Swisstopo verwendete 3D-Format für die Auslieferungen von Gebäudedaten im Produkt «swissBUILDINGS3D 2.0» nicht direkt XR-kompatibel und schwierig umwandelbar. Für XR-Anwendungen wäre das direkte Anbiete von texturierten 3D-Modellen geeigneter.

In Unity ist der Import der Geodaten aufgrund dieser Umstände besonders kompliziert, da viele aufwändige Transformationen manuell durchgeführt werden müssen. In Unreal hingegen können viele der Probleme durch die Verwendung des Cesium-Plugins für Unreal vermieden werden (nicht aber für swissBUILDINGS3D 2.0 wegen dessen aus XR-Sicht veralteten Datenformats).

Auf Hardware-Seite nennen die Interviewten HP als primären Partner für VR-Headsets. Aber auch andere AR- und VR-Headsets sind im Einsatz. Raumgleiter arbeitet auch mit Universitäten und Startups zusammen, um verschiedene Hardware für diese zu testen. Positionierung ist für Raumgleiter aufgrund des VR-Fokus kein grosses Thema. In Anwendungen, für die Positionierung vonnöten war, wurde diese mithilfe von QR-Markern in einem lokalen Rahmen realisiert.

### **Projekte**

Raumgleiter ist vor allem in den Bereichen Immobilien, Architektur und Städteplanung tätig. Dabei sind virtuelle Vermarktung von Immobilien zuhänden interessierter Personen und digitale Konkurrenzverfahren im Baubereich die Hauptthemen. Beispielsweise werden Architekturwettbewerbe unterstützt, indem sämtliche Entwürfe in VR visualisiert werden, oder Kaufentscheide



von Immobilien unterstützt, indem beispielsweise virtuelle Wohnungsbesichtigungen durchgeführt werden können, noch bevor das Gebäude fertiggestellt ist.

Aktuell bearbeitet Raumgleiter zudem eine Anfrage aus dem ÖV-Bereich, in der das Fahrerlebnis in einem Verkehrsmittel auf einer erst in Planung befindlichen Route mithilfe von VR und einer mit sechs Freiheitsgraden beweglichen Plattform zum Testen verschiedener Streckenprofile simuliert werden soll.

### **Fazit und Ausblick**

Grundsätzlich erhält Raumgleiter positives Feedback den Kundinnen und Kunden. Die mit dem VR-Einsatz verbundenen Ziele können erreicht werden. Nutzendenstudien wurden bisher noch keine durchgeführt, stattdessen wird auf informelles Feedback abgestützt.

Bei den Nutzerinnen und Nutzern der VR-Lösungen wird häufig eine Hemmschwelle erkannt, wenn sie zum ersten Mal ein VR-Headset aufsetzen. Je älter die betreffende Person ist, desto grösser ist in der Regel diese Hemmung. Nach einer gewissen Eingewöhnungszeit kommen aber die meisten Personen gut mit der für sie noch neuen Hardware zurecht.

Probleme mit Übelkeit sind bei VR mit jüngerer Hardware immer seltener geworden, beispielsweise durch Verringerung von Verzögerungen in der Darstellung. Gewisse besonders anfällige Personen haben aber zum Teil immer noch Probleme bei der Nutzung von VR. Orientierungshilfen wie beispielsweise ein in der VR-Szene projiziertes Grid können in solchen Fällen helfen.

Bisher beschränken sich die von Raumgleiter umgesetzten VR-Applikationen meist auf Visualisierung. In Zukunft plant Raumgleiter, sich in den Bereichen Simulationen und Interaktion weiterzuentwickeln. Allerdings stehen diese Themen bei den meisten Kundinnen und Kunden noch nicht im Vordergrund.

Auf Datenseite hofft Raumgleiter, dass beispielsweise glTF sich als Standardformat für Geodaten im XR-Kontext durchsetzt. Ausserdem würde es sich Raumgleiter wünschen, dass Geodaten-APIs modernisiert und für XR-Zwecke optimiert werden.

## **4.2.5 Esri R&D**

### **Allgemein**

Die interviewten Personen sind bei Esri auf XR-Themen spezialisiert: Taisha Fabricius als Product Managerin für ArcGIS CityEngine, Jonas Shriqui als UX-Designer im XR-Umfeld.

Esri R&D Schweiz betreibt Forschung und Entwicklung für den Einsatz von XR für Urban Planning. Dabei wird arbeitet Esri R&D mit internationalen Projektpartnern zusammen – vor allem Planungsabteilungen von Stadtverwaltungen und Industriepartner wie Architekturfirmer oder Planungsbüros. Dabei wurde bislang die Erfahrung gemacht, dass Industriepartner bereits tiefer in der Materie drin sind, während auf Verwaltungsseite die XR-Thematik noch nicht tief verwurzelt ist.



Aus Sicht der Interviewpartner befinden sich AR und VR generell noch in einer experimentellen Phase. Esri versucht in der aktuellen Phase, Potenziale der beiden Ansätze aufzuzeigen und entsprechende Lösungen zu realisieren. VR kommt dabei bislang hauptsächlich im Planungs- und Designprozess von Urban Planning zum Einsatz, während AR-Anwendungen in erster Linie für die Visualisierung von Daten im Untergrund (z.B. Leitungskataster) genutzt werden.

### **Technologie und Entwicklung**

In Zürich verwendet Esri in der Entwicklung von «high-end» XR-Applikationen hauptsächlich Unreal Engine. Andere Esri-Standorte verwenden für denselben Zweck Unity. «Low-end»-Applikationen werden hingegen primär mit Webtechnologien entwickelt. Generell wird die eingesetzte Technologie jedoch stets an den jeweiligen Kunden und dessen vorhandener Technologie und dem Budget angepasst.

Die Aufbereitung von Geodaten für die XR-Anwendungen wird mit ArcGIS CityEngine durchgeführt. In CityEngine kann eine Vielzahl von verschiedenen Datenformaten importiert, bearbeitet, kombiniert und in ein für XR passendes Format exportiert werden. Neben CityEngine verwendet Esri R&D zum Teil auch ArcGIS Pro und ArcGIS Urban. Für die Einbindung von Diensten in Game Engines kommen diverse Plugins zum Einsatz.

Die interviewten Personen erachten insbesondere die Vereinfachung von umfangreichen Geodatenätzen als ein besonders wichtiges Thema im XR-Kontext. Für das erfolgreiche Handling solcher Daten können verschiedene LoDs definiert werden. Das lässt sich in CityEngine realisieren, wird aber immer mehr auch von den Game Engines selbst unterstützt. Besonders Unreal wurde bezüglich dieser Funktionalität im Interview hervorgehoben.

Bisher läuft die Datennutzung in den entwickelten Applikationen noch stark dateibasiert, aber teilweise können Daten auch mithilfe von Services in die Applikation gestreamt werden. In der Praxis resultiert in den XR-Anwendungen oft ein gemischter Ansatz mit Nutzung filebasierter Daten *und* von Geodiensten.

Der Fokus von Esri R&D am Standort Zürich liegt in erster Linie auf VR. Esri R&D verwendet eine breite Palette von VR-fähigen Endgeräten. Dabei wird die Oculus Quest als primäres VR-Headset für die Entwicklung eingesetzt. Der Vorteil dieses Gerätes ist, dass es sowohl als Standalone-Headset als auch kabelgebunden mit externer Unterstützung verwendet werden kann. Getestet werden die Applikationen aber auch auf einer Vielzahl anderer VR-Headsets. Esri R&D nutzt hingegen nur selten Smartglasses. Für die wenigen AR-Applikationen am Standort Zürich werden in erster Linie Smartphones und Tablets verwendet.

### **Projekte**

Die Haupttätigkeiten von Esri R&D im Bereich XR bestehen nicht primär in der Entwicklung von XR-Applikationen, sondern darin, bestehende Applikationen wie CityEngine in Bezug auf die themenspezifischen Anforderungen weiterzuentwickeln. Dabei wird stets der Austausch mit Kundinnen und Kun-

den gepflegt, um die Stossrichtung der Weiterentwicklungen an deren Bedürfnisse anzulehnen. Esri R&D spricht potenzielle Kundinnen und Kunden auch aktiv an, um gemeinsam mit ihnen zu erarbeiten, wie XR dazu beitragen könnte, Probleme zu lösen oder Workflows zu vereinfachen.

Die neusten Weiterentwicklungen im Bereich XR werden auch regelmässig auf verschiedenen Konferenzen vorgestellt. Dadurch kann stetig Feedback eingeholt werden und das weitere Vorgehen entsprechend geplant werden.

### **Fazit und Ausblick**

An Konferenzen konnten die interviewten Personen schon diverse Rückmeldungen von Nutzenden bezüglich XR-Funktionen sammeln.

Viele Nutzerinnen und Nutzer von XR haben bereits Erfahrungen mit einfachen mobilen VR-Applikationen in einer einfachen Cardboard-Vorrichtung (vgl. Kapitel 2.8.2) gesammelt. Da jene Applikationen aber technologisch und konzeptionell noch nicht genügend ausgereift waren, hat sich bei vielen Personen ein eher negatives Bild von VR bereits eingebrannt, wodurch die Offenheit gegenüber der Technologie zum Teil eingeschränkt ist.

Weiter fällt aufgrund von Rückmeldungen auf, dass vor allem Kinder sehr intuitiv mit XR umgehen können, während ältere Nutzerinnen und Nutzer teilweise Probleme mit der Bedienung haben. Gerade bei erfahrenen 2D-GIS-Spezialistinnen und -Spezialisten kommt es laut Esri R&D häufig vor, dass der Sprung auf 3D-Daten in einer VR-Umgebung sehr schwierig ist. Deswegen versucht Esri vermehrt, die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer mit der Verwendung von Game Engines als Zwischenschritt langsam an die Thematik heranzuführen.

In Zukunft plant Esri R&D die Einbindung und Optimierung von diversen Esri-Diensten (inklusive Datendienste) in XR-Applikationen. Durch Remote-Rendering von 3D-Inhalten auf Servern und das Streamen der Inhalte soll es künftig zudem möglich sein, «high-end»-Applikationen für Smartphones zu entwickeln.

Wünsche für die Zukunft bestehen bei den Interviewten vor allem in der Verbesserung der Hardware, so dass diese kleiner, günstiger und verbreiteter werden kann. Ausserdem erachten die interviewten Personen die Pass-Through-Technologie als interessant, mit der AR-Applikationen auf VR-Headsets verwendet werden können (Einblenden eines Kamerabilds der echten Umgebung als Hintergrund im VR-Headset).

## **4.2.6 V-Labs solutions**

### **Allgemein**

Die interviewte Person ist Mitgründer von V-Labs und dort als CEO tätig.

V-Labs bietet AR-Anwendungen mit hoher Positionierungs- und Orientierungsgenauigkeit an. Die bisherigen Kunden sind dabei vor allem Firmen aus den Bau-, Energie- und Infrastrukturbranchen oder Ingenieurbüros, aber auch Gemeinden und Bundesämter. Ziel ist es dabei, Geodaten mit Zentimetergenauigkeit im Feld anzuzeigen, modifizieren und aufnehmen zu können, sowie einem Nutzer eine freihändige Anleitung für die Arbeit im Feld zu liefern.

Das Produkt für den Kunden besteht aus einer Kombination von Hardware und Software, so dass V-Labs die Genauigkeit bieten kann, die im Feld für die Visualisierung und für die Erfassung von Geodaten benötigt wird.

### **Technologie und Entwicklung**

V-Labs hat ein AR-Headset mit integriertem GNSS/RTK-System entwickelt, das es den Nutzenden ermöglicht, Geodaten mit einer Genauigkeit von circa 5 Zentimeter im Feld zu platzieren und diese Genauigkeit beim Umhergehen beizubehalten. Bei dem verwendeten AR-Gerät handelt es sich um eine Microsoft HoloLens 2, die um einen Helm herum befestigt wird, so dass die Nutzenden sie auf Baustellen tragen können (Abbildung 29).

Mithilfe des GNSS/RTK-Aufbaus können Geodaten mit einer Genauigkeit von 5 Zentimeter sowohl angezeigt als auch aufgenommen werden. Gleichzeitig bleiben die Hände der Nutzenden frei und die Ausrüstung kann frei herumgetragen werden, was was sie zu einem idealen Werkzeug für Vermessungs-, Bau- und Instandhaltungsarbeiten macht.



Abbildung 37: Der V-Labs Helm mit einer Microsoft HoloLens 2 und einem GNSS/RTK-Aufbau (Bild: V-Labs)

Applikationen werden durch V-Labs vor allem in Unity entwickelt. Um Daten in die Applikation zu bringen, werden verschiedene Plugins verwendet. BIM-Daten stellen dabei aber häufig eine Herausforderung dar, da die entsprechenden Plugins oft nicht mit der Microsoft HoloLens kompatibel sind.

Geodaten werden meistens heruntergeladen und via Unity in das Projekt eingebunden. Häufig passiert das mithilfe von ArcGIS Feature Services. Dabei werden aber vor allem 2D-Daten angezogen, 3D-Tiles sind bisher noch nicht im Gebrauch bei V-Labs. Koordinatentransformationen in LV95 sind mithilfe von Reframe von swisstopo via C#-Library möglich.

### **Fazit und Ausblick**

Kunden von V-Labs sind vor allem überzeugt von der einfachen und praktischen Bedienung der Hardware. Besonders hervorgehoben wird dabei, dass die Hände frei sind und keine schwere Ausrüstung mit ins Feld genommen werden muss. Das Feedback wird dabei direkt vom Kunden aufgenommen

und verarbeitet, gross angelegte Studien oder UX-Analysen kommen nicht zum Einsatz.

Die Lösung wurde hauptsächlich auf Basis von Proofs-of-Concept mit Kundinnen und Kunden entwickelt und ist nun marktreif. Mit dem aktuellen Stand der Technik können laut V-Labs bereits bedeutsame Vorteile realisiert werden, beispielsweise die Auslagerung von Vermessungsarbeiten an Ingenieurinnen und Ingenieure im Feld, der AR-gestützte Vergleich von Konstruktionsplänen mit dem Ist-Zustand und die Digitalisierung von Installations- und Instandhaltungsarbeiten.

Da künftige Hardware-Generationen robuster sein werden (beispielsweise wasserdichte Headsets), erwartet V-Labs, dass die Industrie diese Art von Headsets in grossem Umfang einsetzen wird, um ihre Tätigkeit weiter zu digitalisieren. Der Interviewpartner sieht zukünftiges Potenzial vor allem im AR-Bereich, während VR vor allem für Simulationen und Trainings interessant ist.

#### 4.2.7 Best Practices

In allen in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.6 zusammengefassten Interviews wurden die Teilnehmenden zu Best Practices im Umfeld von XR befragt. In der Regel wurden dieselben Punkte von mehreren der Interviewten genannt. Im Folgenden sind die zentralen acht Best Practices kurz ausgeführt:

- BP 1 Der Entwicklungsprozess einer XR-Anwendung sollte möglichst eng von zukünftigen Nutzerinnen und Nutzern (bzw. Anwenderinnen- und Anwendervertretenden) begleitet werden. Nutzendentests sind ein essenzieller Schritt in jedem Stadium der Entwicklung. Im Idealfall können künftige Nutzerinnen und Nutzer bereits sehr früh Rückmeldungen geben zu einem Minimum Viable Product (MVP).
- BP 2 Eine XR-Applikation sollte einen klar erkennbaren Mehrwert gegenüber einer klassischen Applikation haben (die sie allenfalls ablöst oder aber ergänzt). Für die Akzeptanz durch die Nutzenden und die Verantwortungsträgerinnen und Verantwortungsträger ist ein «Aha-Effekt» besonders wertvoll.
- BP 3 Die Nutzung einer XR-Applikation soll so einfach und so intuitiv wie möglich und gut entdeckbar und erlernbar sein. Die Nutzer oder der Nutzer sollte im Idealfall keinerlei Trainingsphase benötigen, um die Applikation erfolgreich zu bedienen.
- BP 4 Insbesondere bei Verwendung von Smartglasses ist eine möglichst hohe Framerate der XR-Applikation («flüssige» Darstellung) wichtig. Zudem sollten die Bewegungen des Kopfes der Nutzerin bzw. des Nutzers den Sichtänderungen in der Applikation möglichst genau entsprechen. Bei zu geringer Framerate oder schlechter Koordination von Kopfbewegung und Darstellung erhöht sich die Gefahr von Übelkeit bei den Nutzerinnen und Nutzern der Applikation deutlich.

