

Schlussbericht zum Vorhaben

INSPIRER

Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion: „Technik zum Menschen bringen“

Das Projekt „INSPIRER“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion: Technik zum Menschen bringen“ unter dem Förderkennzeichen 16SV8744 gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH für das BMBF betreut.

Stuttgart, April 2025

Ein Projekt der

**Hochschule
für Technik
Stuttgart**

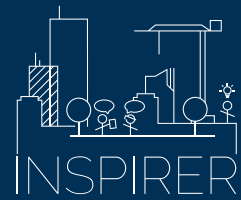
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN**



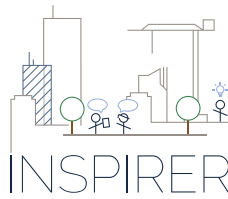
Beteiligte

Hochschule für Technik Stuttgart

Alfakhori, Muhammad
Coors, Volker
Schneider, Sven

Kooperationspartnerinnen

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin
Berliner Hochschule für Technik
Virtual Dimension Center
Point Cloud Technology
FrauenComputerZentrumBerlin e.V.



Schlussbericht - Kurzbericht

INSPIRER

Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion: „Technik zum Menschen bringen“

Projektlaufzeit	01.08.2021 - 31.07.2024 (verlängert bis 31.10.2024)
Förderkennzeichen	16SV8744
Stichworte	Stadtentwicklung, Digitale Bürgerbeteiligung, Partizipation und Akzeptanz, Augmented Reality, Extended Reality (XR), AR-Tracking, Point Cloud Matching
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Volker Coors
Beteiligte Professoren	Prof. Dr.-Ing. Volker Coors
Geförderte Maßnahme	Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion
Förderbereich	Technik zum Mensch bringen
Fachhochschule	Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart), Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart

Das Projekt „INSPIRER“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion: Technik zum Menschen bringen“ unter dem Förderkennzeichen 16SV8744 gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH für das BMBF betreut.

Hochschule für Technik Stuttgart, April 2025

Ein Projekt der

**Hochschule
für Technik
Stuttgart**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN**

I. Kurzdarstellungen

Das Projekt INSPIRER zielte darauf ab, Augmented Reality (AR) zur interaktiven Bürgerbeteiligung in der Stadtplanung einzusetzen. Durch eine standortbezogene Visualisierung von Planungsentwürfen konnten Bürger*innen geplante Veränderungen direkt vor Ort erleben. Der entwickelte AR-Client mit einem innovativen Point Cloud Matching-Tracking-System ermöglichte eine präzise Platzierung und Stabilisierung virtueller Inhalte ohne GPS.

Im Rahmen des Projekts wurde ein 3D-Stadtmodell-Server entwickelt, der Bestands- und Entwurfsdaten verwaltet. Dies erlaubte die nahtlose Integration von Stadtplanungsmodellen in AR-Anwendungen. Ein zentraler Anwendungsfall war die Visualisierung eines geplanten Kreisverkehrs in Fellbach, wobei die AR-App es ermöglichte, das 3D-Design des neuen Stadtbereichs direkt vor Ort zu erleben.

Die Forschungsergebnisse wurden evaluiert und zeigen, dass AR-basierte Beteiligungsformate das Verständnis und die Akzeptanz von Stadtplanungsprozessen erheblich verbessern können. Die entwickelte Technologie wurde veröffentlicht und als Open Access zugänglich gemacht, um zukünftige Entwicklungen in der digitalen Bürgerbeteiligung zu unterstützen.

I.1 Aufgabenstellung

Das Projekt verfolgte das Ziel, Bürgerbeteiligung durch immersive AR-Visualisierungen zu verbessern. Herkömmliche Beteiligungsverfahren sind oft schwer zugänglich und nicht für alle Bevölkerungsgruppen verständlich. Durch AR-Technologie wurde eine interaktive Möglichkeit geschaffen, um Bürger*innen aktiv in Planungsprozesse einzubinden. Die Herausforderung bestand darin, ein stabil arbeitendes, genaues AR-Tracking-System zu entwickeln, das ohne GPS funktioniert und eine realistische Darstellung geplanter Veränderungen ermöglicht.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde interdisziplinär an der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) mit Unterstützung der Stadt Fellbach und weiteren Partnern durchgeführt. Die technische Umsetzung erforderte die Kombination von 3D-Stadtmodellen, Punktwolken-Tracking und AR-Visualisierung. Zusätzlich wurden Nutzertests in Workshops durchgeführt, um die Benutzerfreundlichkeit und Effektivität der Anwendung zu evaluieren.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde wie geplant durchgeführt. Es wurde ein iterativer Entwicklungsansatz verfolgt, der eine kontinuierliche Anpassung des AR-Systems anhand von Tests und Nutzerrückmeldungen ermöglichte.

1. Entwicklung des AR-Tracking-Systems (AP6): Implementierung eines Point Cloud Matching-Verfahrens zur stabilen Platzierung virtueller Inhalte.
2. Erstellung eines Stadtmodell-Servers (AP8): Verwaltung und Bereitstellung von 3D-Daten für AR-Anwendungen.

3. Integration in ein reales Stadtplanungsszenario (AP4): Test in Fellbach, bei dem die AR-App für die Visualisierung eines Kreisverkehrs genutzt wurde.
4. Evaluation und Bürgerbeteiligung (AP9): Durchführung von Workshops, um Feedback zur Anwendung zu sammeln.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Nutzung von Augmented Reality (AR) für die Stadtplanung hat sich als vielversprechender Ansatz erwiesen, um Bürgerbeteiligung zu verbessern und Planungsprozesse interaktiver zu gestalten. Allerdings bestehen weiterhin technologische Herausforderungen, insbesondere bei der genauen Verankerung virtueller Inhalte im Außenbereich, der effizienten Verarbeitung großer 3D-Datenmengen und der intuitiven Nutzung durch Bürger*innen.

Bisherige AR-Anwendungen basieren häufig auf GPS-Tracking oder Markern, die jedoch in dichten städtischen Umgebungen ungenau oder fehleranfällig sind. Das Projekt INSPIRER setzte daher auf ein Punktwolken-basiertes Matching-Verfahren, das eine präzisere Positionierung virtueller Inhalte ermöglicht. Dabei wurden moderne Algorithmen wie Fast Global Registration (FGR) für eine grobe Vorregistrierung und Generalized ICP (GICP) für eine exakte Feinanpassung der Punktwolken eingesetzt.

Zusätzlich wurde ein 3D-Stadtmodell-Server entwickelt, um Bestands- und Entwurfsdaten effizient für AR-Anwendungen bereitzustellen. Dabei wurden etablierte Formate wie 3D-Tiles genutzt, um eine optimierte Darstellung auf mobilen Endgeräten zu ermöglichen.

Die Kombination aus präzisiertem AR-Tracking, effizienter 3D-Datenverarbeitung und interaktiver Visualisierung erweitert bestehende Stadtplanungstechnologien und zeigt das Potenzial immersiver Lösungen zur Verbesserung der Bürgerbeteiligung auf.

I.5 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

- AR-Technologien: Unity Game Engine, MRTK SDK, XCode
- Punktwolkenverarbeitung: Open3D Library, Fast Global Registration (FGR), Generalized ICP (GICP)
- Hardware: Microsoft HoloLens 2, iPhone 12 Pro
- 3D-Datenverarbeitung: 3D-Tiles, MeshLab, Blender

I.6 Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Eine Auflistung der verwendeten Fachliteratur, Informations- und Datenquellen befindet sich in Anhang 1.

I.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Stadt Fellbach: Bereitstellung von Stadtplanungsdaten, Nutzung der AR-App zur Bürgerbeteiligung.

