

Smart City Projekt „CrowdAnym“

Abschlussbericht



Eine Vorstudie zu Möglichkeiten anonymer Datenerfassung als Grundlage datengetriebener Besuchlenkung in der Bamberger Altstadt

Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Lehrstuhl für Informatik, insb. Mobile Softwaresysteme/Mobilität

Projektleitung: Prof. Dr. Daniela Nicklas

Förderkennzeichen: 19F1123A

Safactory GmbH (SF)

Förderkennzeichen: 19F1123B

Inhalt

1	Kurze Darstellung	4
1.1	Aufgabenstellung	4
1.2	Voraussetzungen, Planung und Ablauf	5
1.3	Wissenschaftlicher und technischer Stand	7
1.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
2	Eingehende Darstellung	8
2.1	Zuwendungen, Ergebnisse, vorgegebene Ziele (Gegenüberstellung) – Uni Bamberg	8
2.2	Zuwendungen, Ergebnisse, vorgegebene Ziele (Gegenüberstellung) Safactory	12
2.3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	14
2.4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	15
2.5	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	16
2.6	Fortschritt bei anderen Stellen	17
2.7	Veröffentlichung des Ergebnisses	17
3	Erfolgskontrollbericht	18
3.1	Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen Zielen	18
3.2	Wissenschaftliches / technisches Ergebnis des Vorhabens	18
3.2.1	Entwicklung der Anonymisierung	18
3.2.2	Implementierung des Sensorsystems	19
3.2.3	Feldstudie: Auswertung der Daten bei starker Anonymisierung	19
3.2.4	Einschränkungen	23
3.2.5	Ground Truth	24
3.2.6	Veröffentlichung der Daten in der Mobilthek	27
3.2.7	Akzeptanzstudie – wesentliche Ergebnisse der Onlinestudie im Detail	27



3.2.8	Ergebnis	34
3.3	Fortschreibung des Verwertungsplans	34
3.4	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	35
3.5	Einhaltung der Kosten-und Zeitplanung	35

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

In der bei Tourismus und Bevölkerung gleichermaßen beliebten Bamberger Altstadt kommt es immer wieder zu örtlicher Überlastung. Ein daten- und sensorbasiertes System soll daher zukünftig smarte Empfehlungen geben und die Situation für alle Beteiligten verbessern. In dieser Vorstudie sollte mit einer Testinstallation im Feld untersucht werden, ob die Datenqualität auch bei starker Anonymisierung (die wiederum für die Akzeptanz der Maßnahme wichtig ist) für solche Vorhaben ausreicht. Außerdem wurde untersucht, unter welchen Bedingungen das System für die Bevölkerung hohe Akzeptanzwerte erreicht und welche weiteren Anwendungen mit einer OpenData-Bereitstellung der Daten möglich werden.

Das automatisierte Erfassen von Fußgängerbewegungen im öffentlichen Raum bietet viele Chancen für neuartige Anwendungen, wie z. B. die sensordatenbasierte Besuchlenkung in touristisch beliebten Altstädten. Bluetooth- und Wifi-basierte Sensorsysteme erfassen Menschenmengen kostengünstig über anwesende Mobilgeräte, allerdings mit bislang unbekannter Datenqualität. Ziel dieses Projekts war es daher, eine starke Anonymisierungstechnik für die Sammlung von Mobilitätsdaten im öffentlichen Raum zu entwickeln und diese zu testen. Insbesondere sollte untersucht werden, mit welchen Technologien Fußgängerverkehr Privatsphäre-erhaltend gemessen werden können. Zweitens sollte die Frage beantwortet werden, ob die Datenqualität ausreichend für die Vorhersage von Besuchszahlen ist, da dies eine wichtige Voraussetzung für mögliche Anwendungen, wie eine datenbasierte Besuchlenkung ist. Drittens sollte die Akzeptanz dieser Maßnahme durch die Bevölkerung geprüft und Transparenz durch OpenData geschaffen werden.

Folgende Vorhabenziele wurden für das vom mFUND geförderte Projekt „CrowdAnym“ im Einzelnen definiert:

- Installation eines Sensorsystems an touristisch interessanten Orten der Bamberger Innenstadt
- Bereitstellung einer Datenplattform, welche die Sensordaten empfängt
- Entwicklung einer Anonymisierungstechnik, so dass keine personenbezogenen Daten und sensiblen Informationen gespeichert werden.
- Ausarbeitung eines Datenschutzkonzepts für das Vorhaben

- Durchführen einer Feldstudie, um festzustellen, ob ein smartes Besuchslenkungssystem auch bei starker Anonymisierung die erforderlichen Daten liefern kann.
- Durchführung einer Akzeptanzstudie, um herauszufinden, unter welchen Voraussetzungen ein solches System von der Bevölkerung akzeptiert wird.
- Veröffentlichung der Projektergebnisse und Bereitstellung der Daten als Open Data.

Im Rahmen des Projekts waren die Aufgaben folgendermaßen unter den Projektpartnern aufgeteilt.

Otto-Friedrich-Universität Bamberg (UBA)

Der Lehrstuhl für Informatik, insb. Mobile Softwaresysteme/Mobilität (UMOB) war Konsortialführer des Projekts und verantwortete in diesem Zusammenhang das Projektmanagement. Zusätzlich übernahm der Lehrstuhl die Bereitstellung der Datenplattform, die Entwicklung des Datenschutzkonzepts, die Durchführung der Feldstudie sowie die Veröffentlichung der Ergebnisse und Bereitstellung der Daten als Open Data. Der Lehrstuhl für Persönlichkeitspsychologie und Psychologische Diagnostik (UPSY) verantwortete die Durchführung der Akzeptanzstudie.