- BP 5 Der Nutzerin oder dem Nutzer einer XR-Applikation sollte während der Verwendung nie die Kontrolle weggenommen werden. Änderungen der Sicht, die nicht von der Nutzerin oder vom Nutzer selbst beeinflusst worden sind, verursachen bei diesen sehr häufig Übelkeit.
- BP 6 Die Haptik in der Nutzung von XR-Anwendungen ist wichtig und wird zum Teil unterschätzt oder vernachlässigt. Interaktionen in XR sollten so nah wie möglich an der realen Empfindung sein.
- BP 7 AR/MR-Applikationen sollten der Realität möglichst wenige Informationen überlagern. Auch in AR/MR-Applikationen soll die Realität stets im Fokus bleiben; die virtuellen Elemente dienen nur als Ergänzung und sollen die Nutzerinnen und Nutzer der Applikation mit ihrer Informationsdichte nicht überfordern.
- BP 8 AR-Szenen sollten so aufgebaut sein, dass eine Entwicklerin oder ein Entwickler die AR-Applikation auch am eigenen Arbeitsplatz möglichst gut testen kann.
- BP 9 Räumlich begrenzte Anwendungen sind tendenziell günstiger umzusetzen als flächendeckende Anwendungen, da eine nachträgliche Datenerfassung bzw. Verfeinerung der Geodaten oft nicht erschwinglich ist.
- BP 10 Bei AR/MR-Applikationen ist die genaue Positionierung der virtuellen Objekte in Bezug zur Realität sehr wichtig und muss verlässlich sein.
- BP 11 Bei der Nutzung von Geräten im Feld muss die Sicherheit gewahrt bleiben – Smartglasses können die Sicht behindern und somit Unfälle verursachen.
- BP 12 Für Applikationen mit breitem Anwendungspotential sollen häufiger Mobiltelefone und Tablets als Endgeräte in Betracht gezogen werden, für geführte Anlässe bieten Smartglasses und Headsets aber eine bessere Immersion und sollen dort bevorzugt angeboten werden.

## 5. Ausgangslage und Bedürfnisse in der Verwaltung

In zwölf Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der Kantonsverwaltung sowie des Forensischen Instituts und der VBZ wurden die folgenden Themen erhoben:

- allfällige bestehende Anwendungen von AR und VR in der eigenen Organisationseinheit und gemachte Erfahrungen
- Einschätzungen zu den Potenzialen von AR und VR in der eigenen Organisationseinheit
- (soweit bekannt) Bedürfnisse der eigenen Organisationseinheit an die Geoinformation und die Zusammenarbeit im Thema AR und VR

Die Interviews wurden anhand eines mit dem Auftraggeber abgestimmten Interview-Leitfadens geführt. Befragt wurden die in Tabelle 8 aufgeführten Einheiten und Personen.

Name	Organisation	Interview
Rolf Brändle, Gion Brandenberger	Tiefbauamt, Stab, Informationsmanagement	14.02.2022
Julie Picarel, Martin Vanek	Tiefbauamt, Stab, Planen und Bauen (BIM)	14.02.2022
Erik de Ruiter	Hochbauamt	15.02.2022
Christian Heimlicher, Timon Züger	VBZ	15.02.2022
Fortunat Blass	Amt für Landschaft und Natur	15.02.2022
Sandra Mischke	Bildungsdirektion, Generalsekretariat	21.02.2022
Dominik Hänni	Forensisches Institut	22.02.2022
Nadia Vogel, Urs Eggenberger	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Luft, Klima und Strahlung	22.02.2022
Esther Schönenberger, Andrea Tiziani	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Archäologie und Denkmalpflege	23.02.2022
Stefan Racheter	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Raumplanung	24.02.2022
Edith Durisch	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz	25.02.2022
Natascha Podraza	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation. Rolle: Ansprechpartnerin des Projektausschusses des kantonalen Leitungskatasters (mit Stadt Zürich, Werke am Zürichsee und SNZ Ingenieure und Planer AG)	schriftlich

Tabelle 9: Interviewte Personen in der kantonalen Verwaltung, am Forensischen Institut und bei der VBZ

In der Folge sind pro Organisationseinheit die zentralen Erkenntnisse aus den Interviews zusammengefasst.

## 5.1 Tiefbauamt, Stab, Informationsmanagement

### Ausgangslage und Erfahrungen

Die interviewten Personen sind im Stab im Thema Informationsmanagement tätig. Themen mit Geodatenbezug im Tiefbauamt sind Bau und Betrieb von Strasseninfrastrukturen (Infrastrukturmanagement), die Erhaltung, das Management von Infrastrukturobjekten sowie Teilbereiche wie beispielsweise die Kanalisation, Verkehrssicherheit und die Verwaltung des Strassenachsystems.

Die befragten Personen sind aktuell in einem umfangreichen Projekt zur Organisation des Informationsmanagements tätig. Dieses adressiert die Prozesse im Bereich von Daten und Informationen, die IT- und die Datenarchitektur sowie Regelwerke. Das Projekt soll unter anderem das künftige Vorgehen im Umfeld von heterogen gewachsenen Datenbeständen und Wege der sauberen Datenintegration dieser Datensätze aufzeigen. Die Konzeptphase läuft bis Ende 2022. 2023 werden der Personalaufbau und dann die

Umsetzung folgen (Ende offen). Aus Sicht der Befragten wurde in der Kantonsverwaltung der professionellen Organisation der Grundlagedaten an vielen Orten bisher zu wenig Beachtung geschenkt.

XR ist kein vollends neues Thema. So existieren im Kanton schon verschiedene Baustellen, die teilweise mit Building Information Modelling (BIM) umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang wurde XR schon thematisiert, aber noch nie eingesetzt.

### **Potenziale**

Die interviewten Personen sehen in den folgenden Themenbereichen Potenziale für XR-Anwendungen mit Geodatenbezug:

- XR-Visualisierung von Strassengestaltungen und Bauprojekten zuhnden der Bevölkerung. Gemeinden dürfen beispielsweise Kreisellkunst selbst gestalten; solche Vorhaben könnten ebenfalls im Vorfeld visualisiert werden.
- AR-Visualisierung von nicht offensichtlicher Infrastruktur wie zum Beispiel Werkleitungen und Strassenabwasserbehandlung bei mit BIM geführten Vorhaben des Infrastrukturmanagements. Aktuell führt das Tiefbauamt ein Projekt durch zur Datenarchitektur im Thema Staatsstrassenentwässerung. Das Thema wäre – weil die Entwässerungskomponenten unterirdisch verlaufen – ein spannender Anwendungsfall für eine AR-Anwendung.
- AR-Lösung für die Navigation zum Eingang einer Strasseninfrastrukturanlage (zum Beispiel Technikraum) oder innerhalb einer Anlage zu einer Komponente (zum Beispiel Schaltpanel). Der Pikettdienst des Tiefbauamts hat hierfür Informationsschalen, die aktuell aber nicht XR nutzen. Zudem wären hierfür voraussichtlich teilweise Grundlagen noch aufzubereiten, da sie aktuell nur in Papierform vorhanden sind.
- Visualisierung von Lärm: Das Tiefbauamt für mit der Bevölkerung sogenannte Lärmexkursionen durch, an denen über das Phänomen und dessen Behandlung informiert wird.

Neben den genannten potenziellen Anwendungsfällen orten die befragten Personen das grösste Potenzial bei Anwendungen, die es dem Tiefbauamt erlauben, die eigenen Dienstleistungen gut zu präsentieren, zum Beispiel zuhnden der Öffentlichkeit oder auch der Führung.

Generell wäre angesichts der herausfordernden Datenlage (viele Daten sind erst analog vorhanden oder werden nicht regelmässig gepflegt (zum Beispiel Fussgängerstreifen)) die Einführung von XR-Lösungen einfacher, wenn sie sich auf einen konkreten Ausschnitt des Netzes beziehen. In diesem Fall wäre ein allenfalls notwendige Nacherfassung oder Verfeinerung von Daten machbar. Die Umsetzung von netzweit zur Verfügung stehenden XR-Lösungen würde für viele Themen aber an den unvollständigen Daten bzw. dem zu grossen Aufwand für eine systematische Erfassung oder Aufbereitung scheitern. Aus denselben Überlegungen bieten sich planerische Anwendungen an; dort ist die Datenlage in der Regel günstiger als bei bestehender Infrastruktur.



Generell schätzen die Befragten den Einsatz von AR, im Idealfall mit Smartglasses im Feld, interessanter ein als VR.

### **Bedürfnisse**

Die befragten Personen orten Nachholbedarf bei den Datengrundlagen (vgl. Ausführungen zur Ausgangslage und Erfahrungen). Im Projekt «Organisation Informationsmanagement» gibt es beispielsweise Überlegungen, im Daten-Backend eine vollständige Informations(nach)erfassung durchzuführen und dann in verschiedenen Anwendungskontexten (wovon einer künftig XR sein könnte) den Informationsgehalt bedürfnisgerecht darzustellen. Das Tiefbauamt ist aktuell an diversen Orten dabei, konzeptionelle Datenmodelle zu formulieren. Anschliessend muss die Erfassung erfolgen. Je nach Themenbereich sind sehr detaillierte Normen des Bundes vorhanden (beispielsweise bei Kunstbauten), die bisher aus Aufwandüberlegungen in der Datenerfassung aber nicht vollständig umgesetzt worden sind (beispielsweise ist bei Kunstbauten und Signalanlagen nur deren zweidimensionale Lage erfasst, nicht die exakte Ausdehnung).

Insgesamt sind die Themen AR und VR noch relativ weit weg von den aktuellen Aktivitäten und Bedürfnissen. Sie haben einen Visionscharakter und können daher motivierend wirken für die anstehenden Arbeiten an den Datengrundlagen.

Bezogen auf Bedürfnisse an die Abteilung Geoinformation nennen die Befragten die für die Lärmmodellierung notwendige Datenveredelung (detailliertere Modellierung von Gebäuden im Strassenraum). Im Idealfall stünden die 3d-Gebäudedaten bereits in ausreichender Detaillierung zur Verfügung. Dies könnte auch für XR-Anwendungen nützlich sein.

Weiter gehen die Befragten von weiter steigenden Datenvolumen aus (beispielsweise infolge von allfälligen Befahrungen mit Videokameras, Sensordaten aus Wetterstationen, LiDAR-Scans des Strassenraums), welche die kantonale (Geo)Dateninfrastruktur bewältigen können muss.

Bezüglich spezifischer AR- und VR-Anwendungen wünschen sich die Befragten Personen die Unterstützung durch die Abteilung Geoinformation in denselben Bereichen, wie diese bereits bisher üblich ist: mit der Bereitstellung von Hilfsmitteln und Anwendungen.

## **5.2 Tiefbauamt, Stab, Planen und Bauen**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewten Personen sind im Stab im Thema BIM tätig. Dort besteht auch ein Bezug zu Geodaten und Geoinformation. Die befragten Personen sind aktuell in BIM-Pilotprojekt des Tiefbauamts involviert. XR ist kein neues Thema: In vier BIM-Pilotprojekten wird eine Form von Immersive Reality (eine Form von VR) eingesetzt, um Bauprojekte zu visualisieren (Bauprojekt in Meilen, Strasseninstandsetzung ohne grosse Bauwerke, Bau einer neuen Bushaltestelle und Bau eines neuen Kreisels).

Die genannten Projekte nutzen das Produkt «Immersive Room» der Firma Inside Reality<sup>86</sup>, die unter anderem auch für die SBB und das ASTRA tätig ist. Diese Lösung wurde ausgewählt, weil die kollaborative Nutzung besser ist als mit traditionellen VR-Lösungen. Die Lösung Immersive Room ist eine Webanwendung. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung von Forge von Autodesk.

In drei der vier Projekte werden die Visualisierungen jeweils an einem Jour Fixe aktualisiert. Die Planungsbüros liefern ihre Modelle gemäss Vorgaben im BIM-Format IFC (mit klar definierter Struktur) in das online gehostete Common Data Environment (CDE) (BIM-Datenplattform) des jeweiligen BIM-Projekts. Die IFC-Daten werden für die XR-Nutzung nach glTF umgewandelt und werden online gehostet. Die Firma Inside Reality steuert (statische) Kontextdaten der swisstopo (Gebäudemodell, digitales Höhenmodell) und des Kantons (Baumpositionen mit Baumtyp; hier reichen die Daten der swisstopo qualitativ nicht aus) bei. In einem der vier Pilotprojekte wurde zudem ein Drohnenflug durchgeführt, um im Strassenraum die Qualität gegenüber swisstopo zu verbessern (Orthophoto und Höhenmodell).

Bisher beurteilen die Befragten die Pilotprojekte als sehr erfolgreich; es resultierten nur positive Rückmeldungen. Nach der Durchführung der Pilotprojekte wird das Tiefbauamt die gesammelten Erfahrungen resümieren. Diese werden in die Etablierung eines künftigen Standards der BIM-gestützten Planung einfließen. Ziel ist, IFC-Daten als Single Source of Truth für Bauprojekte zu etablieren und daraus einfach («per Knopfdruck») XR-Produkte ableiten zu können. Die befragten Personen erhoffen sich, dass die Projektleiterinnen und Projektleiter von den Vorteilen von BIM und XR begeistert sein werden, weil die neuen Technologien hoffentlich das Volumen von Rekursen reduzieren und die Verständigung mit der Bevölkerung verbessern können.

Auch für andere Anwendungsfälle beurteilen die befragten Personen AR und VR (auch unabhängig von Immersive Reality) als interessant. Für Kataster-Anwendungen gab es vor 5 Jahren schon erste Tests, bei denen sich die Positionierung mittels Smartphone ohne zusätzliche Antenne aber als zu ungenau herausgestellt hat.

### **Potenziale**

Die befragten Personen können sich den Einsatz von XR – unabhängig ausserhalb der genannten bestehenden Immersive Room-Lösung – generell eher im Hochbau als im Tiefbau vorstellen.

Im Tiefbau bietet sich die Anwendung von XR eher bei den Kunstbauten und Anlagen wie Pumpwerken an als beispielsweise bei Werkleitungen oder beim Verlauf der Strassen selbst. Bei Werkleitungen hat der Kanton Zürich keine guten Datengrundlagen (zum Beispiel fehlende Höhenangaben, ungenauer Verlauf von Leitungen, unvollständige Daten). Diese müssten zuerst verbessert werden. Die Befragten werfen generell die Frage auf, ob die Qualität der eigenen Daten für XR ausreichend ist. Verbesserungsarbeiten laufen aktuell, so dass in der Einschätzung der Befragten die Datenqualität in zwei bis drei Jahren in diversen Bereichen besser sein dürfte.

---

<sup>86</sup> <https://inside-reality.com>

Ein XR-Pilotprojekt im Bereich Staatsstrassenentwässerung (baulicher und betrieblicher Unterhalt) fänden die interviewten Personen interessant. Ein Projekt, das aus den heutigen Papier-Grundlagen ein entsprechendes Informationssystem erstellen will, befindet sich aktuell in der Initialisierungsphase gemäss HERMES.

### **Bedürfnisse**

Die befragten Personen verorten die eigenen Organisationseinheit an der Spitze der Innovation mit BIM und begrüßen die vorliegende Studie. Nicht alle Mitarbeitenden der Baudirektion sind gleich visionär und offen gegenüber den neuen technischen Möglichkeiten. Die Baudirektion sollte deshalb eine Digitalisierungsstrategie erarbeiten, welche Orientierung bietet.

Die Abteilung Geoinformation unterstützt die befragte Organisationseinheit bereits gut. Beispielsweise wurde die Konversion von IFC nach glTF in den BIM-Pilotprojekten durch eine Mitarbeiterin der Abteilung Geoinformation mittels FME umgesetzt.

Beim Tiefbauamt sollte nach Meinung der Befragten der Werkzeugeinsatz im GIS-Bereich hinterfragt werden (Ablösung oder Reduzierung des Einsatzes von Logo zugunsten von Esri-Produkten). Pilotprojekte wie im Thema BIM eröffnen die Möglichkeit, innovative Basissysteme einsetzen zu können.

Als Fernziel sollten die Genehmigungsämter von Bauvorhaben möglichst den gesamten Genehmigungsprozess digital bzw. unterstützt durch die Abteilung Geoinformation in GIS abbilden (und dadurch Papierpläne ablösen) können.

## **5.3 Hochbauamt**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewte Person ist im Hochbauamt im Bereich der Bauherrenvertretung tätig, engagiert sich im BIM-Thema und leitet die Arbeitsgruppe digitales Bauen im Amt. Thema mit Geodatenbezug ist die Bauherrenvertretung in kantonalen Bauvorhaben inklusive Projekt- und Stakeholdermanagement (der Kanton beauftragt in der Regel Planungsbüros und plant nur wenig selbst). Die vertiefte Auseinandersetzung mit Geodaten erfolgt bei den Planerinnen und Planern. Der Befragte konsultiert manchmal Kontextinformationen wie Eigentümer, Anrainer und Naturgefahren im kantonalen GIS.

XR ist kein vollends neues Thema. Vermutlich 2020 wurde aus dem Generalsekretariat des Baudepartements eine Umfrage zu diversen Zukunftstechnologien, darunter auch XR. Anschliessend wurde das Thema aber nicht mehr erwähnt und die befragte Person kennt zur Zeit keine Projekte, die XR einsetzen (hat bei hunderten von laufenden Projekten aber auch nicht die vollständige Übersicht). XR ist auf jeden Fall noch nicht Teil von Bestellungen des Amts; was aber die Voraussetzung wäre für einen routinierten Einsatz. Folglich bestehen keine praktischen Erfahrungen im Thema.