Veröffentlichung und Open Access: Ergebnisse wurden auf Konferenzen präsentiert (z. B. SDSC, XRWeek, INTERGEO) und öffentlich zugänglich gemacht.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	1
II. Eingehende Darstellungen	2
II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	2
II.1.1 Arbeitspaket 1: Entwurf Gesamtkonzept, Techn. Integration, Entw. des Demonstrators .	2
II.1.2 Arbeitspaket 2: Partizipative Softwaregestaltung und partizipative Evaluation	2
II.1.3 Arbeitspaket 4: Transfer zur Stadtplanung	2
II.1.4 Arbeitspaket 5: Pointcloud-Server	3
II.1.5 Arbeitspaket 6: AR-App.....	4
II.1.6 Arbeitspaket 8: Stadtmodell-Server	7
II.1.7 Arbeitspaket 9: ELSI in der App-basierten Stadtplanung	8
II.1.8 Arbeitspaket 11: Projektmanagement	9
II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	9
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	9
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insb. Verwertbarkeit der Ergebnisse	10
II.5 Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen	10
II.6 Erfolgte Veröffentlichungen der Ergebnisse	11
II.7 Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	12
Anhang 1: Liste der verwendeten Fachliteratur, Informations- und Datenquellen.....	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Punktwolke von Fellbach.....	4
Abbildung 2: Ablaufdiagramm des PC Matching-Verfahrens.	4
Abbildung 3: Optimierung der Matching-Parameter.....	5
Abbildung 4: Integration des Algorithmus in ein Unity Projekt - z.B. die AR-App. Der blaue Kasten erstellt im wesentlichen Abbildung 2 dar.	5
Abbildung 5: Matching Algorithmic Speed Test – Vergleich der Verarbeitungszeiten verschiedener Matching-Schritte für zwei Datensätze..	6
Abbildung 6: Match-Point-Wolken.....	6
Abbildung 7: Finaler Demonstrator mit vollständiger AR-Integration und Echtzeit-Tracking.	7
Abbildung 8: 3D-Planung des Kreisels in Fellbach.	8

II. Eingehende Darstellungen

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Arbeitspaket 1: Entwurf Gesamtkonzept, Techn. Integration, Entw. des Demonstrators

Ziel dieses Arbeitspakets war die Definition der technischen Anforderungen und die Konzeption der Systemarchitektur. Die Integration von Interaktionsfunktionen, AR-Tracking, Stadtmodellvisualisierung und Nutzerdatenverwaltung stand dabei im Fokus.

Im ersten Projektjahr wurden in einem internen Workshop die technischen Anforderungen definiert und mit den Projektpartnern abgestimmt. Darauf basierend wurde die Systemarchitektur entworfen und Schnittstellen für die verschiedenen Module festgelegt. Im weiteren Verlauf erfolgte eine iterative Weiterentwicklung der Architektur unter Berücksichtigung neuer Anforderungen.

Die Systemtests und Fehleranalysen führten zur schrittweisen Optimierung der Demonstratoren. Durch die iterative inkrementelle Entwicklung von vier Demonstratoren (D1.2, D1.3, D1.4, D1.5) konnte das Gesamtsystem kontinuierlich evaluiert und verbessert werden.

II.1.2 Arbeitspaket 2: Partizipative Softwaregestaltung und partizipative Evaluation

Die Entwicklung des AR/VR-Demonstrators wurde in einem dreistufigen partizipativen Prozess umgesetzt, um Bürger*innen aktiv einzubeziehen. Durch eine kontinuierliche Evaluation in mehreren Iterationen sollte eine objektive Rückmeldung zu den einzelnen Entwicklungsschritten ermöglicht und die Technologie optimiert werden.

Zu Beginn des Projekts wurde die Konzeption der partizipativen Softwaregestaltung ausgearbeitet und mit den Projektpartnern abgestimmt. In der ersten Evaluationsrunde entstanden Anforderungen an den Demonstrator, die im ersten Entwurf der Spezifikation dokumentiert wurden. Im weiteren Verlauf führten die Rückmeldungen der Beteiligten zur Entwicklung des ersten Zwischendemonstrators, der unter realen Bedingungen getestet wurde. Während der zweiten Projektphase wurde die partizipative Evaluation intensiviert. In Workshops und Anwendungsszenarien, unter anderem in Fellbach, wurde die Technologie in der Stadtplanung erprobt. Die Rückmeldungen flossen in die Weiterentwicklung des Demonstrators ein, wodurch die Benutzerfreundlichkeit und technische Umsetzung verbessert wurden. Die Evaluationsberichte (D2.1, D2.2, D2.3, D2.4) wurden vom Projektpartner Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin (HWR) erstellt.

Die iterative Vorgehensweise hat sich bewährt und sichergestellt, dass Bürgerinnen und Stakeholder aktiv an der Gestaltung der AR/VR-Technologie mitwirken konnten. Die kontinuierliche Einbindung der Nutzerinnen hat maßgeblich dazu beigetragen, die Akzeptanz und Praxistauglichkeit der entwickelten Lösungen zu steigern.

II.1.3 Arbeitspaket 4: Transfer zur Stadtplanung

Damit V/AR-Technologien in der Stadtplanung als Kommunikations- und Beteiligungsinstrumente etabliert werden können, war es notwendig, die Planungsprozesse besser zu verstehen und geeignete Methoden für deren Integration zu entwickeln. Neben der Nachfrage durch Bürger*innen (Pull-Faktoren) sollten insbesondere Stadtplanungsbüros motiviert werden, solche Technologien aktiv zu nutzen (Push-Faktoren).

Zu Beginn des Projekts wurde eine umfassende Analyse öffentlich getragener Bauvorhaben durchgeführt, um bestehende Abläufe und Kommunikationsstrukturen zu erfassen (D4.1). In Workshops und Gesprächen mit Planungsbüros sowie Stadtverwaltungen wurden zentrale Hemmnisse und Potenziale für den Einsatz von V/AR-Technologien identifiziert. Diese Erkenntnisse flossen in die Entwicklung einer Planungsmethodik für V/AR-gestützte Bürgerbeteiligung ein (D4.2), die neben einer Prozessbeschreibung auch Argumentationshilfen für die Einführung dieser Technologien in die Planungspraktiken umfasst.

Im weiteren Projektverlauf wurden zwei konkrete Bauvorhaben als Fallstudien evaluiert (D4.3). Dabei wurde in Zusammenarbeit mit der Stadt Fellbach untersucht, wie V/AR-Anwendungen den Planungsprozess und die Kommunikation zwischen Bürger*innen und Stadtverwaltungen unterstützen können. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten eine gezielte Anpassung der Methodik und lieferten wertvolle Einsichten für den praktischen Einsatz solcher Technologien.

Um die gewonnenen Erkenntnisse nachhaltig in die Stadtplanung zu übertragen, wurden abschließend Transferaktivitäten durchgeführt, darunter die Überarbeitung der Kommunikationspläne und die Dokumentation der Ergebnisse in einem überarbeiteten Bericht (D4.4). Die Evaluation zeigte, dass eine frühzeitige Einbindung von Stadtverwaltungen und Planungsbüros entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von V/AR-Technologien in der Bürgerbeteiligung ist.

II.1.4 Arbeitspaket 5: Pointcloud-Server

Für die Bereitstellung von 3D-Punktwolken zur Nutzung in der AR-App wurde eine Serverkomponente entwickelt, die eine räumlich eingeschränkte und semantisch analysierte Teilmenge der Punktwolke extrahierte und an den AR-Client lieferte. Die Analyse der Punktwolken erfolgte unter Einsatz von Deep-Learning-Methoden zur Feature-Extraktion.