Safactory GmbH (SF)

Safactory verantwortete die Bereitstellung der Hardware und Installation der Sensoren an touristisch interessanten Orten in der Bamberger Innenstadt und entwickelte die Anonymisierungstechnik für die personenbezogenen MAC-Adressen.

1.2 Voraussetzungen, Planung und Ablauf

Das Projekt CrowdAnym wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Förderprogramms mFUND gefördert. Die Machbarkeitsstudie mit einer Gesamtlaufzeit von insgesamt 12 Monaten war Teil der Förderlinie I und hatte ein Projektvolumen von 103.244,59 €, wovon der Förderanteil des BMVI 79,75 Prozent (82.335,77 €) betrug. Das BMVI trat auch als Projektträger auf. Das Projekt begann am 01.09.2022 und endete am 31.08.2023.

Die Voraussetzungen für die Installation eines sensorbasierten Systems zur Messung von Besucherströmen in einer touristisch stark frequentierten Stadt umfassten:

- Infrastruktur: Die Verfügbarkeit der erforderlichen Infrastruktur wie Sensoren und einer Datenplattform.

- Interdisziplinäre Zusammenarbeit: Eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen wie Informatik, Psychologie, lokalen Unternehmen, der Stadtverwaltung und der Bürgerschaft.
- Datenschutz und Privatsphäre: Die Gewährleistung von Datenschutzrichtlinien und -standards, um die Anonymität und den Schutz der erfassten Daten zu gewährleisten.
- Skalierbarkeit: Die Fähigkeit des Systems, große Datenmengen zu verarbeiten und Echtzeit-Analysen der Besucherströme durchzuführen.
- Evaluierung und Feedback: Regelmäßige Überprüfung des Systems und die Einbeziehung des Feedbacks aller Beteiligten.
- Akzeptanz der Bürgerschaft: Die Berücksichtigung der Akzeptanz und Bedenken der Bürgerschaft hinsichtlich Datenschutz, Privatsphäre und Nutzen des Systems.

Abbildung 1 zeigt den initialen Projektplan und die Arbeitspakete (AP) des Smart City Projekts CrowdAnym. Beteiligte Akteure waren die Uni Bamberg (UBA) und Safactory (SF). Während des Projektverlaufs gab es vereinzelt Verzögerungen bei bestimmten Arbeitspaketen, insbesondere bei der Sensorinstallation durch externe Abhängigkeiten. Dennoch konnte der Projektplan durch Anpassungen insgesamt eingehalten werden.