## Potenziale

Das Hochbauamt interagiert in Bauvorhaben auch mit Personen, die nicht professionell geschult sind, abstrakte 2D-Pläne zu lesen. Hier und an weiteren Punkten ortet die befragte Person Potenzial für XR für verschiedene Anwendungsfälle:

- VR-Visualisierungen von Bauvorhaben in der Planungsphase zuhnden der Auftraggeberschaft und der Nutzendenvertreter: Solche Visualisierungen verbessern das (frühe) gemeinsame Projektverständnis, das Verständnis von Innen- und Aussenräumen und eventuell von Abläufen, die das fertige Gebäude ermöglicht. Ohne VR-Visualisierungen werden Bedenken oder Probleme oft relativ spät im Planungsprozess manifest, wenn die Gebäudeplanung bereits eine gewisse Reife hat. VR könnte aufwändige Projektänderungen oder gar Überraschungen auf der Baustelle reduzieren.
- VR-Modelle in Wettbewerbsverfahren (zusätzlich zu physischen Modellen): Heute geben Architekten Wettbewerbskommissionen oft physische Modelle ab. Vermutlich eher in Einzelfällen als generell könnten künftig VR-Modelle eingesetzt werden für die Jurierung von Architekturwettbewerben. Die VR-Darstellungen erlauben die Beurteilung architektonischer Volumen, die bessere Erfahrbarkeit der Gestaltung und die «Begehung» eines Areals. Zudem könnte die Beschattung gut geprüft werden.
- XR-Visualisierungen von Bauvorhaben (und der Umgebung, im VR-Fall) zur Information der Öffentlichkeit. VR ist attraktiver für diesen Anwendungsfall; AR wäre nur sinnvoll einzusetzen, wenn es sich beim Bauvorhaben um ein neues Gebäude auf einer bisher unbebauten Parzelle handelt (diesen Fall gibt es in der Praxis kaum).

XR muss gezielt eingesetzt werden mit einem vorher definierten Anwendungsfall und gemäss definiertem Bestellverfahren. Gut eingesetzt, erhöht XR potenziell die Identifikation und die Motivation der künftigen Nutzenden eines geplanten Gebäudes. Beim Wettbewerbsverfahren muss angemerkt werden, dass dieses für grosse Projekte (hunderte Millionen CHF) eingesetzt wird. Viele Verantwortliche schätzen physische Modelle und sind bei so grossen Projektvolumen potenziell zögerlich, mit VR zu experimentieren.

Die befragte Person nimmt die Mehrwerte von XR als «weiche Faktoren» wahr. Potenziell könne dadurch die Ressourcenbeschaffung für solche Projekte schwierig sein. Synergien könnten sich mit den Bestrebungen für den Einsatz von BIM ergeben. Aktuell werden durch das Hochbauamt im Standardfall noch keine BIM-Modelle bestellt, jedoch gibt es Pilotprojekte, wo die Technologie momentan getestet wird.

## Bedürfnisse

Die skizzierten Anwendungsfälle benötigen in der Regel 3D-Geodaten (auch) der Umgebung von Bauvorhaben und eventuell auch Werkleitungen. Allenfalls fehlende Daten sind problematisch für die beauftragten Planungsfirmen (welche diese dann nach-erfassen müssen), nicht für das Hochbauamt. Eine gute Grundlage von 3D-Daten beurteilt die befragte Person als

positiv, glaubt aber nicht, dass diese Vorteile preislich von den Planungsfirmen an den Kanton zurückfliessen würden.

Das Hochbauamt muss vor einem Einsatz von (BIM und) XR die gewünschten Lieferprodukte spezifizieren. Dies wird es in Eigenregie tun, ohne Unterstützungsbedarf aus der Abteilung Geoinformation.

Den Nutzungskontext von XR – ob der Kanton über eigene Hardware verfügt oder ob man XR beim Architektur- oder Planungsbüro nutzt – schätzt die befragte Person als noch offen, aber mit der Tendenz zu letzterem, ein.

## 5.4 VBZ

### Ausgangslage und Erfahrungen

Die interviewten Personen sind bei der VBZ unter anderem für GIS-Themen zuständig. Eine der Personen arbeitet zudem in der Programmleitung BIM. Die befragten Personen sind zudem aktuell in Projekten rund um Schnittstellen zwischen GIS und BIM tätig (GIS2BIM und BIM2GIS).

Themen mit Geodatenbezug bei der VBZ sind unter anderem die Auskunftspflicht an Dritte mittels Abgabe von Geodaten (regulatorische Vorgabe SIA 405 zu Werkleitungen und Anlagen), die Erstellung von Reports und Übersichtspläne für interne Zwecke, die Bereitstellung von Grundlagen für die Projektierung und die Fahrgastinformation zum Beispiel mittels Publikation von Verläufen von ÖV-Linien. Künftig werden Predictive Maintenance und die dafür notwendigen Geodaten ein weiteres Thema sein.

XR ist für die VBZ kein neues Thema. Es besteht ein grosses Interesse am Thema und es wurden auch schon Pilotprojekte umgesetzt, überwiegend in Kooperation mit dem Amt für Städtebau der Stadt Zürich:

- HoloPlanning: Die VBZ ist mit Projektpartnern (ewz, SBB Immo, Postauto, afca) an der Entwicklung der Applikation HoloPlanning beteiligt (Product Owner ist die Stadt Zürich). Mittels der Applikationen können in einer HoloLens Gebäude und Infrastrukturen in AR visualisiert werden. HoloPlanning wird auch über die VBZ hinaus unter anderem für städtebauliche Studien, Architekturwettbewerbe, Tiefbauprojekte und für die Archäologie eingesetzt. Die VBZ setzt folgende Anwendungsfälle mit HoloPlanning um:
- Qualitätssicherung / Kontrolle von Geodaten im Vergleich mit der Situation im Feld: In diesem Anwendungsfall muss die Positionierung exakt sein; der Anwendungsfall wird aktuell mit Tags zur Positionierung und mit Unterstützung des Expertenteams betrieben.
- Unterstützung des Planungsprozesses durch Visualisierungen zuhanden der Projektbeteiligten und der Bevölkerung: Mit diesem Anwendungsfall können Veränderungen aufgezeigt und Befürchtungen aufgefangen werden.
- Information der Bevölkerung über Bauvorhaben. Diesen Anwendungsfall möchte die VBZ im aktuellen Jahr zusätzlich auf Smartphones mit Spatial Anchors umsetzen, so dass keine HoloLens benötigt wird.

- HoloTram: Diese VR-Anwendung dient der Tram-Instandhaltung und verwendet anders als HoloPlanning keine Geodaten.
- Modell-Repository (Asset Store): Die VBZ haben unter [baukasten.stadt-zuerich.ch](http://baukasten.stadt-zuerich.ch) eine Ablage für AR- und neu auch BIM-Modelle aufgebaut (Abbildung 38). Das Repository wird unter anderem in City Engine genutzt: Ein Skript extrahiert Daten aus der Geodateninfrastruktur in Form von Punktoobjekte, entnimmt passende Modelle aus dem Baukasten (zum Beispiel von Bäumen oder Haltestellenobjekten) und setzt in City Engine die Modelle am durch die Geodaten spezifizierten Art ab. Der Baukasten steht auch der Öffentlichkeit offen zur Nutzung und zum Beisteuern eigener Inhalte. Bei gemeinsamen Projekten erhalten Partner der VBZ bereits ein Konto, um eigene Modelle hochladen zu können.

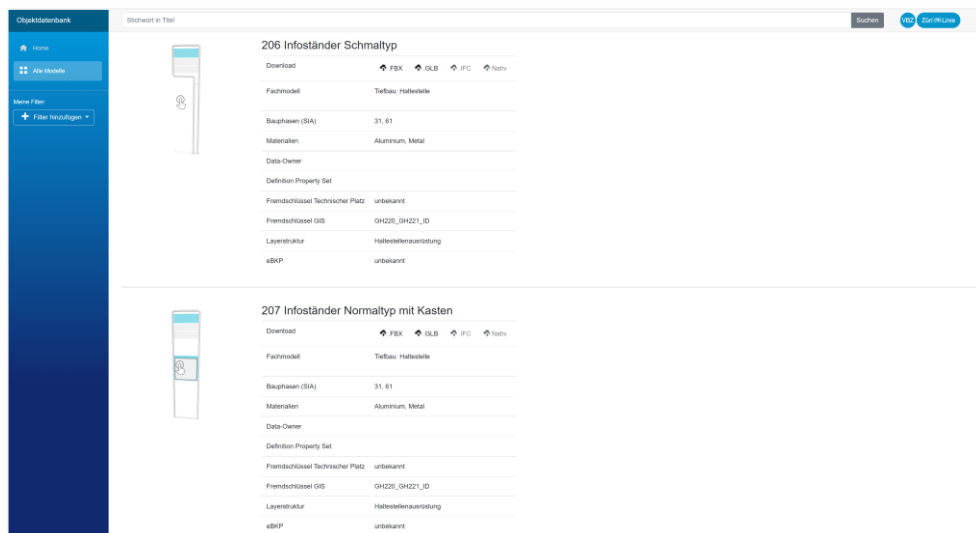


Abbildung 38: Modell-Repository der VBZ

Die VBZ hat in ihren Pilotprojekten bisher HoloLens 1 und 2 und iPad Pros eingesetzt. Softwareseitig kommen FME-Workbenches (GIS2AR, d.h. zur Konversion von BIM- und GIS-Daten in AR-kompatible Daten), City Engine beispielsweise für das Einsetzen von Modellen (vgl. oben), die Schattierung und die Manipulation von Leitungen sowie Unity für die eigentliche Anwendung zum Einsatz. Das Backend von HoloPlanning, welches die notwendigen Daten für die Nutzung in der HoloLens aufbereitet, wird in der Azure Cloud betrieben. Die Daten liegen aktuell in FBX vor. Im Modell-Repository werden diese nun aber auch in IFC angeboten. HoloPlanning lädt Daten bei Bedarf zur Laufzeit nach. Dies geschieht ebenfalls in Form von FBX-Dateien. Die VBZ hat noch keine 3D-Geodienste getestet.

Die VBZ erachten die Pilotprojekte grundsätzlich als Erfolge. Das Wissen und die Routine im Thema XR hat innerhalb der VBZ in den letzten Jahren zugenommen (beispielsweise Einsatz von FME-Workbenches zur Datenkonversion). Es gibt aber noch keine breit abgestützte Nutzung von XR, unter anderem weil die Hardware noch teuer und nicht trivial zu bedienen ist. Die

VBZ sieht einen Trend zum vermehrten Einsatz von Smartphones und Tablets und ist überzeugt, dass dies für den breiten Einsatz von XR unabdingbar ist (statt dedizierter Hardware wie Smartglasses).

### **Potenziäle**

Die befragten Personen gehen nicht davon aus, dass das Potenzial innerhalb der Anwendungen HoloPlanning und HoloTram schon ausgeschöpft ist. Über diese beiden Projekte hinaus sehen sie folgende Potenziale für XR:

- Tram-Simulator (Umsetzung geplant bis 2023): Der Tram-Simulator soll in VR umgesetzt werden und dient der Ausbildung von Trampilotinnen und -piloten. Die VBZ sucht aktuell europaweit einen Lieferanten.
- Visualisierung von Werkleitungen
- Unterstützung von Variantenentscheiden in der Projektierungsphase
- (ausserhalb VBZ) Visualisierung von «unsichtbaren» Umweltdaten, beispielsweise Entlüftung der Stadt, Wärme und CO<sub>2</sub>-Ausstoss

Im Bereich der Infrastruktur gibt VBZ klar AR den Vorzug gegenüber VR (bei der Fahrzeuginstandhaltung ist es umgekehrt). Bei der Hardware besteht bei der VBZ und ähnlichen Organisationen – gemäss der Interviewten im Gegensatz zum Hochbau – ein Trend hin zur Nutzung von Smartphones und Tablets statt dedizierter Hardware. Gründe sind die Kosten, die grössere Erreichbarkeit mit Consumer-Hardware und Sicherheitsüberlegungen bei der Nutzung im Feld (die Nutzung von AR-Brillen an stark befahrenen Strassen und Trassen kann gefährlich sein).

### **Bedürfnisse**

Die Datenlage in der Stadt Zürich wird von den Befragten als gut befunden. Alle notwendigen Daten sind grundsätzlich vorhanden; sie liegen aber nicht immer mit aktuellem Zeitstand oder räumlich exakt vor. Beispielsweise sind Werkleitung 2D-Objekte und müssen für die Verwendung in XR noch in 3D-Objekte transformiert werden. Für Gebäude-Belange profitiert die VBZ stark vom städtischen 3D-Modell.

Die Befragten wünschen sich mehr Koordination und Austausch zwischen (städtischen und kantonalen) Ämtern und Fachstellen, insbesondere auch mit der Abteilung Geoinformation des ARE (der Austausch zwischen den städtischen Stellen besteht bereits, nicht aber mit dem Kanton). Im Moment sind viele Organisationseinheiten am Testen. Im Verlauf von Tests werden Prozesse, Automatisierung, Standardisierung und verlässliche Datenquellen bedeutsam. In diesen Themen wäre mehr Zusammenarbeit förderlich. Die VBZ lebt eine offene Kultur und teilt ihr Wissen und Werkzeuge wie Tools gerne mit anderen Interessierten.

Die Befragten wünschen sich weiter die Standardisierung und eine gewisse «Produktifizierung» wichtiger Basisfunktionalität, beispielsweise das Anbieten eines XR-bezogenen Checkers der Datenqualität oder die Bereitstellung der Konversion von GIS-Formaten nach AR-Formaten in einem Webservice (ähnlich zum Bezugsrahmen-Service der swisstopo).



BIM und XR sind gemäss den interviewten Personen wegen des Erfordernisses von 3D-Daten beides Themen, welche die Geodateninfrastruktur und das Datenmanagement herausfordern. Die Erfassung und Nachführung solcher Daten muss umfassend geplant werden.

## 5.5 Amt für Landschaft und Natur

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewte Person ist in der Abteilung Landwirtschaft als Sachbearbeiter Boden im Amt für Landschaft und Natur tätig und vertritt vor allem deren Ansichten und Kenntnisstand. Die Abteilung setzt sich mit folgenden Themen mit variierendem Geodatenbezug auseinander: Verteilung von Direktzahlungen, Hochbauwesen (Baubewilligungen für Bauernbetriebe), Tiefbau (Meliorationen und Entwässerung) sowie Bodenrecht (Regelung des Landkaufs). XR wurde vor der vorliegenden Studie noch nie thematisiert. Es bestehen folglich auch noch keine praktischen Erfahrungen im Thema.

### **Potenziale**

Das Potenzial für XR identifiziert der Befragte am ehesten in folgenden hauptsächlich internen Anwendungsfällen:

- VR-gestützte Beurteilung von Baugesuchen (beispielsweise, wenn ein Bauer eine Scheune umbauen möchte)
- VR-gestützte Schätzung des Ertragswerts von Bauernhöfen (als Grundlage für Darlehen): Im Verlauf des Schätzverfahrens müssen allerdings Gebäude auch «in echt» begangen werden, so dass VR diesen Teil nicht ablösen könnte.
- VR-basierte Visualisierung des Gewässerraums (zusammen mit A-WEL): Aktuell basiert die Vermittlung, beispielsweise im Rahmen der Töss-Renaturierung, auf 2D-Plänen der beauftragten Dienstleister.
- (eventuell) Unterstützung des Prozesses der Grenzdefinition von Bauernhöfen (Definition von Landparzellierungen) und Vermittlung des Resultats
- (eventuell) Anwendungen für die Kontrolle des Boden- oder Naturschutzes

Heute werden manche dieser Prozesse mit dem GIS-Browser und mit Google StreetView unterstützt, um sich aus dem Büro schon mal ein Bild der lokalen Verhältnisse zu verschaffen.

Die Arbeit mit den Bäuerinnen und Bauern erfolgt bisher im physischen Kontakt und wenig digital. Eine vermehrte oder vollständige Ablösung dieser Kontakte hätte auch negative Folgen und würde zum Teil von den kantonalen Mitarbeitenden wohl nicht gut aufgenommen.

Das Amt für Landschaft und Natur muss sich in gewissen Themen mit dem ARE koordinieren (zum Beispiel bei Umnutzungsbewilligung für Bauernhöfe). Diese Zusammenarbeit könnte künftig allenfalls mit XR-Anwendungen noch verbessert werden.

### **Bedürfnisse**

Die Abteilung und die Führung wären offen für neue Themen wie XR. Das Amt könnte laut dem Befragten allenfalls auch eigene Hardware wie Smartglasses besorgen, wenn interessante Anwendungsfälle wie die virtuelle Erkundung umgesetzt werden.

Der Befragte wäre interessiert an einer Beurteilung der Datenlage und inwiefern die vorhandenen Daten die genannten Anwendungsfälle bereits ermöglichen würden.