In der ersten Projektphase wurde das Datenmodell für den 3D-Punktwolken-Service definiert und die relevanten Schnittstellen spezifiziert (D5.1). Dabei entstand eine Basisversion des Point-Cloud-Servers, die erste Testdaten aus dem HFT-Campus verarbeiten konnte. Anschließend wurden Methoden zur Datenaufbereitung und Analyse entwickelt (D5.2). Diese umfassten Vorverarbeitungsschritte wie Normalenberechnung, Reduktion der Punktwolkengröße und die Anwendung von globalen sowie lokalen Registrierungsverfahren zur verbesserten Positionierung von Objekten.

Parallel dazu wurde die Serverkomponente konzipiert und implementiert, sodass eine erste Integration in den AR-Workflow erfolgte. In Feldtests wurden Punktwolken gescannt, verarbeitet und in die AR-App integriert. Die Datenintegration erfolgte sowohl mit stationären als auch mobilen Sensoren, unter anderem mit einem Terrestrial-Laserscanner und GPS-Referenzierung in der Fallstudie in Fellbach.

In der abschließenden Phase wurden Last- und Integrationstests mit verschiedenen Testdatensätzen durchgeführt, um die Skalierbarkeit und Performance der Serverkomponente zu validieren. Die finale Version des Demonstrators (D5.3) ermöglichte eine optimierte Bereitstellung der Punktwolken für den AR-Client.

Die geplanten Ziele wurden weitgehend erreicht. Die entwickelte Serverkomponente stellte eine robuste Grundlage für die Bereitstellung von Punktwolken in AR-Anwendungen dar und bietet Potenzial für zukünftige Stadtplanungsprojekte.



Abbildung 1: Punktwolke von Fellbach.

II.1.5 Arbeitspaket 6: AR-App

Um die präzise Platzierung und Stabilisierung virtueller Inhalte in Augmented Reality (AR) zu ermöglichen, wurde in AP6 eine innovative Tracking-Architektur entwickelt, die sich auf Point Cloud Matching stützte. Der Fokus lag auf der exakten Erkennung der Umgebung ohne GPS, was besonders für urbane Szenarien von Bedeutung war. Dazu wurden neuartige Algorithmen zur Registrierung von Punktwolken eingesetzt, um eine präzise Lokalisierung und Orientierung zu gewährleisten.

In der ersten Projektphase wurde die Architektur des AR-Clients und des Tracking-Systems spezifiziert (D6.1). Diese umfasste die Definition der Schnittstellen zwischen den verschiedenen Modulen und die Auswahl geeigneter Technologien. Die bestehende Hardware- und Softwarelandschaft wurde untersucht, um eine optimale Kombination aus Rechenleistung, Sensordaten und Algorithmen zu finden. Besondere Herausforderungen ergaben sich durch die Notwendigkeit, Punktwolken effizient zu verarbeiten und in Echtzeit mit AR-Inhalten zu verknüpfen.

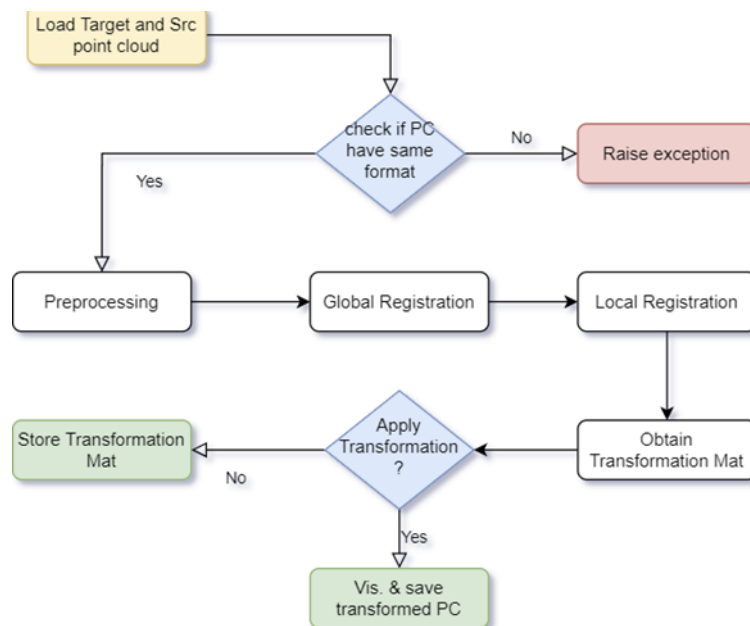


Abbildung 2: Ablaufdiagramm des PC Matching-Verfahrens.

Ein wesentlicher Teil des Arbeitspakets war die Entwicklung des Point Cloud Matching-Algorithmus (D6.3), der eine hochpräzise Registrierung von Punktwolken ermöglichte. Um dies zu erreichen, wurde ein hierarchischer Matching-Ansatz implementiert, der sowohl globale als auch lokale Registrierungsverfahren kombinierte. Zunächst wurde eine grobe Vorregistrierung mit Fast Global Registration (FGR) durchgeführt, um die Punktwolken in eine erste Annäherung an die Zielposition zu bringen. Danach wurde eine Feinregistrierung mit Generalized ICP (GICP) angewendet, um eine exakte Ausrichtung zu erzielen. Diese Kombination bot eine robuste Lösung für AR-Tracking, die unabhängig von GPS- oder visuellen Marker-basierten Systemen arbeitete.

Ein weiterer innovativer Aspekt des entwickelten Systems war die Optimierung der Tracking-Performance durch Vorverarbeitungsmethoden. Die Punktwolken wurden durch Downsampling-Techniken, Normalenberechnung und Feature-Extraktion optimiert, um die Berechnungszeit zu minimieren, ohne die Genauigkeit zu beeinträchtigen. Dies ermöglichte eine Echtzeitverarbeitung, die für mobile AR-Anwendungen essenziell war.

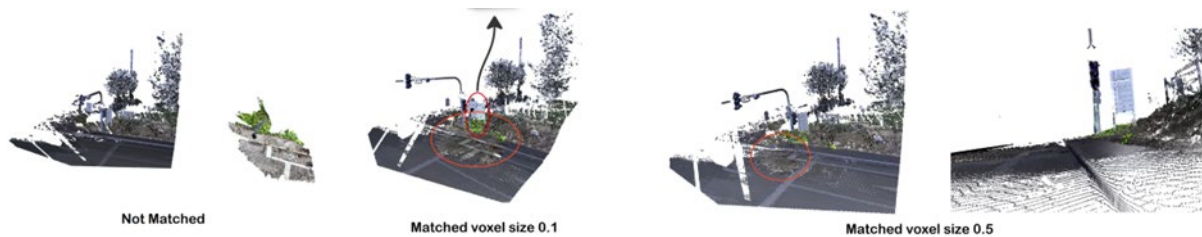


Abbildung 3: Optimierung der Matching-Parameter.

Die Implementierung des Algorithmus erfolgte zunächst in Python unter Verwendung der Open3D-Bibliothek. Während erste Tests in dieser Umgebung erfolgreich waren, zeigte sich, dass eine native Implementierung in C++ notwendig war, um die Performance für Echtzeitanwendungen zu optimieren. Daher wurde der Algorithmus als dynamische Bibliothek (DLL) in Unity integriert, was eine nahtlose Nutzung innerhalb der AR-App ermöglichte.