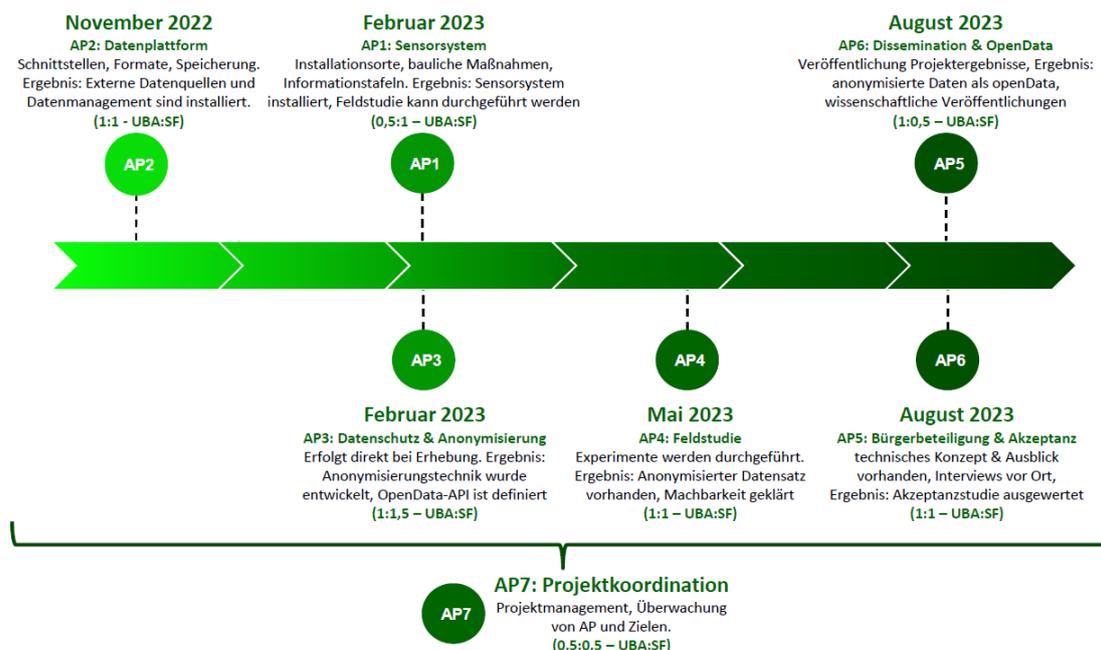


Abbildung 1: Projektplan CrowdAnym

1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Es gibt mehrere Ansätze für die Ermittlung der Größe von Menschenmengen in städtischen Gebieten. Kamera-basierte Lösungen¹²³ sind eine vielversprechende Alternative zur manuellen Schätzung. Allerdings sind diese beim Thema Datenschutz bedenklich und ebenfalls sehr energieintensiv. Nicht Bild-basierte Lokalisierungslösungen benötigen meist die aktive Beteiligung von Menschen. Hier muss entweder eine Smartphone-Anwendung⁴ installiert werden oder es müssen freiwillig selbst gebaute Geräte mit RFID-Tags⁵ oder Bluetooth⁶ mitgeführt werden. Bei der Anonymisierung von Mobilitätsdaten werden in der Praxis vor allem folgende Methoden umgesetzt: Entfernung von Start- (und ggf. Ziel-) Punkten, Vergabe von Strecken-IDs anstelle von Nutzer-IDs, k-Anonymitätsmodelle und Differential-Privacy-Ansätze^{7 8} sowie synthetische Daten bzw. Rauschen durch zusätzliche künstliche Daten (dummy-based mechanisms).

Die beschriebenen Probleme können durch eine technologische Lösung der Bamberger Safactory GmbH umgangen werden, indem Wifi Tracker die Signale von Mobilgeräten wie z.B. Smartphones aufzeichnen. Die Daten werden vor der Speicherung so anonymisiert, dass kein Rückschluss mehr auf das zugehörige Gerät möglich ist. Dies hat den Vorteil, dass die erhobenen Daten keiner identifizierbaren natürlichen Person zugeordnet werden können, und damit keine Einwilligung der Betroffenen erforderlich ist. Gleichzeitig soll trotz dieser Anonymisierung die Datenqualität soweit erhalten bleiben, dass man Aussagen über die Frequentierung bestimmter Orte treffen kann. Zum anderen sind die Geräte im Vergleich zu alternativen Technologien in der Herstellung sehr günstig, da im Prinzip jeder Wifi-fähige Mini-Computer bereits die für den Bau solcher Sensoren erforderliche Hardware enthält.

¹ C. Shang, H. Ai, und B. Bai, „End-to-end crowd counting via joint learning local and global count“, *2016 IEEE Int. Conf. Image Process. ICIP*, 2016.
² V. B. Subburaman, A. Descamps, und C. Carincotte, „Counting People in the Crowd Using a Generic Head Detector“, in *2012 IEEE Ninth International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance*, 2012, S. 470–475.
³ Q. Zhang und A. B. Chan, „Wide-Area Crowd Counting via Ground-Plane Density Maps and Multi-View Fusion CNNs“, *2019 IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. CVPR*, 2019.
⁴ R. SEN, Y. LEE, K. JAYARAJAH, R. K. BALAN, und A. MISRA, „GruMon: Fast and Accurate Group Monitoring for Heterogeneous Urban Spaces“, *SenSys 14 Proc. 12th ACM Conf. Embed. Netw. Sens. Syst. Novemb. 3-6 2014 Memphis TN*, S. 46–60, Nov. 2014.
⁵ C. Oberli, M. Torres-Torriti, und D. Landau, „Performance Evaluation of UHF RFID Technologies for Real-Time Passenger Recognition in Intelligent Public Transportation Systems“, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Bd. 11, Nr. 3, 2010.
⁶ J. Weppner und P. Lukowicz, „Bluetooth based collaborative crowd density estimation with mobile phones“, in *2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, März 2013, S. 193–200.
⁷ P. Vincent, B. Antoine, B. M. Sonia, und B. Lionel, „The Long Road to Computational Location Privacy: A Survey“, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, Bd. 21, Nr. 3, S. 2772–2793, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2873950.
⁸ F. Jin, W. Hua, M. Francia, P. Chao, M. Orlowska, und X. Zhou, *A Survey and Experimental Study on Privacy-Preserving Trajectory Data Publishing*, 2021.



1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Stadt Bamberg unterstützte das Projekt als assoziierter Partner durch Kommunikation mit der Bürgerschaft. Mittelfristig soll eine Datenplattform für die „schlaue Stadt“ der Zukunft entstehen, in die solche Daten integriert werden können, um Anwendungsfelder wie eine smarte Besuchlenkung zu ermöglichen. Darüber hinaus gab es zahlreiche Akteure aus der Stadtgesellschaft, die das Projekt z.B. durch die Bereitstellung von Sensorinstallationsorten unterstützten.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Zuwendungen, Ergebnisse, vorgegebene Ziele (Gegenüberstellung) – Uni Bamberg

Die Gesamtförderung setzt sich aus der Zuwendung an die Uni Bamberg und der Zuwendung an den externen Partner „Safactory GmbH“ zusammen.

Pos.	Bezeichnung	Betrag
0812	Beschäftigte E12-E15	27.166,32 €
0822	Beschäftigungsentgelte	5.606,87 €
0835	Vergabe von Aufträgen	775,34 €
0865	Projektpauschale	6.709,71 €
0866	Bundesmittel zzgl. Projektpauschale	41.035,74 €

Pos. 0812 - Beschäftigte E13:

UMOB:

Ziel	Ergebnis
Bereitstellung einer Datenplattform, welche die Sensordaten empfängt	Die Datenplattform wurde aufgebaut und empfängt Daten von den installierten Sensoren. Aktuell sind 9 Sensoren in Betrieb. Die anonymisierten Daten werden nach erfolgreicher Authentifizierung an eine Postgres Datenbank, welche auf den Servern von UMOB gehostet wird, gespeichert.