## **5.6 Bildungsdirektion**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewte Person ist Sektorleiterin Bauten im Generalsekretariat der Bildungsdirektion des Kantons Zürich. Ihr Team ist zuständig für das Bestellen von Bauten der Bildungsdirektion, für die Nutzendenvertretung im Rahmen von Bauprojekten für Schulen (Übersetzen der Bedürfnisse der Schulen in Anforderungen an Gebäude), für die Investorenvertretung bezüglich der Universität Zürich und für Betriebsfragen.

Geodatenbezug in den Tätigkeiten der Verwaltungseinheit besteht bei der Standortevaluation für neue Mittelschulen, bei Machbarkeitsstudien für neue Standorte (nach Standortfestlegung) oder für Erweiterungen bestehender Standorte und bei Wettbewerben. Die Tätigkeiten reichen also von ersten groben Konzepten bis hin zu detaillierten Studien, die beispielsweise die Kongruenz des Raumprogramms (geplante Bauvolumen) und des Arels oder die Anbindung an den ÖV prüfen. 3D-Modelle entstehen erst bei Machbarkeitsstudie oder, noch später, in der Wettbewerbsphase.

Das Thema XR wurde vor der vorliegenden Studie im Team noch nicht thematisiert und es bestehen folglich auch noch keine praktischen Erfahrungen.

### **Potenziale**

Die befragte Person identifiziert folgende Potenziale:

- Bessere Vermittlung in Machbarkeitsstudien und Gestaltungswettbewerben: Bisher werden den Nutzerinnen und Nutzern künftiger Standorte und Gebäude für die Entscheidungsfindung klassische Pläne und 3D-Renderings vorgelegt. Die Entscheidungsträgerinnen und -träger entstammen dabei stets verschiedenen Bereichen. Während Vertretende von Bauämtern oder Mitarbeitende externer Architekturfirmen anhand von Plänen Entscheide fällen können, ist es für Vertretende der Schulen (meistens Lehrpersonen, Rektorinnen oder Rektoren) in der Regel schwierig, Pläne und Renderings korrekt zu interpretieren.
- Durch den Einsatz von XR könnten sich im Rahmen von Machbarkeitsstudien künftig Vertreterinnen und Vertreter der Schulen (und eventuell auch andere Involvierte) und im Rahmen von Wettbewerben die Jury-Mitglieder (in der Regel Besteller, Nutzendenvertreter, Vertretende der Architekturfirmen, Vertretende des Hochbauamts und des Immobilienamts) wohl einen besseren Blick über das geplante Bauvorhaben verschaffen und intuitiver die Vor- und Nachteile verschiedener Entwürfe erkennen und bewerten.

- Betriebsunterstützung: Zusätzliche Potenziale werden im Bereich des Betriebs vermutet, wobei dort erst noch genauere Ideen gesammelt werden müssen. Potenziell könnte die Wartung von Leitungen in Schulhäusern ein Einsatzgebiet von XR im Betrieb sein.

### **Bedürfnisse**

Gemäss der Einschätzung der Befragten werden potenzielle Nutzende AR- und VR-Anwendungen nicht ohne Unterstützung durch die Nutzendenvertreter der Bildungsdirektion verwenden können. Deshalb und weil XR und 3D-Daten auch für die Nutzendenvertreter selbst noch neue Themen sind, besteht in der Bildungsdirektion Bedarf für Schulungen.

Die Motivation für den Einsatz von XR ist vermutlich noch nicht unbedingt bei allen potenziellen Nutzenden vorhanden. Deshalb wird es in der Einschätzung der befragten Person wichtig sein, die Nutzenden und Nutzendenvertreter von XR zu begeistern, indem man ihnen mit ersten Anwendungen Mehrwerte aufzeigen und etwaige Vorurteile beseitigen kann.

Aus technologischer Sicht werden sowohl AR als auch VR für verschiedene Zwecke als interessant angesehen: VR dabei vor allem für die Jurierung in geschlossenen Räumen im Rahmen von Wettbewerbsverfahren, AR eher auf dem Areal, insbesondere falls bestehende Bauten einen Einfluss auf das geplante Bauvorhaben haben. Bei der einzusetzenden Hardware gibt es keine Präferenzen, wichtig ist dabei aber die möglichst einfache Bedienung.

Zentimetergenaue Positionierung spielt für die Bildungsdirektion angesichts der Anwendungsfälle wohl keine grosse Rolle (ausser allenfalls im Betrieb). Ein wichtiges Thema ist hingegen die Interaktionsmöglichkeit zwischen mehreren Geräten, damit die Nutzerinnen und Nutzer bestmöglich über ein gemeinsam betrachtetes Modell diskutieren können.

Hervorgehoben wurde im Interview schliesslich, dass für die Bildungsdirektion die Offenheit des Hochbauamts gegenüber XR entscheidend ist. Das Hochbauamt hat bei den Projekten der Bildungsdirektion jeweils die Leitungsrolle inne.

## **5.7 Forensisches Institut Zürich**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Der Interviewpartner leitet das Team für Bildforensik und ist Co-Leiter des 3D-Zentrums Zürich<sup>87</sup>, einer Kooperation zwischen dem Forensischen Institut und der Universität Zürich.

---

<sup>87</sup> <https://3dzz.ch>

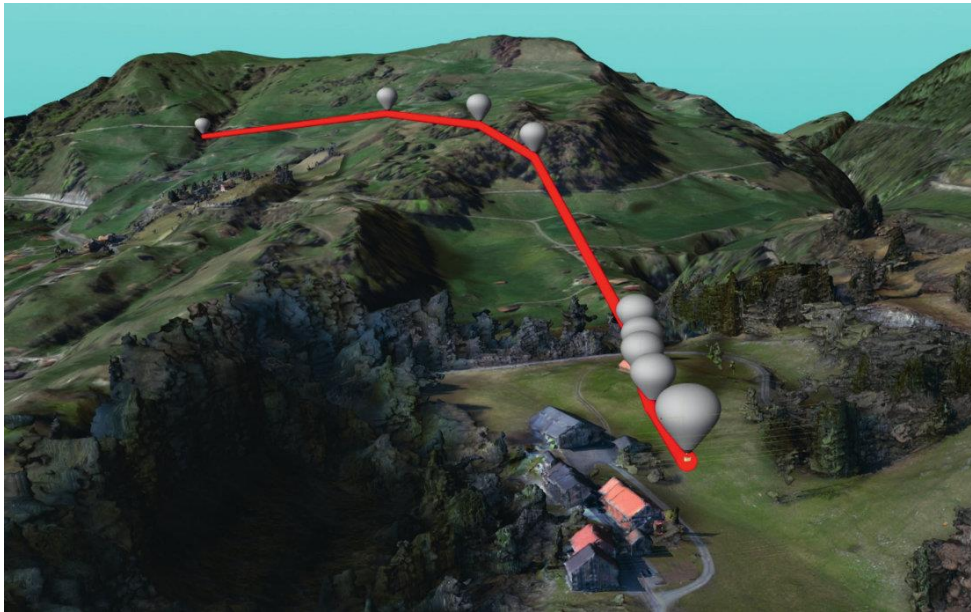


Abbildung 39: 3D-Rekonstruktion der Flugbahn eines Heissluftballons (Bild: 3D-Zentrum Zürich)

Geodaten kommen in der Tätigkeit des Teams in erster Linie bei der Rekonstruktion von Unfällen (zum Beispiel Flugunfälle (Abbildung 39), Verkehrsunfälle (Abbildung 40)) und Tathergängen (zum Beispiel Schussbahnrekonstruktionen) zum Einsatz. Für diese Zwecke relevante Geo- und andere Daten sind:

- topografische Landschaftsmodelle (aktuell swissTLM3D von swisstopo) mit Hochspannungsleitungen, Strassen, Bäumen und Gebäuden
- Orthophotos
- digitale Oberflächenmodelle (von Swisstopo)
- eigene Laserscans (sowohl terrestrisch als auch mittels LiDAR-Scanner an einem Polizei-Helikopter) für die präzisere Erhebung der Umgebung
- Aufnahmen aus Überwachungskameras

XR ist für das Team kein neues Thema: Es erstellt im Tagesgeschäft 3D-Rekonstruktionen von Unfällen und Tathergängen, in gewissen Fällen werden diese 3D-Rekonstruktionen mithilfe von VR visualisiert (oder es werden Renderings und Ausdrücke erzeugt). AR hingegen kommt bisher noch nicht zum Einsatz. Vermehrt wird in Gerichtsverhandlungen eine VR-Station aufgebaut, damit Richterinnen und Richter sowie (Staats-)Anwältinnen und -Anwälte den Sachverhalt in einer virtuellen 3D-Umgebung nachvollziehen können. Neben der Rechtspflege kommen VR-Anwendungen auch in der Lehre zum Einsatz, in der sich das Institut stark engagiert.



Abbildung 40: Per terrestrischem Laserscan dreidimensional erhobene Umgebung eines Verkehrsunfalls (Bild: Forensisches Institut Zürich, 3D-Zentrum Zürich)

Hardware-seitig kam bei den bisherigen VR-Anwendungen die HTC Vive zum Einsatz. Um ausreichend Rechenleistung zu haben, wird diese VR-Hardware an einen externen Rechner angeschlossen. Dies bedingt relativ umfangreiche Arbeiten durch dedizierte Fachpersonen für die Unterstützung von Gerichtsverhandlungen.

Die Datenaufbereitung nimmt das Forensische Institut in erster Linie mit 3D Studio Max vor. Es setzt aber auch Autodesk Meshmixer, AutoCAD und Open Source-Tools wie CloudCompare ein. Der Datenaustausch erfolgt stets dateibasiert (nicht via Services); als Hauptformat dient OBJ. Das Deployment der VR-Applikation erfolgt anschliessend in Unity.

Die bisherigen Einsätze von XR werden als Erfolg angesehen. Auch von weniger technologieaffinen Nutzenden kommt äusserst positives Feedback. Als Erfolgsfaktor wird dabei in erster Linie die erzielte Immersivität genannt.

### **Potenziale**

Nicht nur in den Bereichen, wo VR bereits zum Einsatz kommt, wird Potenzial für die Verwendung von XR gesehen, auch andere mögliche Anwendungsfälle werden im Interview genannt. Folgende Potenziale werden dabei identifiziert (zum Teil ohne Geodatenbezug):

- VR in der Gerichtsverhandlung: Dieser Anwendungsfall ist bereits einige Male zum Einsatz gekommen. 3D-Rekonstruktionen von Tathergängen sind bereits seit Jahren üblich. In vielen Fällen werden daraus allerdings nur ausgedruckte Renderings vor Gericht gezeigt. Um den Sachverhalt intuitiver nachvollziehen zu können, können Beteiligte mit Unterstützung durch das Forensische Institut 3D-Rekonstruktionen in einer VR-Umgebung betrachten.
- AR zur Qualitätssicherung von selbst erhobenen Geodaten: Bei der Datenerhebung im Feld mittels Laserscanning könnten die erhobenen

Daten künftig direkt mittels AR auf die Umgebung projiziert werden. Dadurch kann unmittelbar eine grobe Qualitätssicherung vorgenommen werden.

- VR zur Visualisierung in Zeugenbefragungen: In diesem Anwendungsfall soll ein Zeuge oder eine Zeugin durch das Eintauchen in den virtuellen Tatort den Tathergang besser aufzeigen können. Erste Tests dafür laufen bereits.
- AR in der Gerichtsmedizin (ohne Geodatenbezug): Durch den Einsatz von AR könnten in der Gerichtsmedizin gewisse Sachverhalte besser veranschaulicht werden.

Als Schwierigkeit für die Arbeit mit XR werden vor allem technische Ressourcen identifiziert: 3D-Rekonstruktionen können oft sehr detailreich werden, was zu sehr grossen Datensätzen führt. Für die Darstellung in XR müssten diese Daten dann wiederum vereinfacht werden und es kommt aktuell aufwändig zu betreibende Hardware zum Einsatz.

### **Bedürfnisse**

Der Interviewpartner wünscht sich einen einfachen Zugriff auf gut auffindbare, hochwertige und möglichst aktuelle Geodaten. Im Idealfall wären die Geodaten über eine Plattform in einem bestimmten räumlichen Ausschnitt direkt im Format OBJ zu beziehen und möglichst automatisch mit den institutseigenen Daten kombinierbar. Generell werden die Sichtung und der Bezug von manchen Daten(formaten) vonseiten des Kantons als eher kompliziert eingestuft: Die Mitarbeitenden nutzen zum Teil Google StreetView für die schnelle Orientierung oder digitalisieren manchmal auch gewisse Sachverhalte aus kantonalen Plänen.

Weiter wird die Bereitstellung von Hardware, vor allem im AR-Bereich, gewünscht, damit künftig auch der Tabletop-basierte kooperative Ansatz verfolgt werden kann. Ausserdem wünscht sich der Interviewpartner eine digitale Plattform für das Deployment von 3D-Modellen.

Für XR-Applikationen schätzt die interviewte Person Zentimeter-Genauigkeit als wichtig ein, da auch bei Laserscans Daten in dieser Genauigkeit erfasst werden.

Bisher liegt der Fokus des Forensischen Instituts stark auf VR. AR bleibt aber für die Zukunft interessant. Hardware-seitig sieht das Forensische Institut für beide XR-Unterarten vor allem Headsets oder Smartglasses vor, da diese eine bessere Immersivität bieten als andere Hardwaretypen. Die kollaborative Nutzung von XR, die dynamische Veränderung von Szenen (Verschieben von Objekten) und beispielsweise Kommentarfunktionen in XR-Szenen sind bzw. wären für die Anwendungskontexte des Forensischen Instituts sehr interessant.



## 5.8 Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Luft, Klima und Strahlung

### Ausgangslage und Erfahrungen

Die interviewten Personen sind in der Abteilung Luft, Klima und Strahlung im Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft tätig und leiten dort die Sektionen Emission bzw. Strahlung.

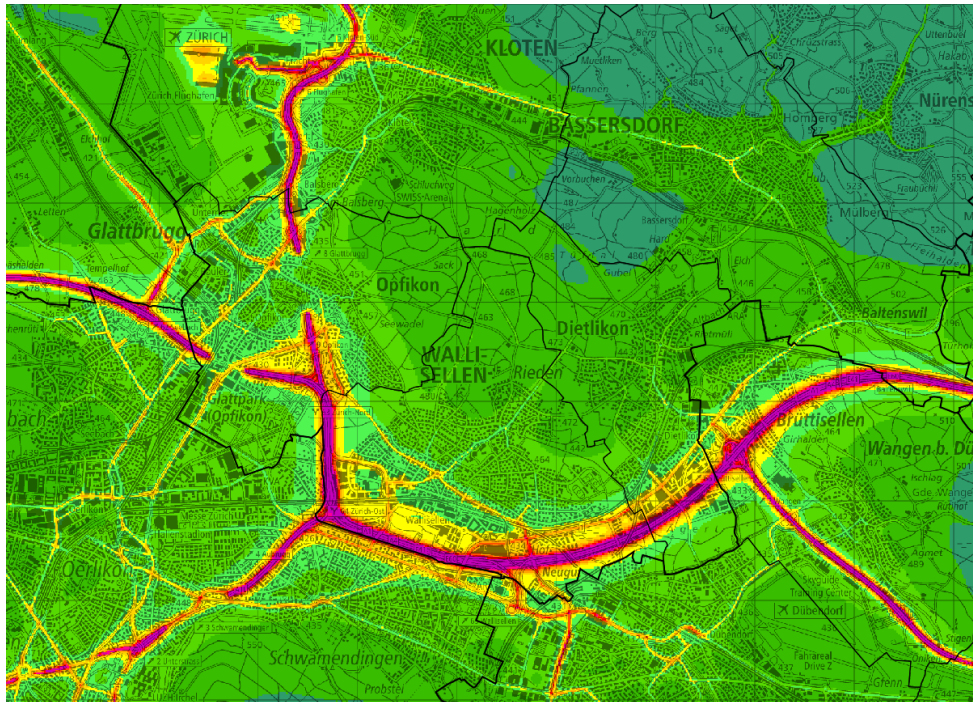


Abbildung 41: Karte der NO<sub>2</sub>-Immissionen im Jahr 2015 im GIS-Browser des Kantons Zürich

Themen mit Geodatenbezug in der Sektion Emissionskontrolle sind die Bewilligung von Anlagen, aus denen Schadstoffe austreten. Relevant dabei sind vor allem Kaminhöhen, das umliegende Terrain und umliegende Bauten. In der Sektion Strahlung ist ein wichtiger Arbeitsinhalt mit Geodatenbezug die Beurteilung der Konformität von Mobilfunkanlagen, wo die potenzielle Strahlenbelastung von umliegenden Gebäuden untersucht wird.

In den beiden genannten Sektionen wird in erster Linie mit Geodaten aus dem kantonalen GIS gearbeitet und dabei unter anderem mit Daten bzw. Kartendarstellungen der amtlichen Vermessung oder der Zonenplanung sowie mit Daten zu Gebäudehöhen und dem Terrain.

XR wurde im Team vor der vorliegenden Studie noch nicht thematisiert und es bestehen folglich auch noch keine praktischen Erfahrungen im Thema. 3D-Modellierungen sind zwar ein wichtiges Thema, finden aber ausschliesslich auf 2D-Bildschirmen statt.