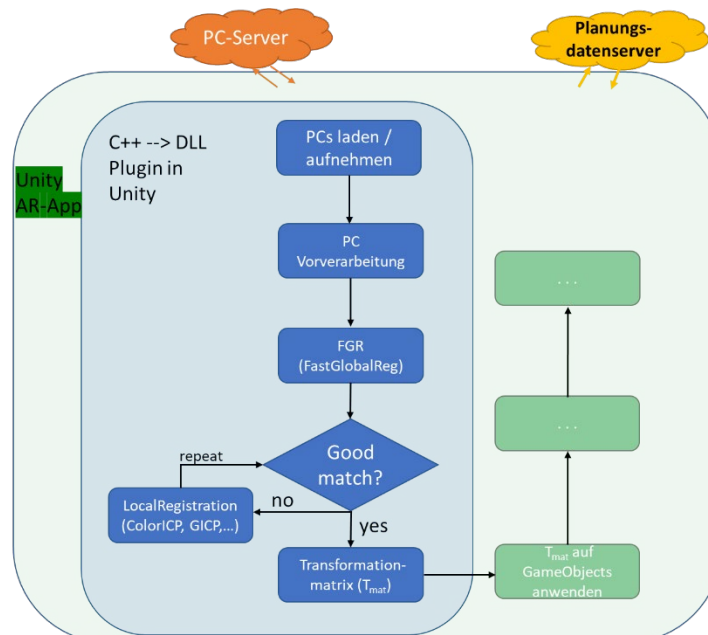


Abbildung 4: Integration des Algorithmus in ein Unity Projekt - z.B. die AR-App. Der blaue Kasten erstellt im wesentlichen Abbildung 2 dar.

Parallel dazu wurde das Tracking-System weiterentwickelt und in die bestehende AR-Infrastruktur integriert (D6.4). Hierbei wurde untersucht, wie verschiedene Sensoren, darunter Lidar-Sensoren und optische Tiefenkameras, zur Verbesserung der Punktwolkenerfassung beitragen können. In realen Tests wurden sowohl stationäre als auch mobile Erfassungssysteme genutzt, um die Robustheit des Tracking-Ansatzes unter unterschiedlichen Bedingungen zu evaluieren.

Eine detaillierte Analyse der Laufzeiten des implementierten Algorithmus bestätigte, dass das Point Cloud Matching selbst schnell arbeitet und für Echtzeitanwendungen geeignet ist. Die Messungen zeigten jedoch, dass die Initialisierung der Bibliotheken (0.55-0.59s) einen signifikanten Teil der Gesamtzeit in Anspruch nimmt. Diese Initialisierung erfolgt jedoch nur einmal und könnte im Hintergrund beim Start der AR-App durchgeführt werden, um Verzögerungen während der Anwendung zu vermeiden.

Matching Algorithmic speed test

Phase	Set1 - Time (S)	Set2 - Time (S)
Library initialization	0.5927	0.5538
Load Point Clouds	0.0616	0.2982
Downsampling	0.0056	0.0133
Estimate Normals	0.0003	0.0373
Compute FPFH	0.0015	0.4047
FGR	0.5756	0.7115
Total	1.2325	2.3221

Date set 1	Cound_bin_0	Cound_bin_1
Format	PCD	PCD
No. Point	198835	137833
Normals?	Yes	Yes
Float?	n.n	n.n
Scaler?	n.n	n.n

Date set 2	1004N	part_density_reduced
Format	PCD	XYZ
No. Point	269856	494748
Normals?	Yes	No
Float?	Yes	No
Scaler?	n.n	No

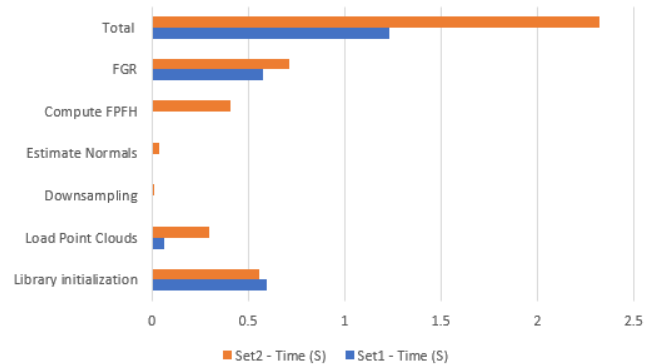


Abbildung 5: Matching Algorithmic Speed Test – Vergleich der Verarbeitungszeiten verschiedener Matching-Schritte für zwei Datensätze..

Zudem wurde festgestellt, dass das Laden der Punktwolken je nach Datensatzformat unterschiedlich lange dauert. Während einige Formate schnell verarbeitet werden konnten, war die Ladezeit für andere Formate erheblich höher. Eine mögliche Optimierung wäre die Konvertierung der Punktwolken in ein einheitliches, performantes Format während der Vorverarbeitung.

Ein weiteres interessantes Ergebnis war, dass das Berechnen von Feature-Deskriptoren (FPFH) in einigen Fällen signifikant mehr Rechenzeit benötigte. Dies deutet darauf hin, dass die Auswahl von Feature-Extraktionsmethoden je nach Anwendungsszenario angepasst werden sollte.

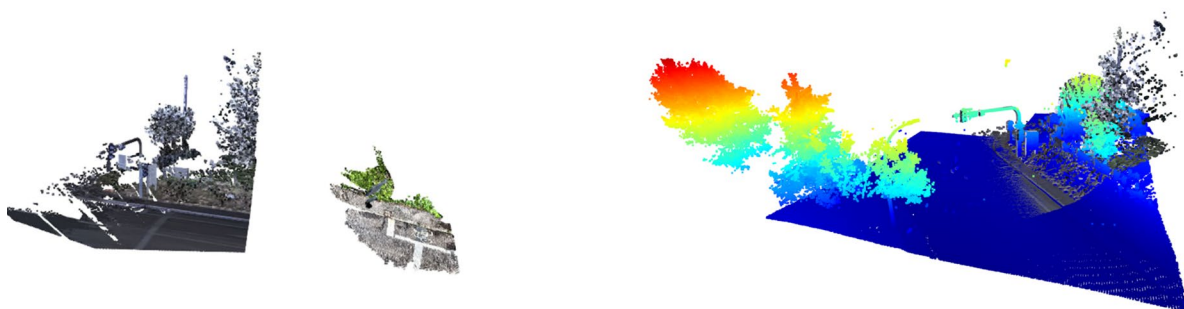


Abbildung 6: Match-Point-Wolken

Die erste Evaluierung des Tracking-Systems erfolgte mit dem Demonstrator 1 (D6.2), bei dem die grundlegende Funktionen getestet und iterativ verbessert wurden. In dieser Phase wurde deutlich, dass die Kombination aus Punktwolkenregistrierung und AR-Technologien signifikante Vorteile gegenüber traditionellen Tracking-Methoden bot, insbesondere in komplexen Umgebungen mit variablen Lichtverhältnissen und unstrukturierten Oberflächen.

Im weiteren Verlauf wurde der weiterentwickelte Demonstrator in wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgestellt (D6.3, M24), um die erzielten Fortschritte und die Praxistauglichkeit der entwickelten Methoden zu dokumentieren. Diese Publikationen trugen

dazu bei, das Thema Point Cloud Matching für AR-Tracking einem breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen und potenzielle Anwendungsfälle über die Stadtplanung hinaus zu identifizieren.

Der abschließende Demonstrator (D6.5) umfasste eine vollständig integrierte Lösung, die eine präzise Echtzeitverfolgung in urbanen Szenarien ermöglichte. Dabei wurde sichergestellt, dass die entwickelte Architektur flexibel genug war, um in zukünftigen AR-Anwendungen weiterverwendet zu werden. Die durchgeführten Tests bestätigten, dass die Kombination aus Punktwolken-basiertem Tracking und AR-Technologien eine signifikante Verbesserung der räumlichen Verankerung virtueller Inhalte darstellt.