Ausarbeitung eines Datenschutzkonzepts für das Vorhaben	Ein grundlegendes Datenschutzkonzept wurde ausgearbeitet und vom Datensicherheitsbeauftragten der Stadt Bamberg abgenommen. Ein Vorschlag für eine anwendungsspezifische Erweiterung wurde erarbeitet und veröffentlicht.
Durchführen einer Feldstudie, um festzustellen, ob ein smartes Besuchlenkungssystem auch bei starker Anonymisierung die erforderlichen Daten liefern kann.	Die Feldstudie wurde durchgeführt und ausgewertet. Es konnte bestätigt werden, dass die anonymisierten Daten Aufschluss über die Frequentierung bestimmter Orte geben und die Datenqualität daher ausreichend für die Vorhersage von Besuchszahlen ist.
Veröffentlichung der Projektergebnisse und Bereitstellung der Daten als Open Data.	Die Datenerhebung wurde im August 2023 durchgeführt. Im Anschluss wurden die Daten mit Metainformationen angereichert, sowie für das Vorhaben uninteressante Daten herausgefiltert und werden als Open Data über die Plattform Mobilithek im April 2024 verfügbar gemacht.
Projektkoordination	Es erfolgte die Planung von Meetings, Präsentationen, Koordination von Arbeitspaketen, Erstellen von Konzepten, Berichten, etc.

UPSY:

Ziel: Durchführung von Akzeptanzstudien, um herauszufinden, unter welchen Voraussetzungen ein solches System von der Bevölkerung akzeptiert wird.

Ergebnis: Es wurden insgesamt drei Studien durchgeführt, um die Akzeptanz des Projekts in der Bevölkerung zu untersuchen. Zunächst wurden im Mai 2023 explorative Interviews vor Ort im Zentrum Bambergs durchgeführt. Darauf aufbauend wurden Ende Juli 2023 weitere Interviews in der Bamberger Innenstadt durchgeführt. Abschließend wurde noch eine Onlinestudie durchgeführt.

Den explorativen Interviews, die im Mai 2023 mit Ortsansässigen und Besuchenden durchgeführt wurden ($N = 58$, davon $n = 28$ ortsansässige Personen, $n = 25$ weiblich, $n = 32$ männlich, $n = 1$ divers) konnte entnommen werden, dass viele Befragte die Bamberger Innenstadt als teilweise überfüllt wahrnehmen. Sie wurden danach befragt, welche Faktoren für sie relevant seien, um ihre Mobilitätsdaten

zu teilen und damit zu einer möglichen Verbesserung der Situation beizutragen. Viele Befragten gaben an es sei relevant zu wissen, wofür genau die Daten genutzt werden und wie vertrauenswürdig die Instanz ist, die diese Daten sammelt. Viele Befragte zeigten Bereitschaft, in Zukunft Daten zu teilen, um das geplante Vorhaben der Besuchssteuerung zu unterstützen. Hierbei ist jedoch einschränkend anzumerken, dass lediglich die entsprechende Bereitschaft erfragt wurde - tatsächliches Verhalten war noch nicht Bestandteil dieser Studie.

Ende Juli wurden weitere Interviews durchgeführt ($N = 91$, davon $n = 50$ ortsansässige Personen, $n = 60$ weiblich, $n = 30$ männlich, $n = 1$ divers). Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen wurden hier weitere Details erfragt und relevante Punkte vertieft. Eine wichtige Erkenntnis war, dass Vertrauen in das Projekt eng mit der Akzeptanz zusammenhängt. Zudem konnte festgestellt werden, dass die Befragten unabhängig von Verhaltensabsichten und Einstellungen zur sensorbasierten Datenerhebung keine Veränderungen an ihren Mobilgeräten vornahmten, also nicht etwa Standort oder WLAN ausschalteten – auch nicht nach der Befragung und der damit verbundenen Sensibilisierung für das Thema. Trotz des Hinweises auf einen Sensor in der Nähe des Befragungsorts behielten sie die relevanten Einstellungen unverändert bei. Auch Teilnehmende, die zunächst kritisch waren behielten ihr aktiviertes WLAN nach der Befragung bei, statt es zu deaktivieren. Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmenden andere Gründe für ihre WLAN Einstellung hatten, die entscheidender waren als ihre Einstellung gegenüber dem Projekt.

Um die Ergebnisse mit einer größeren Stichprobe und unter anonymen Bedingungen zu prüfen wurde zusätzlich eine Onlinestudie durchgeführt ($N = 196$). Bei der Betrachtung von Faktoren, die die Akzeptanz beeinflussen, haben wir unter anderem die Rollen von Erklärung, Verständnis und Vertrauen untersucht. Für eine detaillierte Darstellung der wesentlichen Ergebnisse der Online-Studie verweisen wir auf den Erfolgskontrollbericht. Im Folgenden fassen wir die Ergebnisse kurz zusammen.

Um den Einfluss verschiedener Erklärungstypen auf das Verständnis zu verstehen, präsentierten wir zwei Arten von Erklärungen: eine, bei der der Zweck der Datensammlung betont wurde (die funktionale Erklärung), und eine, bei der die Verarbeitung der Daten betont wurde (die mechanistische Erklärung). Unsere Ergebnisse legten nahe, dass es für die Förderung der Akzeptanz wichtiger scheint den Zweck der Datensammlung zu betonen, statt zu erläutern, wie die Daten verarbeitet werden. Wir prüften auch die Beziehung zwischen Vertrauen in das Projekt und Akzeptanz. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein vertieftes Verständnis der Faktoren, die Vertrauen beeinflussen, relevant ist.