### **Potenziale**

Im Team bestehen vorerst zwei Ideen, wo die XR-Technologien künftig angewandt werden könnten:

- AR für die Standortevaluation von Mobilfunkanlagen (Sektion Strahlung): Bislang wird der zu prüfende Standort im Feld besucht und anschliessend am Schreibtisch die Strahlung modelliert. Mit einer AR-Applikation vor Ort könnten die geplante Mobilfunkanlage und die modellierte potenzielle Strahlung bereits in der Umgebung integriert betrachtet werden. Dadurch wäre beispielsweise die Abschattung durch Gebäude intuitiver und besser erkennbar als beim herkömmlichen Vorgehen.
- VR für die Untersuchung von Geruchsmeldungen (Sektion Emissionen): Wenn an einem Standort unerwünschte Gerüche auftreten, muss die Sektion Emissionen herausfinden, aus welcher Anlage die verursachenden Emissionen stammen. Durch eine Modellierung der Umgebung und anschliessende Aufbereitung in VR könnte der heutige Prozess vereinfacht werden.

Beide Anwendungsfälle stellen interne Applikationen dar, es wird also nicht mit Nutzenden ausserhalb des Teams gerechnet.

### **Bedürfnisse**

Das Team wünscht sich vor allem Unterstützungsleistungen ausserhalb von XR, insbesondere bei der Modellierung von Emissionen und Strahlung. Auf Geodaten-Seite wünschen sich die beiden AWEL-Sektionen gut zugängliche und einfach kombinierbare Daten. Eine künftig mögliche Umsetzung von XR-Applikationen wird ausserhalb vom Amt gesehen. Die Sektionen sehen sich als Nutzende von XR-Applikationen.

Je nach Sektion scheint AR bzw. VR interessanter (vgl. Potenziale oben). Beide Sektionen stellen sich Anwendungen mit Headsets vor. Im Bereich AR (Standortevaluation von Mobilfunkanlagen) wird eine Positionsgenauigkeit im Bereich von 10-50 cm gewünscht. Die kollaborative Nutzung künftiger XR-Anwendungen zwischen mehreren Nutzenden wird als sehr wichtig angesehen.

## **5.9 Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Gewässerschutz**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewte Person leitet die Sektion Abwasserreinigungsanlagen in der Abteilung Gewässerschutz des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft. Wichtige Tätigkeiten sind die Belieferung des Bundes mit kantonalen Daten zum Thema Abwasserreinigung und Baubewilligungsprozesse im Zusammenhang mit Abwasserreinigungsanlagen (ARAs).

XR-Anwendungen sind kein vollends neues Thema: Aktuell läuft ein Pilotprojekt in einem Baubewilligungsprozess bei der ARA Birmensdorf. In der ARA Uster wird XR zusätzlich zur Unterstützung verschiedener Arbeiten im Bereich Reparaturen bzw. Betrieb getestet.

Im Projekt in der ARA Birmensdorf wird der komplette Bewilligungsprozess mittels dem Building-Information-Modelling-Ansatz (BIM) abgewickelt. In dieser Zeit steht beim Kanton temporär eine VR-Station zur Verfügung. Anstelle von klassischen Plänen in Papierform (bzw. als digitale 2D-Pläne) können die kantonalen Mitarbeitenden Pläne so als 3D-Modelle in einer virtuellen Umgebung betrachten. Die Daten liegen dabei extern auf einem Server der mit der Begleitung betrauten Planungsfirma, welche die Pläne erstellt hat. Ziel dieses Pilotprojekts ist es, die positiven und negativen Aspekte einer Umstellung des Bewilligungsprozesses auf BIM (mit VR) zu analysieren und zu entscheiden, ob diese Methode als Standard etabliert werden soll.

### **Potenziale**

Die interviewte Person nennt zahlreiche (hauptsächlich) BIM-bezogene Potenziale, aus denen sich auch Brücken in XR-Anwendungen schlagen lassen:

- Verbindung von BIM und GIS: Von immer mehr ARAs sind 3D-Modelle vorhanden, während im kantonalen GIS Standortinformationen der ARAs vorliegen. Durch eine Verknüpfung könnte man künftig direkt via das kantonale GIS in die 3D-Modelle eintauchen – allenfalls auch mittels VR-Umgebungen.
- BIM-kompatible Baugesuche: Künftig sollen sämtliche Baugesuche elektronisch in Form von IFC-Modellen eingereicht werden können. Dadurch möchte man ein einheitliches System einführen, mit dem alle Baugesuche mit all ihren Facetten detailgetreu und intuitiv bewertet werden können. XR-Anwendungen könnten ein Teilaspekt dieser Lösung sein.
- Digitaler Zwilling: Von jeder ARA soll es dereinst eine Art virtuelles Abbild geben, das den aktuellen Betriebszustand zeigt. Wenn sinnvoll, könnte diese Anwendung allenfalls mittels VR unterstützt werden.

Alle diese möglichen Anwendungsfälle sind interne Anwendungen, da im Bereich Abwasser meistens mit vertraulichen Daten gearbeitet wird, die nicht mit der Öffentlichkeit geteilt werden können.

### **Bedürfnisse**

Damit die Kantonsverwaltung künftig alle Baugesuche als BIM-Modelle speichern kann, beurteilt die befragte Person die Bereitstellung einer adäquaten Serverinfrastruktur für die Ablage grosser Datenmengen als notwendig. Alternativ müsste jeweils eine Verbindung auf einen externen Server des jeweiligen Planers aufgebaut werden, um dort vorgehaltene Daten, beispielsweise für XR-Anwendungen, nutzen zu können. Im Zusammenhang mit dem Aufbau dieser Datenbasis sind zudem noch diverse juristische Fragen zu klären (Zugriff, Datenschutz und Informationssicherheit, geistiges Eigentum).

## 5.10 Amt für Raumentwicklung, Abteilung Archäologie und Denkmalpflege

### Ausgangslage und Erfahrungen

Die interviewten Personen sind in der Abteilung Archäologie und Denkmalpflege als Ressortleiterin bzw. als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Hauptthema in der Archäologie ist die Dokumentation von Grabungen. Durch archäologische Grabungen wird zwangsläufig bestehendes Kulturgut zerstört. Deshalb ist es wichtig, jeden archäologischen Fund so genau wie möglich zu dokumentieren und langfristig zu archivieren.

Bei der Dokumentation von Grabungen spielen Geodaten eine wichtige Rolle: Neben klassischen Formen der Dokumentation wie Zeichnungen oder mündlichen Beschreibungen spielen mittels Vermessungsmethoden oder per Photogrammetrie erhobene Geodaten, aus welchen 3D-Modelle konstruiert werden, eine wichtige Rolle. Aber auch ohne Grabungen können für die Archäologie wichtige Daten erhoben werden, beispielsweise mithilfe von geophysischen Analysen oder mittels Befliegungen (Luftbildaufnahmen und Laserscanning).



Abbildung 42: XR-basierte Vermittlung archäologischer Forschung und Funde (Bild: Martin Bachmann, Kantonsarchäologe)

Die Abteilung Archäologie und Denkmalpflege hat bereits einige XR-Projekte umgesetzt. Diese lassen sich vor allem in zwei Kategorien einteilen:

- XR-basierte Vermittlung für die Öffentlichkeitsarbeit (vgl. Abbildung 42): Dieser Anwendungsfall wurde beispielsweise bei einer Grabung im Singsaal eines Schulhauses umgesetzt. Die Grabung wurde durchgeführt und die Funde wurden detailliert dokumentiert. Anschliessend wurde ein 3D-Modell der Grabung erstellt und in eine AR-Applikation eingearbeitet. Dadurch konnten interessierte Personen die Funde mit-

hilfe eines Tablets oder eines AR-Headsets auch lange nach der Grabung an der entsprechenden Position betrachten. Die Positionierung erfolgte mithilfe von auf dem Boden angebrachten Markern.

- AR-Darstellungen in der Bildung: In Zusammenarbeit mit dem ZHdK-Studiengang Wissenschaftliche Kommunikation wurde in einem Pilotprojekt ein Schulungskoffer entwickelt. Dieser hat unter anderem das Ziel, Archäologie Schulkindern näherzubringen. Schülerinnen und Schüler erhalten ein immersives Arbeitsheft und eine Microsoft HoloLens. Beim Blick mit der HoloLens auf verschiedene Seiten des Heftes werden dann unterschiedliche 3D-Modelle in AR angezeigt, beispielsweise Stadtmodelle von Zürich aus verschiedenen Epochen.

Das bisherige Fazit aus den XR Projekten ist sehr positiv. Da gerade Archäologie sehr visuell ausgerichtet ist, hilft AR dabei, der interessierten Öffentlichkeit ein gewisses archäologisches Wissen näherzubringen. Das Erlebnis der Archäologie wird mit AR-Brillen als deutlich immersiver wahrgenommen als beispielsweise mit einem Smartphone oder Tablet. Als Hauptgründe dafür werden ein grösserer Bildausschnitt und ein nicht spiegelnder Bildschirm genannt.

### **Potenziale**

Zusätzlich zu den oben genannten und punktuell bereits umgesetzten Anwendungsfällen haben die interviewten Personen folgende Potenziale identifiziert:

- Das Amt für Städtebau in Zürich hat eine Applikation entwickelt, mit der die moderne Umgebung am Seeufer mit einer alten Pfahlbausiedlung überlagert werden kann. Ähnliche Applikationen kann man sich auch bei der Abteilung Archäologie und Denkmalpflege vorstellen.
- Standardisierte Einsatz von AR bei Grabungen: Üblicherweise werden Grabungen durch 3D-Modelle dokumentiert. Meistens werden diese 3D-Modelle aber nur auf 2D-Bildschirmen oder als gedruckte Renderings betrachtet. Zukünftig könnte die Anwendung von AR Standard werden für die Visualisierung von Grabungen.
- Rekonstruktionen in XR: Ähnlich wie bei den Grabungen werden Rekonstruktionen normalerweise in 3D modelliert aber nur auf 2D-Geräten dargestellt. Mithilfe von AR könnten Rekonstruktionen im Kontext der heutigen Umgebung angeschaut werden. Wenn der Standort nicht frei zugänglich ist, wäre auch eine Visualisierung in VR vorstellbar.

### **Bedürfnisse**

Die Interviewten haben besonders den Wunsch zur Zusammenarbeit zwischen Ämtern im Thema Photogrammetrie hervorgehoben. Die Abteilung Archäologie und Denkmalpflege musste für photogrammetrische Modelle ein eigenes Archiv aufbauen, da es bislang kein entsprechendes kantonales Gefäss gibt. Zudem wünscht man sich einfachen Zugang zu Geodaten hoher Qualität, beispielsweise zu LiDAR-Daten mit bathymetrischen Tiefenmodell.

Grundsätzlich ist im Amt das fachliche Knowhow vorhanden. Unterstützung wünschen sich die befragten Personen vor allem von technischer Seite, beispielsweise durch die Bereitstellung von XR-Hardware. Für die Umsetzung

von XR-Applikationen wurde bisher viel externe Hilfe beansprucht, dort gibt es den Wunsch, entsprechendes Wissen auch im Amt selbst aufbauen und pflegen zu können.

Je nach Anwendungsfall werden sowohl AR als auch VR als interessant angesehen. Für geführte Events sollen dabei primär AR- bzw. VR-Headsets zum Einsatz kommen, während für öffentliche Applikationen auch Smartphone- oder Tablet-Apps interessant sind. In AR-Anwendungen soll die Positionsgenauigkeit im Idealfall auch der Genauigkeit der verwendeten Geodaten entsprechen. Die Interaktionsfähigkeit zwischen XR-Nutzenden ist vor allem wichtig bei Schulungen oder bei Fachdiskussionen über Rekonstruktionen.

## 5.11 Amt für Raumentwicklung, Abteilung Raumplanung

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Die interviewte Person ist in der Fachstelle Landschaft (aktuell Leiter ad interim) in der Abteilung Raumplanung des ARE tätig. Themen mit Geodatenbezug sind unter anderem die kantonale Richtplanung, die Genehmigung der Nutzungsplanungen der Gemeinden und deren Aufbereitung für den ÖREB-Kataster, die Genehmigung von Bauten vor dem Hintergrund des Ortsbildschutzes und des Städtebaus und zusammen mit dem Fachamt die Umsetzung der Landschaftsschutzverordnung und Landschaftscharakteristiken.

Vor der vorliegenden Studie wurden die Themen AR und VR im Team noch nicht thematisiert und es bestehen folglich auch noch keine praktischen Erfahrungen.

### **Potenziäle**

Die befragte Person identifiziert folgende potenziellen Anwendungsfälle von XR:

- VR-gestützte Beurteilung von Baugesuchen, Durchführung von Projektwettbewerben und – vor dem Hintergrund des Ortsbildschutzes – Aufzeigen von Bauvorhaben im Kontext von virtuellen Stadtmodellen mit den bestehenden Gebäuden. Erste Beurteilungen zum Beispiel von Baugesuchen finden aktuell im Büro statt. Hier wären Table-Top-AR-Modelle oder eine VR-Anwendung interessant.
- XR-unterstützte Gebietsplanungen zum Beispiel für Hochschulareale: Das ARE fungiert als Genehmigungsbehörde und kooperiert in Gebietsplanungen mit den Gemeinden für die Formulierung von Gestaltungsplänen. Bei grösseren Bebauungen könnten Gebietsplanungen und die Vorgaben des Gestaltungsplans (zum Beispiel Gebäudehöhen und -volumen) mit AR oder VR der Öffentlichkeit gezeigt und erläutert werden. Gegenstand wären einfache Volumenmodelle, nicht fertige detaillierte Projekte (letzteres liegt im Aufgabenbereich des Bauherrn).
- XR-Visualisierung von hypothetischen (noch nicht exakt verorteten) Windkraftanlagen und deren Einpassung in das Landschaftsbild. Im kantonalen Richtplan sind zu diesem Thema Potenzialgebiete für Windkraftanlagen bezeichnet.

- AR-gestützte Visualisierung der Landschaftsgeschichte: Dieser Anwendungsfall richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit. Diese könnte von Aussichtspunkten im Kanton eine App auf dem Smartphone nutzen.
- XR-basiertes Aufzeigen von Veränderungen im Rahmen von Gestaltungsplänen von Kiesabbau-Standorten und Deponien
- Eventuell XR-gestützte Planung des Untergrunds (Werkleitungen und Tunnel)

Der Befragte beurteilt aktuell AR als etwas interessanter für die Zwecke des ARE als VR. Die Verwendbarkeit auf einem Smartphone oder Tablett wäre attraktiv. Es wird als unrealistisch eingeschätzt, dass Mitarbeitende künftig über eigene Smartglasses verfügen. In den meisten Anwendungsfällen wären Mitarbeitende des ARE oder die Öffentlichkeit das Zielpublikum. Firmen fungierten als Ersteller und Lieferanten der (Planungs)Daten.

Viele der für die Anwendungsfälle notwendigen Daten (Höhenmodelle, Richtplandaten, Gebäudemodell (von swisstopo)) sind schon vorhanden. Die Frage was durch den Kanton nacherfasst würde (beispielsweise Daten zur Landschaftsgeschichte) bzw. was man im Rahmen von Bewilligungen den Gesuchstellern zur Erfassung überlässt, muss noch geklärt werden.

Die Anforderungen an die Lagegenauigkeit der Daten und, bei AR-Anwendungen, der Positionierung variiert je nach Anwendungsfall. Bei der Beurteilung von Baugesuchen sollten Darstellungen möglichst auf 10 Zentimeter genau sein, bei landschaftsbezogenen Projekten wie Kiesabbau wäre die Toleranz bei circa 50 Zentimetern.

### **Bedürfnisse**

Da Private im Rahmen von Planungen und Gesuchen vermehrt Daten abgegeben werden, muss der Kanton die notwendige Infrastruktur (Schnittstellen, Speicherplatz, Software, Hardware) bereitstellen, um diese adäquat zu verarbeiten und zu konsumieren. Der Befragte glaubt, dass seine Organisationseinheit auch künftig kaum in grossem Umfang Daten erstellen wird und dass sie vermutlich extern erstellte XR-Anwendungen konsumieren wird. Von der Abteilung Geoinformation erwartet der Interviewte, dass sie die wichtigen der bestehenden umfangreichen Grundlagedaten künftig auch XR-kompatibel bereitstellen kann. Attraktiv wäre ergänzend oder als Ablösung von swisstopo-Daten zudem ein Gebäudemodell über den gesamten Kanton.

## **5.12 Projektausschuss des kantonalen Leitungskatasters (vertreten durch Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation)**

### **Ausgangslage und Erfahrungen**

Via die Ansprechpersonen wurden Vertretende von drei Organisationen im Projektausschuss Leitungskataster (schriftlich) interviewt: Stadt Zürich, Werke am Zürichsee und SNZ Ingenieure und Planer AG.