Abbildung 7: Finaler Demonstrator mit vollständiger AR-Integration und Echtzeit-Tracking.

Die Abbildung zeigt den finalen Demonstrator in Aktion. Zu sehen ist das reale Untersuchungsgebiet, überlagert mit dem entworfenen 3D-Stadtmodell in einer Augmented Reality-Umgebung. Diese Visualisierung verdeutlicht, wie das entwickelte System das bestehende Stadtbild mit den geplanten Entwürfen kombiniert, um eine immersive, interaktive Stadtplanung zu ermöglichen. Durch die exakte Platzierung der digitalen Inhalte im physischen Raum erhalten Nutzer*innen eine realitätsnahe Vorstellung geplanter Veränderungen, was eine effektivere Bürgerbeteiligung und Entscheidungsfindung unterstützt.

Zusammenfassend wurden alle gesetzten Ziele erreicht. Die entwickelte Tracking-Architektur bot eine robuste und exakte Positionierung virtueller Inhalte in der realen Umgebung und bildete eine wesentliche Grundlage für die Nutzung von AR in der Stadtplanung. Die Ergebnisse des Arbeitspakets lieferten wertvolle Erkenntnisse zur Nutzung von Punktwolkentechnologien für AR-Tracking und trugen dazu bei, innovative Methoden für die digitale Bürgerbeteiligung in der Stadtplanung zu entwickeln.

Die Ergebnisse des Point Cloud Matching Prototypen wurden gemäß Projektplan in einem wissenschaftlichen peer-review Publikationen auf der intl. Smart Data and Smart Cities Konferenz 2022 als Open Access veröffentlicht (D6.3). Ein weiteres Paper wurde bei der Smart Data and Smart Cities Konferenz 2025 eingereicht (D 6.5).

II.1.6 Arbeitspaket 8: Stadtmodell-Server

Im Rahmen von AP8 wurde ein 3D-Stadtmodell-Szenario entwickelt, das auf architektonischen Plänen und Informationen der Stadt Fellbach basiert. Ziel war es, eine realitätsnahe und interaktive Umgebung zu schaffen, die für Stadtplanungsprozesse genutzt werden kann.

Zu Beginn wurden die bereitgestellten architektonischen Zeichnungen und städtischen Daten analysiert, um eine präzise digitale Rekonstruktion zu ermöglichen. Basierend auf diesen Daten

wurde die 3D-Planung des Untersuchungsgebiets erstellt und für interaktive Anwendungen optimiert (D8.1).



Abbildung 8: 3D-Planung des Kreisels in Fellbach.

Anschließend wurde eine parametrisierbare Objekt-Bibliothek integriert, um Elemente wie Baustellenschilder und Ampeln flexibel einfügen zu können (D8.2). Ergänzend wurden Verfahren zur Verarbeitung von Punktwolkendaten erprobt, um eine genauere Abstimmung der digitalen Modelle mit realen Gegebenheiten zu ermöglichen.

In der finalen Phase wurde der Stadtmodell-Server optimiert, um eine performante Visualisierung und effiziente Verwaltung von Entwurfsdaten zu gewährleisten (D8.3). Der erstellte Demonstrator stellt eine Grundlage für zukünftige digitale Stadtplanungsprojekte dar und zeigt, wie reale architektonische Pläne in immersive 3D-Umgebungen überführt werden können

II.1.7 Arbeitspaket 9: ELSI in der App-basierten Stadtplanung

Die Integration ethischer, rechtlicher und sozialer Aspekte (ELSI) war ein zentraler Bestandteil der app-basierten Stadtplanung. Ziel war es, Bürger*innen frühzeitig einzubinden, Transparenz zu gewährleisten und soziale Akzeptanz zu fördern.

Zu Beginn wurden Strategien zur Aktivierung und Sensibilisierung der Zielgruppen entwickelt (D9.1). Erste Entwürfe der Benutzeroberfläche wurden vorgestellt und von Nutzer*innen bewertet. In den Testregionen Berlin und Fellbach kamen verschiedene Beteiligungsformate zum Einsatz, darunter Workshops und digitale Feedback-Methoden (D9.2).

Durch eine iterative ELSI-Anforderungsanalyse wurden soziale, ethische und rechtliche Anforderungen kontinuierlich überprüft und in die Weiterentwicklung der Technologie integriert (D9.3). Die HFT Stuttgart hat in diesem vom Frauencomputerzentrum geleiteten Arbeitspakets gemäß Projektplan mitgewirkt.

II.1.8 Arbeitspaket 11: Projektmanagement

Eine strukturierte Projektplanung und -koordination war essenziell, um einen reibungslosen Ablauf über die gesamte Laufzeit zu gewährleisten. Neben der inhaltlichen Steuerung umfasste das Arbeitspaket auch die Koordination von Projekttreffen, den fachlichen Austausch zwischen Partnern sowie die Projektdokumentation.

Zu Beginn wurde ein Projektplan mit klaren Meilensteinen und Zuständigkeiten erstellt, um die Aufgabenverteilung und den Fortschritt effizient zu steuern (AP11.1). Regelmäßige Jour-Fixe-Meetings, Konsortialtreffen und Workshops förderten den Austausch zwischen den Partnern (AP11.2). Zudem wurde ein Beirat gegründet, um eine externe Perspektive auf die Projektergebnisse zu ermöglichen.

Ein zentraler Bestandteil war der fachliche Austausch und Wissenstransfer (AP11.3). Ergebnisse wurden intern und extern kommuniziert, etwa durch Präsentationen auf Konferenzen und die Einbindung in akademische Lehrveranstaltungen. Die Projektdokumentation (AP11.4) erfolgte kontinuierlich, um den Fortschritt nachvollziehbar festzuhalten.

Wichtige Meilensteine waren die Erstellung der Zwischenberichte (D11.1, D11.2) sowie der Projektabschlussbericht (D11.3), der die Ergebnisse zusammenfasst und Empfehlungen für zukünftige Anwendungen gibt.

Durch AP11 wurde sichergestellt, dass das Projekt effizient koordiniert, wissenschaftlich fundiert dokumentiert und nachhaltig nutzbar gemacht wird.

II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der wesentliche Kostenfaktor im Projekt war die Beschäftigung wissenschaftlichen Personals. Über die Projektlaufzeit hinweg war ein wissenschaftlicher Mitarbeiter mit einer 50 %-Stelle angestellt. Im Verlauf des Projekts erfolgte ein Personalwechsel, wobei die Stelle weiterhin in gleicher Kapazität besetzt blieb.

Für die technische Umsetzung wurden verschiedene Geräte eingesetzt, darunter ein iPhone mit LiDAR-Scanner und ein MacBook für die iOS-App-Entwicklung. Diese wurden jedoch nicht aus dem Projektbudget finanziert, sondern anderweitig bereitgestellt.

Im Bereich der Reise- und Veranstaltungskosten fielen Ausgaben für zwei Dienstreisen nach Berlin an, die der Teilnahme an Projekttreffen dienten. Zudem wurden Reisekosten für die Teilnahme an der SDSC-Konferenz übernommen, um Projektergebnisse zu präsentieren und den wissenschaftlichen Austausch zu fördern.