Aus explorativen Analysen in den zweiten Interviews entwickelten wir die Hypothesen, dass sowohl subjektives als auch objektives Verständnis mit dem Projektvertrauen in Verbindung stehen könnten, und über diese Beziehung auch mit einer erhöhten Akzeptanz verbunden sein könnten. Insgesamt weisen die zugehörigen Ergebnisse auf die Bedeutung des Erklärungstyps hin: Eine passende Erklärung kann das Verständnis fördern - was wiederum mit Projektvertrauen und letztlich der Akzeptanz für das Projekt verbunden ist.

Insgesamt haben diese Studien Einblicke in die Akzeptanz gegenüber dem Crowdanym-Projekt in der Öffentlichkeit ermöglicht und unser Verständnis für die Faktoren, die diese Akzeptanz beeinflussen, gestärkt. Darüber hinaus konnten wir Erkenntnisse generieren, welche Art von Informationen in der öffentlichen Kommunikation über das Projekt für das Verständnis, und damit auch das Vertrauen und die Akzeptanz wichtig sind.

Ziel	Ergebnis
Projektkoordination	Es erfolgte die Planung von Meetings, Präsentationen (Vorstellung des Projekts), Koordination von Arbeitspaketen, Erstellen von Konzepten, Berichten, etc.

Pos. 0822 - Beschäftigungsentgelte:

UMOB:

- 1 Hiwi ohne Abschluss mit 80h/Monat von Juni – August: Unterstützung bei Projektkoordination, Erstellen von Skripten, Datenauswertung, Erstellen von Diagrammen.

UPSY:

- 1 Hiwi ohne Abschluss 10h/Monat von Juni – August
- 1 Hiwi mit Bachelor 20h/Monat von Juni – August
- 1 Hiwi mit Bachelor 30h/Monat von Juli – August
- jeweils Unterstützung bei Vorbereitung, Durchführung und Auswertungen der Umfragen

Pos. 0835 – Vergabe von Aufträgen:

„Editing English Language“

Pos. 0846 – Dienstreisen:

Wurde umgewidmet auf Pos. 0822

2.2 Zuwendungen, Ergebnisse, vorgegebene Ziele (Gegenüberstellung) Safactory

Pos.	Bezeichnung	Betrag
0837	Personalkosten	69.696,06 €
0881	Selbstkosten des Vorhabens	69.696,06 €
0884	Förderung (70%)	48.787,42 €

Ziel	Ergebnis
Installation des Sensorsystems im Stadtgebiet Bamberg	<p>Es wurden neun Sensoren an verschiedenen touristisch relevanten Standorten installiert: im Büro von Safactory (Ankunftsort vieler Reisebusse), im Fraktionshaus der Grünen Bamberg, in der Sandstraße, am Bamberger Dom (Marienportal), an der Touristeninformation Bamberg, am Alten Rathaus und drei am Maximiliansplatz. Jeder dieser Standorte wurde sorgfältig ausgewählt, um eine umfassende Abdeckung der Personenströmungen in verschiedenen Stadtzonen zu gewährleisten. Der Standort am Alten Rathaus wurde zusätzlich mit einer Stereozählkamera ausgestattet.</p> <p>Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wurden zwei Funk-Zählsensoren und eine 3D Stereozählkamera hergestellt bzw. beschafft. Die Funk-Zählsensoren sind mit modernster Technologie ausgestattet, um den Datenerfassungsprozess zu optimieren und eine möglichst große Datenmenge zu gewährleisten. Die 3D-Stereozählkamera ermöglicht eine fast vollständige und anonyme Zählung von Personenströmen an einem hochfrequentierten Durchgang zur Innenstadt, im Durchgang des Alten Rathauses, Obere Brücke. Um dort die Sensorik sicher und dem Denkmalschutz entsprechend zu montieren wurde ein Montageträger hergestellt und installiert.</p>



	<p>Das Thema Datenschutz wurde aufgrund seiner kritischen Bedeutung in der heutigen digitalen Gesellschaft ausführlich behandelt. Bedenken bezüglich des Datenschutzes wurden ausgeräumt, indem strenge Datenschutzmaßnahmen eingehalten wurden, die den Schutz persönlicher Daten sicherstellen und gleichzeitig die Sammlung qualitativ hochwertiger Daten zur Personenströmung ermöglichen.</p>
<p>Entwicklung eines Anonymisierungsverfahrens</p>	<p>Im Rahmen dieses Projekts wurde ein wichtiger Schwerpunkt auf den Datenschutz und die Anonymisierung personenbezogener Daten gelegt. Angesichts der Notwendigkeit, personenbezogene Daten zu schützen und gleichzeitig qualitativ hochwertige Daten für die Untersuchung von Personenströmen zu sammeln, war die Entwicklung eines wirksamen Anonymisierungsverfahrens von entscheidender Bedeutung.</p> <p>Safactory hat erfolgreich ein robustes Verfahren entwickelt, um die Anonymität der erfassten Daten zu gewährleisten. Dieses Verfahren umfasst das "Salting", d.h. das Hinzufügen zufälliger Daten, zu den gehashten MAC-Adressen, die durch die Sensoren erfasst wurden. Dieses Verfahren, häufig als Salted Hashing bezeichnet, verbessert die Sicherheit der Daten, indem es die Möglichkeit der Rückverfolgung der ursprünglichen Daten erheblich reduziert. Die Verwendung von Salted Hashing gewährleistet, dass die erfassten Daten anonym bleiben und nicht mit natürlichen Personen verknüpft werden können.</p> <p>Somit hat das Forschungsteam erfolgreich ein Verfahren entwickelt, das die Erfassung und Analyse von Personenströmen ermöglicht, ohne die Privatsphäre der Bürger zu verletzen. Dies ist ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung datenschutzfreundlicher Smart City-Anwendungen und trägt zur ethischen Verwendung von Big Data in städtischen Umgebungen bei.</p> <p>Zusätzlich zu den technischen Maßnahmen hat UMOB unter Einbezug von Angreifermodellen ein anwendungsspezifisches Anonymisierungskonzept</p>