Bei den Befragten wurde XR bereits vor der vorliegenden Studie thematisiert. XR wurde, insbesondere von der Stadt Zürich, auch schon in verschiedenen Kontexten eingesetzt, aber nicht im Bereich des Leitungskatasters.

Die Daten wurden dabei dateibasiert, nicht aus Webdiensten eingebunden. Wo schon geschehen, wird der Einsatz von XR als positiv beurteilt. Insbesondere können nicht speziell geschulte Personen aus der Bevölkerung gut an ein Thema herangeführt werden. Dies gelingt mit Plänen nicht oder nur schlecht.

### **Potenziale**

Bezogen auf den Leitungskataster verorten die Befragten Potenzial für XR in folgenden Anwendungsfällen:

- Unterstützung von Grabarbeiten mittels AR: Eine AR-Anwendung zeigt den für eine Grabung Verantwortlichen vor Ort den auszuhebenden Bereich und Infrastrukturen im Untergrund an.
- XR-Visualisierungen für das Erkennen von Konflikten im Untergrund in Tiefbauprojekten: Eine entsprechende Anwendung könnte beispielsweise durch vorhandene Elemente blockierte Abschnitte, Querungen oder freien Raum für neue Leitungen aufzeigen.
- AR-Visualisierungen für Blaulichtorganisationen: Eine AR-Anwendung visualisiert für Feuerwehr und Polizei im Feld wichtige Infrastrukturen aus dem Leitungskataster (Gasleitungen und Abwasserkanäle).
- Qualitätssicherung der Datenerfassung im Feld mittels AR (beispielsweise Überprüfung von Kandelabern und Bauwerken wie etwa Reservoirs oder Trafostationen)
- AR-basierte Unterstützung der Vermessung im Feld: Eine Applikation könnte beispielsweise beim Auffinden von Grenzpunkten unterstützen.

Zielpublikum der Anwendungsfälle wären Projektleitende, Projektingenieurinnen und -ingenieure, Zeichnerinnen und Zeichner, Gemeinden, Architekturfirmen und eventuell auch Privatpersonen.

Die Anwendungen würden im Idealfall über Daten zu sämtlichen unterirdischen Objekten und Phänomenen (zum Beispiel Leitungen, Erdsonden, Erdanker, Stützmauern, Gebäudeteile, Stollen, Tunnels, Bodenhorizonte), zu oberirdischen Objekten (zum Beispiel Gebäude, Strassen, Brücken, Terrain, Bäume, Beleuchtung, Abspannungen) und allenfalls planerische Festlegungen verfügen.<sup>88</sup> Heute liegen Werkleitungen je nach Projektperimeter in unterschiedlicher Qualität vor. In der Regel handelt es sich nicht a priori um 3D-Daten. Entsprechende Informationen müssen projektbezogen ergänzt werden. Die Werke am Zürichsee erheben Werkleitungen seit 2007 grundsätzlich mittels GNSS, so dass circa 95% der seither aufgenommenen Daten auch über Höhenangaben verfügen.

---

<sup>88</sup> Laut Christian Gees besteht bei der Stadt Zürich eine interne Erhebung der Wünsche bezüglich Geodaten inklusive Priorisierung.



### Bedürfnisse

Die Vertretenden des Projektausschusses Leitungskataster haben folgende Bedürfnisse geäußert:

- Bereitstellung von 3D-Referenzdaten, möglichst hohe Datenqualität (Lagegenauigkeit und Vollständigkeit) und möglichst einfacher Datenbezug
- Bereitstellung von FME-basierten ETL-Workflows zur Datenaufbereitung hinsichtlich XR



Abbildung 43: Gemeinsame Nutzung einer XR-Anwendung im Rahmen eines Architekturwettbewerbs. Im Hintergrund ist die Person, welche die Ansicht für alle anderen steuert. (Bild: Stadt Zürich)

AR wird von den Befragten insgesamt als etwas interessanter eingestuft als VR. Die genaue Positionierung und die kollaborative Nutzung von XR-Anwendungen (Abbildung 43) wird in vielen Anwendungskontexten als wichtig angeschaut.

## 6. Fazit zu den Leitfragen

Im vorliegenden Kapitel werden die in der Studie gestellten Leitfragen LF1 bis LF4 (Kapitel 1.2) nochmals aufgegriffen und zusammenfassend beantwortet. Die Leitfragen LF5 und LF6 werden in Kapitel 7 im Rahmen der XR-Roadmap und der Empfehlungen beantwortet.

### 6.1 Daten, Datenmodellierung und Infrastruktur

**Leitfrage LF1:** Welche Anforderungen stellen AR und VR an die zugrundeliegenden Daten, die Datenmodellierung und die technische Infrastruktur?

Der Bereich XR hat in den letzten Jahren grosse technologische Fortschritte erzielt. Einsatzreife Technologien sind für die Nutzung gut verfügbar:

- Unter den gebräuchlichen Datenformaten, die für XR genutzt werden können, zeigt sich das grösstes Potenzial bei glTF. Dieses Format ist für Visualisierung in XR optimiert und wird durch einschlägige Softwarelösungen bereits relativ breit unterstützt. In der Nutzung verbreiteter sind aktuell noch die Alternativen OBJ – und etwas weniger – FBX.

Swisstopo hat während der Erarbeitung der vorliegenden Studie eine Umfrage zu Präferenzen bezüglich Geodatenformaten für 3D-Daten und Anwendungen durchgeführt. Diese zeigt ebenfalls dass aktuell OBJ mit Abstand am häufigsten genutzt wird (wobei circa zwei Drittel der Befragten 3D-Daten für Visualisierungen nutzen).<sup>89</sup> Auch FBX und glTF wurden in der Umfrage häufig genannt. Vor diesen beiden Formaten war noch CityGML rangiert. Dieser OGC-Standard spielt als generelles Austauschformat zwar im 3D-Bereich eine grosse Rolle, für XR ist seine Bedeutung aber nur untergeordnet.

- Einige XR-Softwarelösungen unterstützen seit noch nicht sehr langer Zeit Geodienste gemäss der OGC Community Standards 3D Tiles oder i3S (Kapitel 2.4). In der Praxis ist deren Verbreitung aktuell aber noch sehr gering. Keine der befragten Organisationen nutzt Geodienste in diesen Formaten in XR-Anwendungen. Auch andere Geodienste (WMS, WMTS, WCS; zum Beispiel für Orthophotos) werden aktuell kaum genutzt; die Einbindung von Daten geschieht stattdessen dateibasiert. Mittelfristig, wenn die technische Unterstützung breit etabliert und bekannt ist, dürften Daten als 3D Tiles und i3S aber dennoch eine grössere Rolle spielen, da ihre Streaming-Fähigkeit gegenüber dem dateibasierten Vorgehen grosse Vorteile bringt.

Die bestehende bzw. geplante Infrastruktur des Kantons Zürich (Kapitel 3.1) mit Safe Software FME Workbench und Server sowie mit Esri ArcGIS Server unterstützt die Generierung dieser Formate und Dienste.

- XR-Hardware hat in den letzten Jahren grosse Fortschritte im Bereich der Bildqualität und der Performanz erzielt. Hochqualitative Geräte sind aber

<sup>89</sup> Swisstopo, Umfrage 3D-Pakete: <https://www.findmind.ch/dashboard/GS4TvNXZAY>

immer noch teuer und die Alltagstauglichkeit, insbesondere «im Feld», ist nur bedingt gegeben – die Geräte sind beispielsweise empfindlich gegen Stürze und Nässe und die Benutzung bei grosser Sonneneinstrahlung ist nicht optimal.

XR-Hardware wird sich auch in den nächsten Jahren stark weiterentwickeln, unter anderem auch im Consumer- oder Prosumerbereich mit Aktivitäten von Apple, Google, Meta und Microsoft. Für eine Hardware-Beschaffung und -Bewirtschaftung (beispielsweise eine Möglichkeit zur zentralen Ausleihe von Geräten) durch den Kanton sollte deshalb eine klare Strategie definiert werden und allenfalls nach einer Marktanalyse kongruent eingekauft werden.

Falls sich die Entwicklungen im Bereich Remote Rendering fortsetzen, könnten künftig günstigere Geräte eingesetzt werden und allenfalls auch ältere Geräte länger betrieben werden, da im Remote Rendering-Paradigma die Abhängigkeit von Geräterequellen kleiner ist.

Bezüglich Transformation und Vorbereitung von Geodaten für XR-Anwendungen (vgl. Kapitel 2.3) haben insbesondere die durchgeführten Interviews klar gezeigt, dass der Prozess stark abhängig vom jeweiligen Geodatenatz und dem beabsichtigten Anwendungszweck ist. Letzterer gibt anzustrebende Qualitätsmerkmale wie LoD, Aktualität und Genauigkeit des Datensatzes vor, welche wiederum den Vorbereitungsprozess definieren. Es gibt über die in Kapitel 2.3 beschriebenen Vorgehensweisen hinaus keinen standardisierten Detailprozess für diese Vorbereitungen. Bei verschiedenen interviewten Akteuren liegen Erfahrungen vor, insbesondere bei VBZ (Kapitel 5.4) und beim Forensischen Institut (Kapitel 5.7) – ausserhalb des Kantons Zürich auch bei Swisstopo, SBB sowie bei den XR-Lösungsanbietern und -Systemherstellern (Kapitel 4.2). Positiv zu vermerken ist zudem, dass im Bereich der Datenvorbereitung seitens GIS- und BIM-Produktherstellern, von den grossen Playern wie Apple, Google, Meta, Microsoft, aber auch von Herstellern von Game Engines mittelfristig mehr Unterstützung erwartet werden kann.

Schliesslich ist für AR-Anwendungszwecke die ausreichend präzise Positionierung von 3D-Modellen im Raum aktuell noch ein Knackpunkt: Bei schlechter Positionierung verfällt der Nutzen und die Attraktivität der Anwendung. Technologien zur präzisen Modellpositionierung sind wie in Kapitel 2.9 beschrieben vorhanden (Geopositionierung mit externen Geräten, Spatial Anchors), aber die Umsetzung in der praktischen Anwendung erfordert aktuell noch Fachwissen und je nach Anwendungsfall und gewähltem Vorgehen allenfalls zusätzliche spezialisierte Hardware.

## 6.2 XR-Nutzung ausserhalb der Kantonsverwaltung

**Leitfrage LF2:** Für welche Zwecke werden AR und VR heute ausserhalb des Kantons Zürich bereits eingesetzt? Welche weiteren Einsatzzwecke gibt es? Wie sind die Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer?

LF2 wurde bezüglich der Einsatzzwecke mit Interviews ausserhalb der Kantonsverwaltung (Kapitel 4.2) und mittels gezielter Literaturrecherche (Kapitel

4.1) beantwortet. Die Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer sind in der Regel positiv, wie in den genannten Kapiteln und auch in einzelnen Unterkapiteln von Kapitel 5 beschrieben. Gut konzipierten XR-Anwendungen gelingt es, den Nutzenden eine neue Qualität in der Nutzung von Geoinformationen und in der Vermittlung der gezeigten Inhalte anzubieten. Dafür ist wichtig, die Sinnhaftigkeit des XR-Einsatzes (gegenüber z.B. einer 2D-Ansicht oder 3D-Renderings) abzuwägen gegen die Kosten.

Probleme bei der Nutzung gibt es noch vereinzelt: Sicherheitsüberlegungen bei der Nutzung im öffentlichen Raum (Kapitel 5.4), Hemmungen und das Empfinden von «Abschottung» bei der Nutzung (Kapitel 4.2.2 und 4.2.3) und vereinzelt Unwohlsein bei der Verwendung von VR-Anwendungen (Kapitel 4.2.2 und 4.2.4). Insbesondere der letzte Punkt hat sich über die letzten Jahre infolge des technischen Fortschritts (besser Performanz, geringere Latenz, genaueres Tracking) aber gebessert.

### 6.3 Potenzial und Bedürfnisse in der kantonalen Verwaltung

**Leitfrage LF3:** Welches Potenzial haben die Technologien für die Verwaltung des Kantons Zürich?

In der vorliegenden Studie wurden mittels Literaturrecherchen und Interviews mit Fachämtern und weiteren Partnern eine Reihe von XR-Anwendungsfällen identifiziert, welche einen hohen Nutzen versprechen und teilweise auch schon erfolgreich in der Praxis angewendet worden sind – innerhalb oder ausserhalb des Kantons Zürich (vgl. Kapitel 4.1, 4.2 und 5):

- Im Planungsbereich bietet die Visualisierung von Gebäuden und Anlagen mit AR vor Ort oder mit VR überall zugänglich einen grossen Nutzen – sei es für Fachpersonen für die Planung, Beurteilung und Umsetzung, aber auch zur Kommunikation an Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie an die Bevölkerung.
- Im Bereich des Unterhalts von Infrastrukturen wie Werkleitungen oder Staatstrassen und entsprechenden Anlagen – und zum Teil im Wirkbereich von Blaulichtorganisationen – bietet die Erfassung von Anlagen und ihren Eigenschaften und die Visualisierung vor Ort beim Aufsuchen oder im Kontext der Anlage mit AR einen Mehrwert.
- Die Visualisierung von «unsichtbaren» Informationen wie zum Beispiel Emissionen (Lärm, Schadstoffe), Entlüftung und Wärme (im Thema Stadtklima) oder Strahlung von Mobilfunkanlagen wäre bei der Planung, bei der Qualitätssicherung von Modellierungen, beim Monitoring, beim Definieren von Schutz- oder Gegenmassnahmen und bei der Kommunikation mit Anspruchsgruppen wertvoll.
- In ähnlich gelagerten Themen, aber auch im Bereich Naturgefahren, haben XR-Anwendungen Potenzial bezüglich Risiko-Kommunikation und Sensibilisierung der Bevölkerung.
- Die Visualisierung von Archäologischen Grabungen oder Rekonstruktionen wird schon heute im Kanton Zürich erfolgreich und mit einiger Routine angewendet. In der Forensik wird XR in Zeugenbefragungen und bei der

Rekonstruktion von Tat- oder Unfallhergängen erfolgreich genutzt. Diese Anwendungsfälle sind weniger generalisierbar für andere Ämter im Kanton, sie zeigen aber das mit dem heutigen Stand der Technik in der Praxis Mögliche und die in den betroffenen Ämtern gewonnene Erfahrung kann genutzt werden für den generellen Wissensaufbau in der Kantonsverwaltung.

**Leitfrage LF4:** Welche Interessen und Bedürfnisse sind bezüglich AR und VR in der Verwaltung des Kantons Zürich vorhanden?

Das Interesse an XR ist in der Verwaltung des Kantons Zürich auf breiter Front gegeben und in manchen Ämtern hoch. Von zwölf befragten Ämtern und Partnern haben sich nur vier vor der vorliegenden Studie noch nicht oder erst wenig mit XR befasst (vgl. Kapitel 5). Alle interviewten Personen konnten für ihren Themenbereich interessante XR-Anwendungsfälle (und zum Teil sogar bereits umgesetzte Anwendungen) nennen.

Im Detail sind die (zusammengefassten und bewerteten) Bedürfnisse der in die vorliegende Studie involvierten Ämter und Partner in Kapitel 7.1 und Anhang A1 beschrieben. Aufgrund des stark unterschiedlichen Erfahrungs- und Wissensstands bezüglich XR in den diversen Stellen sind die Bedürfnisse für Unterstützung durch die Abteilung Geoinformation im Thema XR ebenfalls heterogen. Generell lässt sich aber feststellen:

- Es besteht der überwiegende Wunsch, dass die Abteilung Geoinformation Kompetenzen aufbaut, um die Ämter bei der Konzipierung und der Umsetzung von XR-Anwendungen mit Fachwissen unterstützen zu können.
- Die Unterstützung bei der Bereitstellung von XR-fähigen Geodaten, beim Ermöglichen des einfachen Datenzugriffs und -austauschs zwischen Ämtern, bei der Definition von Standards für Modelle und Schnittstellen sowie die Bereitstellung von Tools zur Aufbereitung und Konvertierung von Geodaten wurden klar gewünscht.
- Die vermehrte Koordination und der Erfahrungsaustausch im Thema würden begrüsst.

Die zentrale Bereitstellung von Hardware bzw. Organisation einer zentralen Ausleihe von Hardware wurde in den Interviews von mehreren Seiten, aber nicht generell, gewünscht.

Das Unterstützungsbedürfnis bei der eigentlichen Softwareentwicklung von XR-Applikationen ist geteilt: Die Fachämter sind sich nicht einig, ob hier nur mit externer Unterstützung gearbeitet werden soll oder ob auch in den Fachämtern selbst oder in der Abteilung Geoinformation entsprechende Expertise und Ressourcen aufgebaut werden sollen.

## 7. Synthese, Roadmap und Empfehlungen

**Leitfrage LF5:** Wie könnten AR und VR im Kanton Zürich künftig genutzt werden? (Roadmap bezüglich Daten, Technologien und Kompetenzen)

Im Rahmen eines Synthese-Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern der Abteilung Geoinformation, weiteren Stellen der Kantonsverwaltung sowie des Forensischen Instituts und der VBZ wurde eine Synthese erstellt. Die in Tabelle 10 aufgeführten Einheiten und Personen haben am Syntheseworkshop teilgenommen.