Abweichungen vom ursprünglichen Budgetplan traten nicht auf. Die Mittel wurden entsprechend der ursprünglichen Planung eingesetzt und ermöglichten eine effiziente Umsetzung der Projektziele.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Forschungsvorhaben bot die Möglichkeit, neue digitale Werkzeuge für die Stadtplanung zu entwickeln, die partizipative Prozesse durch AR-Technologien unterstützen. Ziel war es, innovative Methoden bereitzustellen, die Stadtverwaltungen und Bürger*innen eine bessere visuelle und interaktive Entscheidungsgrundlage bieten. Dabei stand nicht der wirtschaftliche Gewinn im Vordergrund, sondern vielmehr die Erprobung neuer Kommunikations- und Beteiligungsformen, die langfristig eine nachhaltigere Stadtentwicklung ermöglichen.

Die Entwicklung und Umsetzung des AR-gestützten Beteiligungsprozesses erforderte eine intensive Forschungsbegleitung und enge Zusammenarbeit mit Stadtverwaltungen,

Planungsbüros und Bürger*innen. Um die Qualität der entwickelten Lösungen zu gewährleisten, wurde ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, der technische, planerische und gesellschaftliche Anforderungen miteinander verband. Ohne die bereitgestellten Mittel wäre eine derart detaillierte Erforschung, Entwicklung und Erprobung dieser digitalen Werkzeuge nicht möglich gewesen.

Die geleistete Arbeit entsprach dem ursprünglichen Projektplan und war für die Erreichung der Ziele essenziell. Insbesondere die Entwicklung der Tracking-Technologien, des AR-Clients und des Stadtmodell-Servers war notwendig, um eine vollständige und funktionsfähige Lösung zu erstellen. Durch die durchgeführten Workshops, Tests und Evaluierungen wurde sichergestellt, dass die Technologie praktikabel, nutzerfreundlich und in realen Planungsprozessen anwendbar ist.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insb. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts wurden kommunalen Akteuren und Fachgremien vorgestellt, um ihre Anschlussfähigkeit an bestehende Planungsprozesse sicherzustellen. In Präsentationen und Workshops mit der Stadt Fellbach sowie weiteren Stakeholdern wurde der Mehrwert der entwickelten AR-gestützten Beteiligungsplattform deutlich, insbesondere für die Visualisierung und interaktive Planung von Stadtentwicklungsmaßnahmen. Die positive Resonanz zeigt, dass die entwickelten Technologien als nützliches Werkzeug für Bürgerbeteiligung und digitale Stadtplanung wahrgenommen werden.

Die Projektdokumentation sowie die erarbeiteten technischen Lösungen werden den Kooperationspartnern und Stadtverwaltungen zur Verfügung gestellt, um sie in zukünftige Planungsprozesse zu integrieren. Insbesondere die entwickelte AR-App zur Visualisierung von Stadtmodellen und Planungsentwürfen kann weiter genutzt und ausgebaut werden.

Die Erkenntnisse aus den Nutzertests zeigen, dass digitale Beteiligungsformate mit AR-Technologie die Verständlichkeit und Akzeptanz von Planungsprozessen verbessern können. In weiterführender Forschung könnte untersucht werden, wie solche Technologien systematisch in kommunale Entscheidungsprozesse integriert werden können.

Darüber hinaus tragen die Projektergebnisse zur Weiterentwicklung von AR-Tracking-Methoden in urbanen Umgebungen bei. Die entwickelten Lösungen und Algorithmen können in zukünftigen Forschungs- und Praxisprojekten weiterverwendet werden. Die Ergebnisse wurden zudem als Open Access veröffentlicht, um eine breite Nutzung und wissenschaftliche Weiterentwicklung zu ermöglichen.

II.5 Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurde das Streetmoves4iCity-Projekt¹ als relevante Forschung identifiziert, die sich mit der Nutzung von AR- und VR-Technologien für Bürgerbeteiligung in der Stadtplanung befasst. Das Projekt untersuchte, wie digitale Beteiligungsinstrumente eingesetzt werden können, um die Akzeptanz für städtische Veränderungen zu fördern.

Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl AR als auch VR effektive Werkzeuge sind, um Bürger*innen Planungsentwürfe zugänglich zu machen und die öffentliche Beteiligung zu verbessern. Während Streetmoves4iCity verschiedene digitale Partizipationsansätze evaluierte,

¹ C. Simon-Philipp, u. a., „Schlussbericht zum Vorhaben Streetmoves4iCity : FH-Impuls 2016 Intensivierungsphase: Streetmoves für die Intelligente Stadt“ <https://opus.bsz-bw.de/hft/frontdoor/index/index/start/6/rows/10/sortfield/score/sortorder/desc/searchtype/simple/query/alfakhori/docId/702>

konzentrierte sich unser Projekt insbesondere auf die interaktive und standortbezogene Nutzung von AR für Stadtplanungsprozesse. Die Erkenntnisse beider Projekte verdeutlichen die wachsende Bedeutung immersiver Technologien in partizipativen Planungsprozessen und liefern wertvolle Anknüpfungspunkte für zukünftige Entwicklungen.

II.6 Erfolgte Veröffentlichungen der Ergebnisse

1. Alfakhori, M., Dastageeri, H., Schneider, S., and Coors, V.: Occlusion Screening using 3D City Models as a Reference Database for mobile AR-Applications, 7th International Smart Data Smart Cities and 17th International 3D GeoInfo joint conference, 18.10.2022, UNSW Sydney, Australien, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-11-2022>
2. Alfakhori, M.; Schneider, S.; Coors, V.: High-Precision AR Localization for Outdoor Applications Using Point Cloud Registration, eingereicht bei der 9th Inte7th International Conference Smart Data Smart Cities, 2.-5.9.2025, Tokio (under review)
3. Durchführung von Masterarbeiten im Bereich der Geoinformatik (HFT), auch gemeinsam mit Partnern:
 - a. „Outdoor Mobile Augmented Reality in Urban Planning“ - Justin Jing Hui
 - b. „Occlusion Screening using 3D city models as a reference database for mobile AR-Applications“ – Muhammad Alfakhori
 - c. „Office Layout design using Augmented and Mixed Reality“ - Juan Sebastián Sardi Barzallo
4. Die Projektergebnisse werden direkt in die Lehre integriert, beispielsweise in den Modulen Customization, Internet GIS, Visualisierung und GIS Studios. Zudem wird eine Schulung für Masterstudenten zur Erstellung einer einfachen AR-Partizipations-App mit WebAR durchgeführt.
5. Veröffentlichung von Projektergebnissen auf Konferenzen:
 - a. Stuttgarter Wissenschaftsfestival, Stuttgart 2022
 - b. SDSC 2022 & 3D GeoInfo, Sydney, 21.10.2022
 - c. EuroXR 2022, Stuttgart
 - d. 3D Forum Lindau 2023, Lindau, 10.05.2023 (ca. 60 Teilnehmer)
 - e. XR EXPO 2023, Stuttgart, 15.-16.06.2023
 - f. XR EXPO 2024, Stuttgart, 03.-04.04.2024
 - g. INTERGEO 2024, Stuttgart, 24.-26.09.2024
 - h. Stuttgarter Wissenschaftsfestival 2024, 15.10.2024
 - i. STEG Fachtag BW, Kornwestheim, 15.10.2024 (ca. 100 Teilnehmer)
 - j. XR EXPO 2025 & Virtuelle Welten, Stuttgart
6. Laufendes Promotionsvorhaben von Herrn Alfakhori im Kontext AR und Bürger*innenbeteiligung
7. Wirtschaftlich-technische Verwertung aus Sicht der Partner*innen und der Sicht Dritter
 - a. Austausch mit Multiplikatoren / Gremien im Thema
 - b. Ausbau der Kontakte zu den Kooperationspartner*innen und Initiierung von Folgeprojekten <https://citydemonstrator.hft-stuttgart.de>
 - c. Webbasierte Services zur Auswertung und Bereitstellung von Punktwolken (z. B. Klassifikation) <https://urbanvis.hft-stuttgart.de/Testgebiete.html>
 - d. Website für die mit den Projektpartnern erstellte gescannte Punktwolke <https://3dpointhub.com/view/LBbV6cN8m0JdQzc>

II.7 Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Weitere Veröffentlichungen sind im Rahmen des Promotionsvorhabens von Herrn Alfakhori geplant.