	entwickelt, um zu verhindern, dass mit Hilfe von Kontextwissen doch Personen (z.B. Anwohnende, Passanten bei niedriger Frequenz) re-identifiziert werden können. Diese Konzept kann in Folgeprojekten bereits vor der Datenspeicherung implementiert werden.
--	--

2.3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Uni Bamberg:

Personal 0812:

Gesamtfinanzierungsplan	Gesamt	Rest
35.252,58 €	27.166,32 €	8.086,26 €

Hiwis 0822:

Gesamtfinanzierungsplan	Gesamt	Rest
5.250,00 €	5.606,87 €	-356,87 €

0835 Vergabe von Aufträgen

Gesamtfinanzierungsplan	Gesamt	Rest
900,00 €	775,34 €	124,66 €

0846 Dienstreisen (Wurde umgewidmet auf Hiwis 0822)

Gesamtfinanzierungsplan	Gesamt	Rest
440,00 €	0 €	400 €

Gesamt

Gesamtfinanzierungsplan	Gesamt	Rest
41.842,58 €	33.548,53 €	8.294,05 €

Safactory:

Material (Hardware, Installation) 0813

Wurde umgewidmet auf Pos. 0837



0850 *Sonstige unmittelbare Vohabenskosten (z.B. Datenvertrag)*

Wurde umgewidmet auf Pos. 0837

0837 *Personalkosten*

Budget	Plan	Ist 2022	Ist 2023	Gesamt	Rest
64.659,10 €	64.659,10 €	10.511,69 €	59.184,37 €	69.696,06	-5.036,96 €

Gesamt

Budget	Plan	Ist 2022	Ist 2023	Gesamt	Rest
69.759,10 €	69.759,10 €	10.511,69 €	59184,37 €	69.696,06 €	63,04 €

2.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit für dieses Projekt zur Installation und Evaluation eines sensorbasierten Systems zur Messung von Besucherströmen in einer touristisch stark frequentierten Stadt ist sowohl notwendig als auch angemessen. Das sensorbasierte System soll dazu beitragen, den vorhandenen Stadtraum durch smarte Empfehlungen besser zu nutzen und Besucherströme effizient zu lenken. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es unerlässlich, die aktuellen Fußgängerverkehre zu erfassen. Die besonderen Herausforderungen des Datenschutzes im öffentlichen Raum wurden durch starke Anonymisierungstechniken und Transparenzansätze berücksichtigt, um so eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung für das System zu erreichen. Die Testinstallation ermöglicht eine direkte Erfahrung des Systems und erlaubt Aussagen zur Datenqualität. Am Ende der Vorstudie (Ende August 2023) wurde ein aggregierter Datensatz zur Veröffentlichung in der Mobiltheek erstellt (geplante Veröffentlichung April 2024), um die Entwicklung einer datengetriebenen Besuchlenkung in touristisch beliebten Innenstädten zu unterstützen. Die geleistete Arbeit ist somit entscheidend, um die notwendigen Grundlagen für eine effektive und zielgerichtete Nutzung des Stadtraums zu schaffen und weitere Anwendungen in diesem Bereich zu erschließen.

2.5 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wissenschaftlich

Die Universität Bamberg (UPSY) plant Publikationen zur Akzeptanz von Messsystemen im öffentlichen Raum sowie zur Datenqualität/Anonymisierung. Eine erste Präsentation erfolgte auf der *Second TRR 318 Conference: Measuring Understanding* an der Universität Paderborn. Auf dem *1st International Workshop on Geo-Privacy and Data Utility for Smart Societies* im Rahmen der *ACM SIGSPATIAL Conference* im November 2023 wurde von UMOB ein Paper mit dem Titel „Privacy-aware Publication of Wi-Fi Sensor Data for Crowd Monitoring and Tourism Analytics“ präsentiert.

Datenbezogen

Die Universität hat einen Ausschnitt der anonymisierten Fußgängerdaten in der Mobiltheek zum Ende des einjährigen Projektes öffentlich zur Verfügung gestellt. Um die Anonymisierung bestmöglich zu bewahren, wurden einzelne Daten herausgefiltert, wie z.B. Daten von Endgeräten oder Anwohnern, die sich dauerhaft in Sensorreichweite befinden. Der Datensatz wurde mit Metadaten versehen, um z.B. besondere Ereignisse, wie größere Veranstaltungen zu integrieren. Außerdem wurden bestimmte Daten mit Labels versehen, falls die Daten durch bekannte Experimente wie bspw. provoziertes „Probe Bursting“ oder simulierte Besuchergruppen Besonderheiten aufwiesen. Da die Daten anonymisiert sind, sind sie auch nach Ende der Förderung weiter über die Mobiltheek verfügbar.