Name	Organisation
Priska Haller	Abteilung Geoinformation
Michael Boller	Abteilung Geoinformation
Vanessa Guidetti	Abteilung Geoinformation
Rolf Brändle	Tiefbauamt, Stab, Informationsmanagement
Dominik Hänni	Forensisches Institut
Christian Heimlicher	VBZ
Stefan Racheter	Amt für Raumentwicklung, Abteilung Raumplanung

Tabelle 10: Teilnehmer des Synthese-Workshops in der kantonalen Verwaltung, am Forensischen Institut und bei der VBZ

Im Workshop wurden die anhand von Literaturanalysen, in Diskussionen mit der Abteilung Geoinformation und in Interviews identifizierten Anwendungsfälle und Potenziale, die Herausforderungen bzw. Bedürfnisse und die Erfolgsfaktoren reflektiert und diskutiert.

Die Herausforderungen und Bedürfnisse wurden anschliessend in einem ersten Schritt von allen Workshop-Teilnehmenden bezüglich ihrer Wichtigkeit bewertet. In einem zweiten Schritt wurden aus der Gesamtsicht von Potenzialen, Bedürfnissen und Erfolgsfaktoren durch die Abteilung Geoinformation bzw. durch die Kantonsverwaltung zu treffende Massnahmen abgeleitet und auf dem Zeitstrahl («kurz-», «mittel-» oder «langfristig») positioniert.






In der Folge werden die im Workshop erarbeiteten und durch EBP weiterverarbeiteten Ergebnisse aufgezeigt.

### 7.1 Bewertete Herausforderungen und Bedürfnisse

Folgende Herausforderungen wurden im Rahmen des Workshops mit mindestens zwei Punkten von insgesamt 70 durch die Teilnehmenden vergebenen Punkten als wichtig klassiert:

## Legende



Herausforderung / Bedürfnis	Gewichtung
<b>Gemeinsame Plattform zum Austausch von Modellen im Kanton:</b> Der Aufbau einer kantonsweiten Plattform für Upload und Teilen von 3D-Daten, die für XR geeignet sind, wurde als zentrales Bedürfnis erkannt. Der Aufwand für die Aufbereitung würde somit nicht in jedem Amt anfallen, und es würde zentral genügend Speicherplatz für die grossen Datenmengen zur Verfügung stehen. Die Modelle sollten über einen einfachen Viewer betrachtet werden können, optimal wäre eine standardisierte Schnittstelle für den Zugriff.	 22 (11 + 11)
<b>Unterstützung bei Aufbereitung XR-fähiger Daten:</b> Die Zurverfügungstellung von Tools zur Vereinfachung von Modellen für die performante Darstellung in XR, und zur Konvertierung von Geo- und BIM-Daten zu XR-Modellen wurde als wichtig erachtet. Es sollte z.B. ein kombinierter Datenbezug von Geodaten über definierten Perimeter als 3D Scene ermöglicht werden.	 12 (2 + 10)
<b>Aufbau Standards für Modelle und Schnittstellen:</b> Durch eine einheitliche standardisierte Datenbeschaffung und -haltung von XR-fähigen Modellen könnten Synergien im Kanton realisiert und Ressourcen eingespart werden.	 6 (4 + 2)
<b>Koordination und Erfahrungsaustausch:</b> Eine stärkere Koordination zwischen Ämtern von Kanton, Stadt und Partnern bezüglich Projekte, und Austausch von Erfahrungen und Best Practices würde den Wissensaufbau im Kanton unterstützen.	 6 (5 + 1)
<b>Integration BIM in XR:</b> Mit den Fachpersonen aus dem BIM-Bereich sollten Grundlagen und Standards für die Modellierung erarbeitet werden, so dass die Nutzung der Modelle in XR einfacher möglich wäre. Diese erarbeiteten Standards sollten Teil vom Bestellprozess für Kantonsbauten werden.	 5 (0 + 5)







Herausforderung / Bedürfnis	Gewichtung
<b>Bereitstellung Viewer-App:</b> Mit der Bereitstellung einer simplen Applikation zur Ansicht von XR-Modellen könnte ein einfacher Einstieg in die 3D Visualisierung und XR ermöglicht werden.	 4 (3 + 1)
<b>Schulung und Sensibilisierung der Fachämter:</b> Verantwortungstragende könnten mittels Projektmarketing für die neue Technologie begeistert werden, und Nutzenvertretende sollten geschult und in der Anwendung vertraut werden.	 3 (2 + 1)
<b>Pilotprojekte umsetzen:</b> Innovativen Basistechnologien sollten durch Pilotprojekte getestet werden, um Erfahrungen in den Fachämtern zu sammeln.	 3 (2 + 1)
<b>Geodaten digital erfassen:</b> Bei bestehenden analogen Daten ist eine Nacherfassung anzudenken, und Daten mit hohen Aktualitätsanforderungen sollen regelmässig aktualisiert werden.	 2

Die Themen, die nur mit einem Punkt bewertet worden sind, sind im Anhang A1 zu finden.

## 7.2 Massnahmen-Roadmap


In einem zweiten Schritt wurden im Workshop Massnahmen identifiziert, die in der Kantonsverwaltung eingeplant werden sollen, um die Nutzung von XR in der Kantonsverwaltung zu fördern. Die Massnahmen wurden im Nachgang zum Workshop weiterentwickelt und um weitere Massnahmen ergänzt. Sie wurden aufgrund ihrer Priorität und aufgrund Abhängigkeiten zeitlich eingeordnet in kurzfristige (1 Jahr), mittelfristige (2–3 Jahre) und langfristige (4–5 Jahre). Zudem wurden die zu beteiligenden Akteure identifiziert. In der Regel übernimmt die Abteilung Geoinformation eine leitende oder koordinierende Rolle. Einbezug und Mitwirkung der anderen Ämter sind bei den meisten Massnahmen sinnvoll. Die folgenden Tabellen zeigen die Massnahmen in den drei Zeitabschnitten.

Domäne	Kurzfristige Massnahmen		Beteiligte
 Expertise und Orga- nisation	M1	Aufbau des Grundverständnisses im Bereich XR in der Abteilung Geoinformation bezüglich Anwendungsfälle, Grundlagen und Erfolgsfaktoren für XR. Eine Grundlage dafür ist die vorliegende Studie.	Abteilung Geoinformation
	M2	Organisation eines periodisch iterierten Austauschs in Bezug auf XR-Themen zwischen den Ämtern im Kanton. Gefässe können beispielsweise der GIS-Ausschuss, die Bildung einer Fachkommission oder die Präsentation als Fokusthema in einem GIS-ZH-Forum sein.	Abteilung Geoinformation und Ämter (bzw. interessierte Ämter)
	M3	Organisation eines fallweisen (später allenfalls periodisch iterierten) Austauschs mit Partnern ausserhalb der Kantonsverwaltung. Mögliche Partner sind insbesondere die VBZ, die Stadt Zürich (und allenfalls Winterthur, sobald sich diese Stadt im Thema XR ebenfalls engagiert) und Swisstopo. Besonders bei den VBZ und bei Swisstopo dürfte das Interesse an einem Austausch gemäss Interviews gross sein.	Abteilung Geoinformation und Externe
 Standardi- sierung	M4	Festlegen von Standards bzw. Weiterentwicklung der bestehenden Standards für die Geodatenmodellierung im GIS-ZH mit dem Ziel der Kompatibilität mit XR-Anwendungen. Hierbei sind Vorarbeiten und Erfahrungen von Arbeitsgruppen aus dem BIM-Bereich einzubeziehen (und allenfalls von Erfahrungen externer Partner zur Schnittstelle BIM-XR, insbesondere VBZ).	Abteilung Geoinformation und Ämter mit BIM-Bezug
 Praxis	M5	Definition, Konzeption und Durchführung von XR-Pilotprojekten mit Partner-Ämtern und allenfalls externer Unterstützung. Evaluation der durchgeführten Projekte und Identifikation von Verbesserungsmassnahmen.	Abteilung Geoinformation zusammen mit ausgewählten Ämtern


Domäne	Kurzfristige Massnahmen	Beteiligte
	<p>M6 Durchführung von Demonstrationen mit in XR-Pilotprojekten entwickelten Anwendungen bei weiteren Ämtern, insbesondere solchen, die selbst noch wenig Erfahrung mit XR aufweisen. Ziel ist die breite Information und das Wecken von Interesse bzw. die Vernetzung mit interessierten Parteien. Bei der Planung der Aktivitäten ist auf bestmögliche Transferierbarkeit des präsentierten Anwendungsfalls zu achten.</p>	Abteilung Geoinformation, eventuell zusammen mit den Ämtern der Pilotprojekte
 Daten	<p>M7 nicht XR-spezifisch<sup>90</sup>: Gegebenenfalls Aufbau oder Verbesserung von Data Governance und Data Management, insbesondere Katalogisierung von im Amt vorhandenen Daten mit räumlichem Bezug, allenfalls Erschliessen des räumlichen Bezugs, Verbesserung der Datenqualität und – wo sinnvoll – Vervollständigung der Daten «in der Fläche».</p>	Ämter, bei Bedarf unterstützt durch die Abteilung Geoinformation
	<p>M8 Bereitstellung eines Basissets (z.B. Orthophoto, DTM/DSM, Gebäude, Verkehrswege, Wald/Bäume, weitere wichtige Einzelobjekte) von XR-kompatiblen Daten basierend auf kantonalen Geobasisdaten (und allenfalls Bundesgeobasisdaten für die thematische Vollständigkeit): Identifikation relevanter Daten (vgl. auch die in der Umfrage der Swisstopo geäusserten Präferenzen zum Inhalte von 3D-Paketen<sup>91</sup>) und allenfalls XR-spezifische Aufbereitung (z.B. Transformation von 2D nach 2.5D bis 3D, Ableitung von LoDs, vgl. Kapitel 2.3). Wenn mittelfristig mehr Geodaten in 3D erfasst werden (vgl. Massnahme M15), kann das Basisset potenziell um diese ergänzt werden.</p>	Abteilung Geoinformation



<sup>90</sup> In Interviews mit Ämtern des Kantons Zürich wurde vereinzelt die mangelnde Übersicht über (Geo)Daten der eigenen Organisation angesprochen. Die hier vorgeschlagene Massnahme ist nicht durch XR-Anwendungsfälle ausgelöst, sondern generell sinnvoll zur Verbesserung des Ist-Zustands in den betroffenen Ämtern.

<sup>91</sup> Swisstopo, Umfrage 3D-Pakete: <https://www.findmind.ch/dashboard/GS4TvNXZAY>

Domäne	Kurzfristige Massnahmen		Beteiligte
 Technik und Infra- struktur	M9	Konzeption und Erstellung eines «1-Stop-Shops» für XR-Daten. Dieser ermöglicht es interessierten Personen von innerhalb und ausserhalb der Kantonsverwaltung für einen selbst definierten Ausschnitt des Kantons einen kombinierten (allenfalls konfigurierbaren) Datenbezug von XR-kompatiblen Daten des XR-Basisset (vgl. Massnahme M8) in den Formaten glTF, OBJ und FBX zu tätigen.	Abteilung Geoinformation
	M10	Konzeption und Aufbau einer Plattform für die sichere Annahme, die Speicherung und den Austausch von 3D-Modellen für XR und BIM gemäss definierter Standards (vgl. Massnahme M4). <sup>92</sup>	Abteilung Geoinformation unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Ämter

<sup>92</sup> Für die Konzeption kann allenfalls das bereits bestehende Modell-Repository der VBZ (Kapitel 5.4) Inspiration bieten oder der Kanton lotet diesbezüglich Möglichkeiten zur Zusammenarbeit mit den Städten Zürich (mit VBZ) und Winterthur aus und plant eine umfassende Lösung für alle genannten Akteure.

Domäne	Mittelfristige Massnahmen	Beteiligte
 Expertise und Orga- nisation	<b>M11</b> Sensibilisierung und Einführung der Fachämter bezüglich XR mit Fokus auf GIS-Ansprechpersonen, Projektleiterinnen und Projektleiter, eventuell Abteilungsleitende. Ziel ist, dass diese künftig selbständig Potenziale für den Einsatz von XR im eigenen Zuständigkeitsbereich identifizieren und die passenden Leistungen der Abteilung Geoinformation abrufen können (bzw. bei Bedarf Rücksprache halten mit der Abteilung Geoinformation).	Abteilung Geoinformation
	<b>M12</b> Rollenklärung bezüglich künftigem Knowhow-Aufbau/-Pflege und Umsetzungskompetenz (Make-and/or-buy) innerhalb der Kantonsverwaltung generell und zwischen der Abteilung Geoinformation und den Ämtern (ausgehend von den Interviews werden manche Ämter selbst Knowhow pflegen wollen, andere nicht). Definition der längerfristigen Wissensträgerinnen und Wissensträger.	Abteilung Geoinformation und Ämter
	<b>M13</b> Definition einer Hardware-Strategie für die Kantonsverwaltung, die Ressourcen bündelt und auf technologische Fortschritte adäquat reagieren kann. Möglich wären eine zentrale Beschaffung von Geräten und Einrichtung eines Ausleihsystems oder die individuelle Beschaffung für einzelne Ämter bzw. Mischmodelle dieser beiden Ansätze. Generell schon eine möglichst stetige Auslastung der Hardware durch Teilen Ressourcen. Die Strategie muss aber die unterschiedlichen Interessen bezüglich AR und VR und High-End- vs. eher Consumer-Geräte berücksichtigen, wie in den Interviews erhoben (Kapitel 5).	Abteilung Geoinformation und Ämter

Domäne	Mittelfristige Massnahmen	Beteiligte
 Daten	<p><b>M14</b> Zentraler Aufbau und Pflege von ETL-Workflows (und allenfalls Prozesse in Spezialsoftware wie beispielsweise CityEngine oder Blender) für Datentransformationen: Formatkonversion von z.B. GIS- oder BIM-Formaten nach XR-kompatiblen Datenformaten, Transformation 2D nach 3D und Ableitung verschiedener Detaillierungsstufen bzw. LoDs. Die ETL-Workflows (und allenfalls Spezialwerkzeuge) sollen durch die diversen Ämter eigenständig oder via Abteilung Geoinformation genutzt werden können.</p>	Abteilung Geoinformation
	<p><b>M15</b> Prüfung des Datenkatalogs und Priorisierung von Datensätzen, die in Zukunft allenfalls zusätzlich in 2.5D (2D mit Höhenangabe) bis 3D erfasst bzw. gepflegt werden sollen. Falls mittelfristig mehr Geodaten in 2.5D bis 3D erfasst werden, kann das Basisset aus Massnahme M8 potenziell um diese ausgebaut werden.</p>	Fachämter
 Technik und Infrastruktur	<p><b>M16</b> Vor dem Hintergrund der Erfahrung aus XR-Pilotprojekten (Massnahme M5, vermittelt mit der Massnahme M6) und der Heranführung ans Thema (in Massnahme M11): Definition von XR-Applikationen, die dem jeweiligen Fachamt grossen Nutzen bringen würden, Planung und Umsetzung.</p>	Fachämter, bei Bedarf mit Unterstützung durch die Abteilung Geoinformation
	<p><b>M17</b> Falls das Bedürfnis nach XR-kompatibler Datenbereitstellung in Dienstform (anders als heute) gegeben ist: Testweise und bei erfolgreicher Einführung später operative Erweiterung von GIS-ZH um den Betrieb von i3S- und/oder 3D Tiles-Services. Ziel ist, dass Ämter, Systemhersteller und Applikationsentwickelnde Geodaten für XR-Anwendungen über Dienste einbinden können.</p>	Abteilung Geoinformation

Domäne	Langfristige Massnahmen	Beteiligte
 Organisa- tion	<b>M18</b> Bei breitem Interesse an XR-Anwendungen: Aufbau einer Anlaufstelle für XR-Themen in der Abteilung Geoinformation, die entsprechende Projekte koordinieren und bedarfsweise Wissen in der Kantonsverwaltung weitergeben kann.	Abteilung Geoinformation
	<b>M19</b> Periodisches Aktualisieren des Übersichtswissen im Bereich XR und Beobachtung von Entwicklungen, so dass Ämter im Bedarfsfall adäquat beraten werden und somit von Entwicklungen möglichst profitieren können.	Abteilung Geoinformation
	<b>M20</b> Proaktive Information über Entwicklungen im Bereich XR an interessierte Gremien. Gefässe können beispielsweise der GIS-Ausschuss oder die Kommunikation mit den GIS-Ansprechpersonen in den Ämtern und Abteilungen sein.	Abteilung Geoinformation

Weitere langfristige Massnahmen dürften sich aus der Abwicklung der Pilotprojekte und der Umsetzung der anderen Massnahmen ergeben.

### 7.3 Pilotprojekte für XR

**Leitfrage LF6:** Welche Anwendung eignet sich für ein Pilotprojekt? Welche Punkte gilt es bei einem Pilotprojekt zu beachten?