Anhang 1: Liste der verwendeten Fachliteratur, Informations- und Datenquellen

1. V. Settgast, „VR Planning – we’re planning“, 2020. <https://www.igd.fraunhofer.de/projekte/vr-planning-were-planning> (zugegriffen Juni 29,2020).
2. S. Walz, A. Kast, G. Schulze, L. Born, K. Krüger, und K. Niggemeier, Handbuch zur Partizipation. Berlin: Kulturbuch-Verlag GmbH, 2011.
3. K. Wildner und H. M. Berger, „Das Prinzip des öffentlichen Raums“, 2018.<https://www.bpb.de/politik/innenpolitik/stadt-und-gesellschaft/216873/prinzip-des-oeffentlichen-raums> (zugegriffen Juni 29, 2020).
4. M. Lübcke, R. Lührs, und D. Rutschle, „Die Zukunft der Stadtentwicklung: online und partizipativ?“, Informationen Zur Raumentwickl., Bd. 2011, Nr. 10, S. 627–636, 2011.
5. M. Vögele, T. Santhanavanich, P. Würstle, G. Graf, und V. Coors, „SMART VILLAGES –VERNETZUNG VON 3D-GEOINFORMATION UND UMWELTRELEVANTEN SENSORDATEN IM LÄNDLICHEN RAUM“,GIS.Science, Nr. 2, 2020,
6. [Online]. Verfügbar unter:<https://gispoint.de/artikelarchiv/gis/2020/gisscience-ausgabe-22020.html>.
7. HFT Stuttgart, „Angewandter Transfer | HFT Stuttgart“, Campus Stadtmitte – Der Campus als Experimentierfeld nachhaltiger Stadtentwicklung, 2020. <https://www.hft-stuttgart.de/forschung/innovative-hochschule-m4-lab/angewandter-transfer#subnavigation>(zugegriffen Juli 23, 2020).
8. Initiative-D21, „D21 Digitalindex 19/20 – Jährliches Lagebild zur Digitalen Gesellschaft“,2020. https://initiatived21.de/app/uploads/2020/02/d21_index2019_2020.pdf (zugegriffen Juni 28, 2020).
9. Initiative-D21, „Digital Gender Gap - Lagebild zu Gender(un)gleichheiten in der digitalisierten Welt“, 2020.https://initiatived21.de/app/uploads/2020/01/d21_digitalgendergap.pdf (zugegriffen Juni 28,2020).
10. I. Preußner-Moritz und K. Reichel, „Partizipationshandeln und Mikropolitik“, in Gesund mit und ohne Arbeit, T. Rigotti, S. Korek, und K. Otto, Hrsg. Lengerich: Pabst Science Publishers,2010, S. 249–260.
11. W. Barfield,Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, 2nd Aufl. BocaRaton: CRC Press, 2015.
12. G. Klein und D. Murray, „Parallel tracking and mapping on a camera phone“, in IEEE 2009International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2009, 2009, S. 83–86,doi: 10.1109/ISMAR.2009.5336495.
13. S. Izadiu. a., „KinectFusion: Real-time dynamic 3D surface reconstruction and interaction“,in ACM SIGGRAPH 2011 Talks, SIGGRAPH’11, New York, 2011, S. Article 23, 1, doi:10.1145/2037826.2037857.
14. D. Rettenmund, M. Fehr, S. Cavegn, und S. Nebiker, „Accurate visual localization in outdoor and indoor environments exploiting 3D image spaces as spatial reference“, inInternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 2018, S. 355–362, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-1-355-2018.
15. C. Coutrix und L. Nigay, „Mixed reality: a model of mixed interaction“, in Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, Venezia, Italy, Mai 2006, S. 43–50, doi:10.1145/1133265.1133274.
16. J. Franco und D. Cabral, „Augmented object selection through smart glasses“, in Proceedings of the 18th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia,Pisa, Italy, Nov. 2019, S. 1–5, doi: 10.1145/3365610.3368416.
17. R. J. K. Jacobu. a., „Reality-based interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces“, inProceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08, New York, New York, USA, Apr. 2008, S. 201–210, doi:10.1145/1357054.1357089.
18. K. Hinckley, R. Pausch, J. Gobble, und N. Kassell, „Passive real-world interface props forneurosurgical visualization“, inCHI’94, 1994, S. 452–458.
19. B. E. Insko, „Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments“, PhD Thesis, University of North Carolina, Chapel Hill, 2001.
20. A. Franzluebbers und K. Johnsen, „Performance Benefits of High-Fidelity Passive Haptic Feedback in Virtual Reality Training“, in Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction, Berlin, Germany, Okt. 2018, S. 16–24, doi: 10.1145/3267782.3267790.
21. A. Zenneru. a., „A Virtual Reality Couch Configurator Leveraging Passive Haptic Feedback“, in Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu, HI, USA, Apr. 2020, S. 1–8, doi: 10.1145/3334480.3382953.