Betriebswirtschaftlich/unternehmerisch

Die Projektleistungen werden bei safactory GmbH in eine Verbesserung von FlowTrack Lösungen einfließen. Durch neuartige, granular einstellbare Anonymisierungstechnik wird hohe Akzeptanz der Methode im öffentlichen Raum geschaffen. Dieser Ansatz wird dem Markt zugänglich gemacht, und ermöglicht eine Vielzahl datenschutzkonformer digitaler Angebote von denen Kunden, Nutzer, der Einzelhandel, Tourismus und Lieferanten profitieren.

Forschung und Lehre

Die Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse sowie die erhobenen Daten bieten ein breites Spektrum an Möglichkeiten, um diese in Forschung und Lehre wie z.B. studentischen Projekten und Abschlussarbeiten zu verwerten. Bspw. wurde in einer Masterarbeit erforscht, ob die Datenqualität hinreichend ist, um Touristengruppen zu entdecken und ihre Routen durch die Stadt zu verfolgen. In studentischen Projekten in Kooperation mit der University of Washington wurden bspw. Applikationen, mit denen

die Daten visualisiert werden können, entwickelt, Experimente zum Thema „Groundtruth Erhebung“ durchgeführt, sowie Frameworks entwickelt, um die Daten vor Angriffen wie „Data Poisoning“ zu schützen. Weitere studentische Projekte im Wintersemester 2023/24 beschäftigten sich mit der Implementierung von Endpunkten zur Bereitstellung aggregierter Crowd Monitoring Daten, sowie Methoden zur Vorhersage der Besucherdichte auf Basis der bereits gesammelten Daten.

2.6 Fortschritt bei anderen Stellen

Dem Zuwendungsempfänger ist kein Fortschritt bei anderen Stellen auf diesem Gebiet bekannt.

2.7 Veröffentlichung des Ergebnisses

Folgende Veröffentlichungen sind bereits erschienen:

- Publikation zur Datenqualität und Anonymisierung: Leonie Ackermann, Christoph Baum, Syed Ibrahim Khalil, Aleksandr Litvin, and Daniela Nicklas. 2023. „Privacy-aware Publication of Wi-Fi Sensor Data for Crowd Monitoring and Tourism Analytics“. In *Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geo-Privacy and Data Utility for Smart Societies (GeoPrivacy '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 20–23. <https://doi.org/10.1145/3615889.3628513>

Des Weiteren ist geplant:

- Publikation zur Akzeptanz von Mess-Systemen im öffentlichen Raum (in Arbeit)
- Publikation entstanden aus studentischem Projekt mit der University of Washington zu Ground Truth (angenommen beim First International Workshop on Pervasive Computing Challenges in Trustable Crowdsensing Systems): Sarah Asad, Breanna Powell, Christopher Long, Daniela Nicklas und Brent Lagesse. „Where Am I?: Unraveling Challenges in Smart City Data Cleaning to Establish a Ground Truth Framework“
- Öffentlicher Datensatz in der Mobiltheke (in Arbeit)

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen Zielen

Erläuterung des konkreten Beitrags des Vorhabens zu den Zielen der Förderrichtlinie „mFUND“

Die Ziele von mFUND umfassen datenbasierte Innovationen in der Mobilität sowie die themenübergreifenden Themenschwerpunkte Datenzugang, datenbasierte Anwendungen sowie Daten-Governance. Fußgängerdaten sind in öffentlichen Data Clouds eher eine Seltenheit. Sie können aber erheblichen Mehrwert für Kommunen bieten, sei es, um Maßnahmen zur Attraktivitätssteigerung von Innenstädten zu begleiten, oder den Zulauf zu besonders attraktiven Orten zu steuern. Durch starke Anonymisierung können die Daten ohne Zugangsbeschränkung zur Verfügung gestellt werden. Ebenfalls können z.B. aus der mCLOUD Verkehrsdaten verwendet werden, um das Besuchsaufkommen vorherzusagen. In Zusammenarbeit mit der Stadt Bamberg soll eine Datenplattform für die „schlaue Stadt“ der Zukunft entstehen, in die solche Daten zukünftig integriert werden können. Dabei sollen über das Netzwerk der BMI-Modelkommunen auch weitere Smart Cities adressiert werden.

Beitrag zu Politikzielen des BMDV

Obwohl der Fußgängerverkehr nicht der Hauptfokus der Förderungen des BMDV ist, bietet er dennoch spannende Ansatzpunkte für die Mobilität der Zukunft. Die Herausforderung zur Entzerrung hoch frequentierter Plätze mit hohem Besucheraufkommen bietet einen klaren Mehrwert für andere Städte mit historischen Altstädten.

3.2 Wissenschaftliches / technisches Ergebnis des Vorhabens

Das Projekt verfolgte mehrere technische und wissenschaftliche Ziele, um die Entwicklung einer datengetriebenen Besuchlenkung für touristisch beliebte Innenstädte voranzutreiben, die im Folgenden erläutert werden.

3.2.1 Entwicklung der Anonymisierung

Die Anonymisierung der MAC-Adressen wurde entwickelt und direkt auf dem Sensor umgesetzt. Für die Anonymisierung der empfangenen Daten wird die MAC-Adresse des gesehenen Gerätes mittels SHA 224 Algorithmus gehasht. Der Controller verwertet die MAC-Adresse niemals im Klartext und übermittelt sie ausschließlich gehasht an den Datenendpunkt.