Die Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der Kantonsverwaltung haben klar gezeigt, dass das Interesse am Einsatz von XR in allen befragten Teilen der Verwaltung vorhanden und in vielen Teilen gross ist. Bei allen befragten Personen und ihren Organisationseinheit ist auch die Bereitschaft da, an Pilotprojekten mit der Abteilung Geoinformation mitzuwirken. Die heute als interessant befundenen Anwendungsfälle der diversen Ämter sind relativ heterogen. Einige sich herauskristallisierende «Klassen» von Anwendungsfällen wurden aber in Kapitel 6.3 beschrieben.

Aufgrund der Komplexität der Basistechnologie XR empfehlen wir, die Anforderungen im einzelnen Pilotprojekt mit der Strategie der Umsetzung Minimum Viable Product (MVP) gering zu halten. Auch mengenmässig empfehlen wir, vorerst eine kleine Zahl von Pilotprojekten, zum Beispiel zwei, anzustreben und später, bei positiver Evaluation, das Thema XR zusammen mit Partner breiter zu bespielen. Ziele und Umfang sowie die spätere Evaluation



der Pilotprojekte sollten initial zusammen mit den Partner-Ämtern definiert werden.

Damit die Abteilung Geoinformation einen breit abgestützten Eindruck der Bedürfnisse der Partner erhält, sich bereits vorhandene Expertise erschliessen, aber auch den Umgang mit einem bezüglich XR noch wenig versierten Partner (und dessen Zielpublikum) proben kann, empfehlen wir für die Umsetzung zwei in XR unterschiedlich erfahrene Partner zu wählen. Beim Pilotprojekt mit einem etwas erfahrenen Partner könnte die gemeinsame Stossrichtung die Vereinfachung der Nutzung von Geodaten aus dem GIS-ZH in XR oder die Verbesserung der Qualität der Anwendung sein. Konkrete Umsetzungsschritte könnten die Umsetzung eines Workflows für Datentransformation für eine (halb-)automatisierte Vorprozessierung von Daten aus einem zentralen Repository oder die Verbesserung der Positionierung in AR sein. Beim zweiten Pilotprojekt (oder den weiteren Pilotprojekten, wenn mehr als zwei durchgeführt werden) sollte ein wenig erfahrener oder unerfahrener Partner gewählt werden, der aber konkrete fachliche Bedürfnisse (vgl. Kapitel 6.2) in XR abbilden möchte. Deren Umsetzung in XR sollte bei den Zielgruppen des Partners einen hohen Nutzen stiften und im Idealfall auch auf Fragestellungen anderer Teile der Kantonsverwaltung transferierbar sein. Die Best Practices bei der Konzeption und Bearbeitung von XR-Projekten (Kapitel 4.2.7) sollten möglichst gut beachtet werden.

Interesse an Pilotprojekten und die jeweiligen Stossrichtungen sind mit prospektiven Partnern natürlich noch zu verifizieren bzw. zu klären. Als erfahrenere Partner kommen aus unserer Sicht die Abteilung Archäologie und Denkmalpflege im ARE (Kapitel 5.10) oder das Forensische Institut (Kapitel 5.7) (bzw. ausserhalb der Kantonsverwaltung: die VBZ und Stadt Zürich, Kapitel 5.4) in Frage. Als im Vergleich etwas weniger erfahrene oder unerfahrene Partner aber mit konkreten fachlichen Fragestellungen kommen zum Beispiel die Abteilung Gewässerschutz im AWEL (mit bestehendem BIM-Bezug, Kapitel 5.9), der Bereich Planen und Bauen im Stab des Tiefbauamts (ebenfalls mit bestehendem BIM-Bezug, Kapitel 5.2) oder im Bereich Hochbau das Hochbauamt (Kapitel 5.3) und die Bildungsdirektion (Kapitel 5.6) in Betracht. Interessante XR-kompatible Fragestellungen – auch mit der Zielgruppe Öffentlichkeit, beispielsweise für das Thema Landschaftsgeschichte – und Motivation für das Thema sind auch in der Abteilung Raumplanung im ARE zu verorten (Kapitel 5.11). Diese Abteilung verfügt wie auch das Hochbauamt und die Bildungsdirektion noch über keine Erfahrung mit XR.

Die vollständige Liste von möglichen Pilotprojekten ist in Anhang A2 enthalten.

## 7.4 Weitergehende Empfehlungen

Neben den Hinweisen in Kapitel 6, 7.2 und 7.3 geben wir der Abteilung Geoinformation die folgenden Empfehlungen ab für die Weiterentwicklung des Themas XR in der Kantonsverwaltung:

- **Zusammenarbeit mit BIM-Expertinnen und -Experten:** In vielen der geplanten oder bereits in Umsetzung befindlichen Anwendungsfällen von XR im Kanton werden nicht nur XR-fähige Geodaten sondern auch XR-

kompatibel aufbereitete BIM-Daten benötigt. In den Ämtern mit BIM-Bezug bestehen auch schon Bestrebungen zum breiteren Einsatz von XR. Zudem ist BIM im Vergleich zu XR schon weiter auf dem Weg, etablierte (breit und routiniert eingesetzte) Methodik der Kantonsverwaltung zu werden. Im Bereich der Geodaten soll auf die vorhandenen Erkenntnissen und Wissen aufgebaut und Synergien genutzt werden. Aus diesen Gründen erscheint uns die Zusammenarbeit der Stakeholder in XR mit jenen in BIM wichtig.

- **Nutzung von externem Vernetzungspotenzial und Vorarbeiten:** Obschon VBZ und die Stadt Zürich nicht Teil der Kantonsverwaltung sind, erachten wir den Austausch (wie ihn Massnahme M3 vorschlägt) als wertvoll. Die VBZ haben beispielsweise bezüglich Datentransformationen die Brücke zwischen BIM- und XR-Formaten geschlagen und in der Vergangenheit das Knowhow bereits mit dem Kanton geteilt. Allenfalls können auch andere Kantone in einen losen Austausch eingebunden werden: Mit einem (in Basel-Stadt: neulancierten) 3D-Geoportal und entsprechenden Inhalten in Form von 3D Tiles bzw. i3S-Services sind insbesondere Basel-Stadt bzw. Genf allenfalls lohnenswerte Aussenkontakte.
- **XR als Teil von Beschaffungsprozessen:** Für Fachstellen, die Planungsleistungen bestellen (zum Beispiel Wettbewerbsverfahren im Hochbau), ist es langfristig wichtig, dass sie ihre Bestellprozesse so anpassen können, dass XR als «normale» Komponente zusätzlich bestellt werden kann. Die in den Massnahmen M4 und M10 vorgeschlagenen Arbeiten rund um Standardisierung und Aufbau einer Datenplattform mit Anlieferungsschnittstelle führen auf dieses Ziel hin.
- **Prozesseigner als Ansatzpunkte:** Am Beispiel von XR in Beschaffungsprozessen kann eine Divergenz zwischen Endkunde und Prozesseigner aufgezeigt werden: Während beispielsweise der Sektor Bauten in der Bildungsdirektion zwar Endkunde umfangreicher Planungsleistungen im Hochbau ist, ist der Prozesseigner aber das Hochbauamt. Prozesseigner sind Schlüsselstellen, beispielsweise um den Bestellprozess wie oben beschrieben zu erweitern. Um XR in der Kantonsverwaltung erfolgreich zu etablieren, müssen folglich die Prozesseigner einen konkreten Mehrwert darin sehen.
- **GIS-Browser als XR-Basisprodukt:** Allenfalls lohnt sich neben der Entwicklung von XR-Pilotanwendungen und operativen XR-Applikationen die Erweiterung des GIS-Browsers um einen einfachen AR-Modus. Die diversen Geodaten-Themen würden je nach vorhandenen Daten und Attributen in ihrer inhärenten Dreidimensionalität (z.B. Gebäudemodell), mit Assets (z.B. Einzelobjekte), mittels Extrusion (z.B. Wald) oder mittels Surface Draping dargestellt werden. Ein AR-Modus für den GIS-Browser könnte auf Consumer-Geräten von zum Beispiel Apple, deren Markteintritt sich abzeichnet, ein grosses Publikum finden.
- **OpenXR-Standard und Remote Rendering:** Die Entwicklung von XR-Applikationen ist aktuell immer noch ein Spezialgebiet der (Geo)Softwareentwicklung und verfügt über eine steile Lernkurve. Sie ist zudem oft zeitintensiv aufgrund der Umsetzung für spezifische Plattformen. Der O-

penXR-Standard (Kapitel 2.10) und das Paradigma des Remote Rendering (Kapitel 2.11) sind wichtige (unabhängige) Schritte zur Vereinfachung dieses Prozesses. Langfristig dürften sich auch Low Code-Lösungen für Teile von XR etablieren. Der weiteren Entwicklung dieser Themen sollte im Rahmen der Aktualisierung des Übersichtswissens gemäss Massnahme M19 speziell Beachtung geschenkt werden.

- **Beachten der hohen Dynamik:** Das Thema XR ist aktuell hochdynamisch. Es sind noch wenige Standards vorhanden und diese sind noch kaum verbindlich. Während der Erarbeitung der vorliegenden Studie wurden verschiedentlich tagesaktuelle technische Neuerungen eingearbeitet. Bei den weiteren Aktivitäten im Thema sollte dem Kanton Zürich die Dynamik der Basistechnologie und damit verbundener Themen wie Datenstrukturen bewusst sein. Einmal entwickelte Anwendungen und Datenstrukturen können nach wenigen Jahren veraltet sein und müssen neu entwickelt werden. Das Wissen über den Umgang mit den Daten und die aufgebauten Prozesse sind jedoch nicht verloren, sondern bringen dem Kanton Zürich auch über den Bereich XR hinaus längerfristig Vorteile.



## A1 Bewertete Herausforderungen und Bedürfnisse

Folgende Tabelle zeigt Herausforderungen und Bedürfnisse (zusätzlich zu denjenigen in Kapitel 7.1), welche von den Teilnehmenden des Synthese-Workshops aber nur gering gewichtet wurden (einen Punkt von insgesamt 70 vergebenen Punkten; blau: Abteilung Geoinformation, orange: Fachämter und Partner wie Forensisches Institut und VBZ):

### Legende



Herausforderung/Bedürfnis	Gewichtung
— <b>Kollaborative Nutzung:</b> Die Nutzung von XR-Applikationen muss in einer Gruppe möglich sein.	1 (Fachämter)
— <b>Wissensaufbau bei Fachämtern im Bereich XR:</b> Fachämter müssen die Möglichkeiten rund um XR und die Begriffe kennen und sollen wissen, welche Anwendung mit ihren Fachdaten möglich wäre	1 (Fachämter)
— <b>Wissensaufbau bei Fachämtern im Bereich Umsetzung von XR-Applikationen:</b> Fachämter sollen das Wissen intern aufbauen, um die Abhängigkeit zu externen Anbietern zu verringern	1 (Abteilung Geoinformation)
— <b>Wissensaufbau bei Fachämtern im Bereich Geodaten:</b> Fachämter müssen die (Schweiz- und kantonsweit) zur Verfügung stehenden Geodaten kennen und wissen, wie sie in XR-Applikationen genutzt werden können	1 (Fachämter)
— <b>Ablösung aufwändig zu pflegender und installierender Hardware:</b> Ablösung Spezialrechner in Fachämtern	1 (Fachämter)
— <b>Einfacher Zugang zu Geodaten hoher Qualität:</b> Kantone sollen bestehende Geodaten (Bsp. LIDAR, Bathymetrie, swissBuildings3D) über einfache Wege	1 (Fachämter)

anbieten, auf Kantonsgebiet zugeschnitten und ev. mit Kantonsdaten ergänzt

- **Genaue Positionierung im Bereich AR ist wichtig:**  
Technologien wie Spatial Anchors oder Markers sollen in Betracht gezogen werden



1  
(Fachämter)

## A2 Mögliche Anwendungsfälle

Im Folgenden sind zusammengefasst mögliche und zum Teil existierende Anwendungsfälle für XR aufgeführt, die bei der Erstellung der Studie im Rahmen der Interviews und in zwei Workshops anhand von Vorwissen und mittels Kreativitätstechniken gesammelt bzw. abgeleitet wurden:

- AR-Anwendung für die Unterstützung des Planungsprozesses im Bau durch Visualisierungen zuhanden der Projektbeteiligten
- VR-Visualisierungen von Hochbauvorhaben in der Planungsphase zuhanden der Auftraggeberschaft und der Nutzendenvertreter zum besseren Projektverständnis und zur Verminderung später Planungsänderungen
- XR-Visualisierung für die bessere Vermittlung von Bauvorhaben und Strassengestaltungen an Laien (zum Beispiel in Machbarkeitsstudien und Gestaltungswettbewerben), statt Plänen und Renderings
- VR-Modelle in Wettbewerbsverfahren für Hochbauprojekte statt physischer Modelle zwecks besserer Beurteilung von Volumina, Beschattung und Einfügen in die Umgebung sowie virtueller «Begehung»
- XR-Anwendung für Betrieb und Unterhalt der Staatsstrassenentwässerung
- XR-Anwendung in Betrieb und Instandhaltung von ARAs
- Immersive Reality-Anwendungen in BIM-Pilotprojekten des Tiefbauamts für Bau und Instandsetzung
- AR-Anwendung für die Qualitätssicherung von Geodaten im Vergleich mit der Ist-Situation im Feld
- AR-basierte Unterstützung der Vermessung im Feld, zum Beispiel für das Auffinden von Grenzpunkten
- AR-Anwendung für die Navigation zum Eingang einer Strasseninfrastrukturanlage (zum Beispiel Technikraum) oder innerhalb einer Anlage zu einer Komponente (zum Beispiel Schaltpanel)
- AR-Visualisierungen im Rahmen von archäologischen Grabungen oder von archäologischen Rekonstruktionen
- AR-gestützte Überlagerung der modernen Umgebung mit alten Zuständen (zum Beispiel Pfahlbausiedlung)
- AR-Visualisierung von archäologischen Themen in der Bildung (zum Beispiel Stadtmodelle von Zürich aus verschiedenen Epochen)
- AR-gestützte Visualisierung der Landschaftsgeschichte für die Vermittlung und Öffentlichkeitsarbeit
- XR-basiertes Aufzeigen von Landschaftsveränderungen im Rahmen von Gestaltungsplänen von Kiesabbau-Standorten, Deponien und Tiefbaulager-Projekten



- XR-Visualisierung von hypothetischen (noch nicht exakt verorteten) Windkraft- und ähnlichen Anlagen und deren Einpassung in das Landschaftsbild
- AR für die Standortevaluation von Mobilfunkanlagen (Darstellung der Anlage und der modellierten Strahlung inklusive Abschattung durch Gebäude)
- XR-Anwendung in Baubewilligungsprozessen zwecks Verständigung über das Bauvorhaben
- VR-gestützte Beurteilung von Baugesuchen, Durchführung von Projektwettbewerben und Aufzeigen von Bauvorhaben im Kontext von virtuellen Stadtmodellen mit den bestehenden Gebäuden vor dem Hintergrund des Ortsbildschutzes
- XR-unterstützte Gebietsplanungen zum Beispiel für Hochschulareale (zum Beispiel bei Gestaltungsplänen)
- Rekonstruktion und Visualisierung von Unfall- und Tathergängen in VR in Rechtspflege und Lehre durch das Forensische Institut
- VR-Visualisierung in Zeugenbefragungen in der Strafverfolgung (erste Tests im Forensischen Institut)
- VR-basierter Simulator für die Ausbildung von Personal von Verkehrsbetrieben oder von Angehörigen von Blaulichtorganisationen
- AR-gestützte Citizen-Science-App zur Erfassung invasiver Neophyten (Visualisierung der Gestalt und Grösse der Pflanzen), inklusive Gamification
- AR-Applikation mit Naturschutz- und Waldinformation um Spaziergänge spielerisch zu begleiten
- VR-Visualisierung von Naturgefahrenzonen, Evakuationsrouten, Sammlungspunkte zwecks Sensibilisierung und Information für Katastrophen
- XR-Visualisierung von «unsichtbaren» Umweltdaten (zum Beispiel Stadtklima, CO<sub>2</sub>-Ausstoss, Gewässerraum) zum Beispiel zwecks (grober) Qualitätssicherung und Vermittlung (zum Beispiel Visualisierung von Lärm zur Unterstützung oder Ergänzung von durch das Tiefbauamt durchgeführten Lärmexkursionen)
- VR-Visualisierung für die Untersuchung von Geruchsemissionen
- AR-Visualisierung von nicht offensichtlicher Infrastruktur wie zum Beispiel Werkleitungen und Strassenabwasserbehandlung bei mit BIM geführten Vorhaben des Infrastrukturmanagements
- AR-Visualisierungen von Gasleitungen und Abwasserkanälen für Blaulichtorganisationen im Einsatz
- AR-Visualisierung von auszuhebendem Material und bestehender Infrastruktur für Grabarbeiten im Werkleitungsbereich
- XR-Visualisierungen für das Erkennen von Konflikten im Untergrund in Tiefbauprojekten