22. P. T. Fischer und E. Hornecker, „Urban HCI: Spatial Aspects in the Design of Shared Encounters for Media Faccades“, in ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI, 2012, S. 307–316.
23. F. Salim und U. Haque, „Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things“, *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Bd. 81, S. 31–48, 2015, doi:10.1016/j.ijhcs.2015.03.003.
24. D. Chen, R. Wang, und J. Peethambaran, „Topologically Aware Building Rooftop Reconstruction from Airborne Laser Scanning Point Clouds“, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Bd. 55, Nr. 12, S. 7032–7052, 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2738439.
25. A. Boulch, B. Le Saux, und N. Audebert, „Unstructured point cloud semantic labeling using deep segmentation networks“, in Euro graphics Workshop on 3D Object Retrieval, EG 3DOR, 2017, S. 7, doi: 10.2312/3dor.20171047.
26. J. Teizer, C. Kim, C. T. Haas, K. A. Liapi, und C. H. Caldas, „Framework for real-time three-dimensional modeling of infrastructure“, *Transp. Res. Rec.*, Bd. 1913, Nr. 1, S. 177–186, 2005, doi: 10.3141/1913-17.
27. S. Nebiker, S. Bleisch, und M. Christen, „Rich point clouds in virtual globes - A new paradigm in city modeling?“, *Comput. Environ. Urban Syst.*, Bd. 34, Nr. 6, S. 508–517, 2010, doi: 10.1016/j.compenurbsys.2010.05.002.
28. S. Discher, R. Richter, M. Trapp, und J. Döllner, „Service-Oriented Processing and Analysis of Massive Point Clouds in Geoinformation Management“, Cham: Springer, 2019, S. 43–61.
29. P. Goswami, F. Erol, R. Mukhi, R. Pajarola, und E. Gobbetti, „An efficient multi-resolution framework for high quality interactive rendering of massive point clouds using multi-waykd-trees“, *Vis. Comput.*, Bd. 29, Nr. 1, S. 69–83, 2013, doi: 10.1007/s00371-012-0675-2.
30. D. Martinez-Rubiu. a., „Using modular 3D digital earth applications based on point clouds for the study of complex sites“, *Int. J. Digit. Earth*, Bd. 9, Nr. 12, S. 1135–1152, 2016, doi:10.1080/17538947.2016.1205673.
31. F. L. Krause, A. Fischer, N. Gross, und J. Barhak, „Reconstruction of freeform objects with arbitrary topology using neural networks and subdivision techniques“, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, Bd. 52, Nr. 1, 2003, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60547-2.
32. 3D-Systems, „Geomagic“, Juli 03, 2020. <https://www.3dsystems.com/software/geomagic-design-x>.
33. A. Aldomau. a., „CAD-model recognition and 6DOF pose estimation using 3D cues“, in *ICCV2011 3D Representation and Recognition (3D RR11)*, 2011, S. 585–592, doi:10.1109/ICCVW.2011.6130296.
34. HFT Stuttgart, „icity: Impulsprojekt | Leitprojekt Intelligente Stadt“, 2020. <https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/i-city-impulsprojekt> (zugegriffen Juli 19, 2020).
35. S. Houben und C. Weichel, „Overcoming interaction blindness through curiosity objects“, in *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems on - CHI EA '13*, New York, New York, USA, 2013, S. 1539, doi: 10.1145/2468356.2468631.
36. K. Weber, „MEESTAR2 Ein erweitertes Modell zur ethischen Evaluierung soziotechnischer Arrangements“, 2016.
37. J. Nelles, C. Bröhl, J. Spies, C. Brandl, A. Mertens, und C. M. Schlick, „ELSI - Fragestellungen im Kontext der Mensch - Roboter - Kollaboration“, 2016.
38. M. Wille, C. Brandl, J. Nelles, A. Mertens, und C. M. Schlick, „AMICAI: Ein methodisches Vorgehen zur quantitativen Analyse von ethischen, rechtlichen und sozialen Auswirkungen anwendungsnaher Forschungsprojekte.“, 2016.
39. J. H. Israel, J. Hurtienne, A. E. Pohlmeier, C. Mohs, M. C. Kindsmüller, und A. Naumann, „Onintuitive use, physicality and tangible user interfaces“, *Int J. Arts Technol.*, Bd. 2, Nr. 4, S.348–366, 2009, doi: 10.1504/IJART.2009.029240.
40. I. Tag, M. Pries, U. Wagner, J. H. Israel, und T. Jung, „Geometrische und softwaretechnische Aspekte bei der Implementierung eines VR-Kollaborationssystems“, in *21. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten (3D-Nordost 2018)*, 2018, S. 149–158.
41. H. Wiesner, A. Ducki, S. Svenja, und H. Mensah, „Gestaltbare Technologien und Diversity im Community-Kontext“, in *Digitale Kommunikation*, G. Hobauer, P. Annette, A. Rumler, und P. Schuchert-Güler, Hrsg. Berlin: uni-edition GmbH, 2012, S. 223–241.
42. H. Wiesner und A. Wiesner-Steiner, „Einschätzungen zu Lernpfaden – Eine empirische Exploration“, in *Medienvielfalt im Mathematikunterricht*, J. Roth, E. Süss-Stepancik, und H. Wiesner, Hrsg. Wiesbaden: Springer Spektrum Fachmedien, 2015, S. 27–45.

43. J. Kirch, B. Eisenbart, und H. Wiesner, „COMPUTER SUPPORTED COLLABORATIVE WORK –TEACHING TRANSFORMATIVE TECHNOLOGY AND PARTICIPATION“, in13th annual International Technology, Education and Development Conference (INTED2019), Valencia,2019, S. in Print, doi: 10.21125/inted.2019.1609.
44. D. Monettu. a., „Transformative Technologies in Education: A Roadmap for Robotics in Learning Scenarios“, inProceedings of the Academic Conference on Education, Teaching and E-learning, AC-ETeL 2018, Prague, 2018, S. 1–8.
45. H. Wiesner, „Mehr Diversity und mehr Gender wagen: Herausforderungen im E-Learningund MOOCs-Kontext“, inGender-Effekte: Wie Frauen die Technik von morgen gestalten.IZG-Forschung, Band 19, U. Kempf und B. Wrede, Hrsg. 2017, S. 21–38.
46. H. Wiesner, I. Tripp, J. Schütze, und E. Erol, „Digitale Souveränität und Geschlecht – dasgeht uns alle an!“,Ksoe Doss., Bd. 1, S. 10–13, 2019.
47. D. Wagner, M. Wewetzer, J. Bogdahn, N. Alam, M. Pries, und V. Coors, „Geometric-Semantical Consistency Validation of CityGML Models“, 2013.
48. HFT Stuttgart, „SPIRIT | Ereignisgesteuerte Informationsvermittlung, Inspiration und Unterhaltung im urbanen Umfeld auf Basis mobiler Augmented Reality Technologien“,2017. <https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/abgeschlossen/spirit> (zugegriffen Juli19, 2020).
49. H. Dastageeri, M. Storz, V. Coors, und A. Rahman, „Mobile Location-based and Videobased Augmented Reality for Guiding and Informing Pilgrims“, Penang, 2016.
50. H. Dastageeri, M. Storz, A. Koukofikis, S. Knauth, und V. Coors, „Approach and evaluation of a mobile video-based and location based augmented reality platform for information brokerage“, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2016, S. 151–157, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W1-151-2016.
51. H. Dastageeri, M. Storz, und V. Coors, „SPIRIT Videobasierte mobile Augmented Reality Lösung zur interaktiven Informationsvermittlung“, inTagungsband DGPF Jahrestagung,2015, Bd. 24, S. 288–295.
52. A. Kampa, H. Dastageeri, M. Storz, V. Coors, und U. Spierling, „SPIRIT Ereignisgesteuerte Informationsvermittlung, Inspiration und Unterhaltung im urbanen Umfeld auf Basis mobiler Augmented Reality Technologien“, in11. Workshop der GI-Fachgruppe VR/AR, Bremen,2014, S. 49–60.
53. S. Knauth, M. Storz, H. Dastageeri, A. Koukofikis, und N. A. Mahser-Hipp, „Fingerprint calibrated centroid and scalar product correlation RSSI positioning in large environments“,in2015 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2015,Ban, Alberta, 2015, S. 1–6, doi: 10.1109/IPIN.2015.7346968.
54. HFT Stuttgart, „SimStadt 2.0 | 3D-Simulation urbaner Energiesysteme“, 2020.<https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/simstadt-20> (zugegriffen Juli 19,2020).
55. HFT Stuttgart, „SensAR | Sensorische Daten und Augmented Reality“, 2020.<https://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sensar> (zugegriffen Juli 19, 2020).
56. S. Malihi, M. J. V. Zoej, M. Hahn, und M. Mokhtarzade, „Window detection from UAS-derived photogrammetric point cloud employing density-based filtering and perceptual organization“,Remote Sens., Bd. 10, Nr. 8, S. 1320, 2018, doi: 10.3390/RS10081320.
57. S. Malihi, M. J. V. Zoej, und M. Hahn, „Large-scale accurate reconstruction of building semploying point clouds generated from UAV imagery“,Remote Sens., Bd. 10, Nr. 7, S.1148, 2018, doi: 10.3390/rs10071148.
58. L. S. Obrock und E. Gülch, „First steps to automated interior reconstruction from semantically enriched point clouds and imagery“, in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2018,S. 781–787, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-781-2018.
59. S. Schneider und V. Coors, „Automatische Extraktion von Fenstern in 3D Punktwolkenmittels einer hierarchischen Methode“, in Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung derDGPF und PFGK18 Tagung, München, 2018, S. 559–572.
60. I. Buchem und S. Würz, „Kritische Medienkompetenzen. Online-Reputation mit digitalenMedien professionell gestalten“, in Themenreihe „Integration durch Qualifizierung“ des 34Gender- und Technik-Zentrums der Beuth Hochschule Berlin, E.-M. Dombrowski und A.Ducki, Hrsg. 2014.