Sämtliche Hashes werden mit einem Salt erstellt. Dieser wird täglich auf jedem Controller anhand des derzeitigen Datums (dd:mm:yyyy) und eines über XML-Parameters festgelegten Seeds neu erstellt. Auf Wunsch kann der Salt zu einem Datenendpunkt mitgesendet werden. Dieser wird dann dem restlichen Datensatz angehängt. Der Seed zur Erstellung des Salts hingegen wird niemals für Dritte verfügbar gemacht.

3.2.2 Implementierung des Sensorsystems

Das Sensorsystem zur Messung von Besucherströmen wurde prototypisch in der Bamberger Innenstadt installiert und sendet Daten an die Datenplattform der Uni Bamberg. Aktuell messen neun Sensoren und eine Zählkamera. Die Sensordaten enthalten die anonymisierte Mac-Adresse, einen Zeitstempel, die Sensor-ID, die Signalstärke, ein Feld für Wifi oder Bluetooth (in CrowdAnym wird nur Wifi verwendet) und ein Feld „eventtype“, welches die Werte „status“ oder „leave“ annehmen kann. Status-Ereignisse treten jedes Mal auf, wenn ein Endgerät bzw. eine anonymisierte Mac-Adresse gemessen werden. Leave-Ereignisse treten auf, wenn Endgeräte eine frei konfigurierbare Zeit lange nicht mehr gesehen werden, im Standard 15 Sekunden. Die Zählkamera sendet mit Zeitstempel versehen, wie viele Personen stadteinwärts oder auswärts das Alte Rathaus passiert haben.

3.2.3 Feldstudie: Auswertung der Daten bei starker Anonymisierung

Die Ergebnisse der Datenanalyse deuten darauf hin, dass die Qualität der Sensordaten ausreichend ist, um die Frequentierung von Orten zu bestimmten Zeiten zu messen und daraus auch eine Vorhersage für ein smartes Besuchlenkungssystem abzuleiten. Für eine verbesserte Zählung ist jedoch eine Kombination mit weiteren Sensorsystemen notwendig.

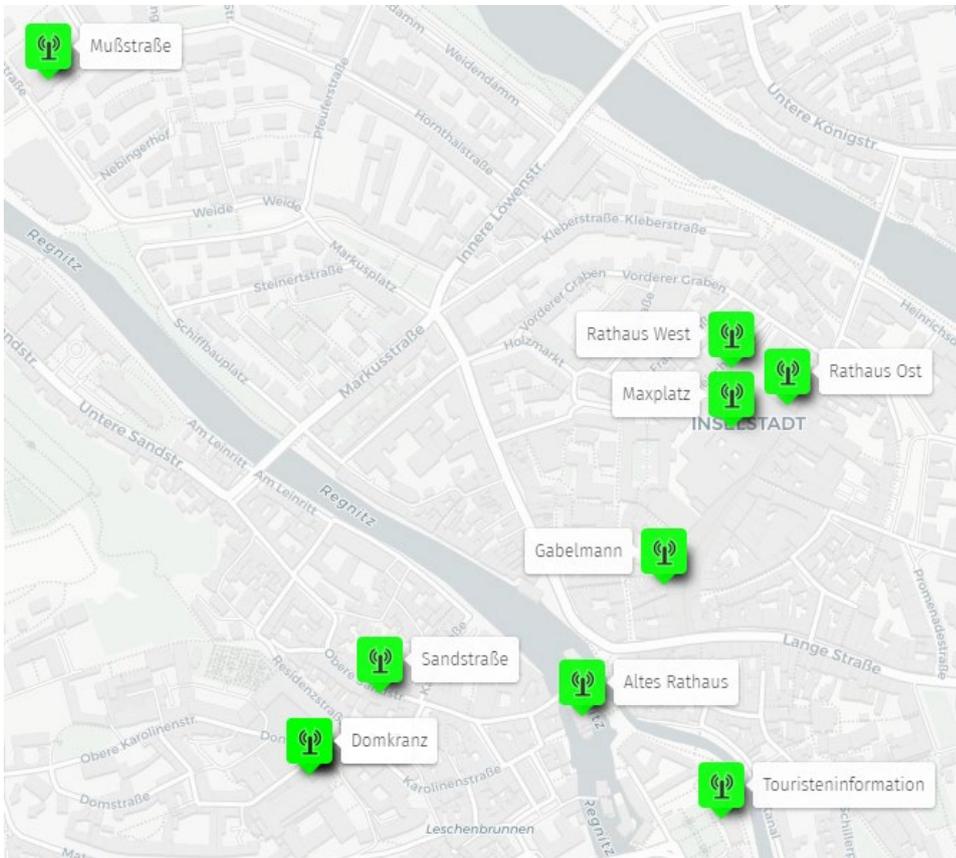


Abbildung 2 - Übersicht alle Sensoren

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Sensoren im Stadtgebiet. Die Messdaten zeigen deutliche Unterschiede je nach Standort. Diese Unterschiede ergeben sich aufgrund des Installationsorts und verschiedener Faktoren, wie der Aktivität am Standort und möglicher Hindernisse wie Wänden oder ungünstigen Aufstellungen, die die Sensorreichweite beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist der Sensor in der engen Sandstraße, der nur einen begrenzten Bereich abdecken kann, im Gegensatz zum Sensor am Gabelmann, der einen großen Platz erfasst, an dem tagsüber viele Personen anwesend sind.

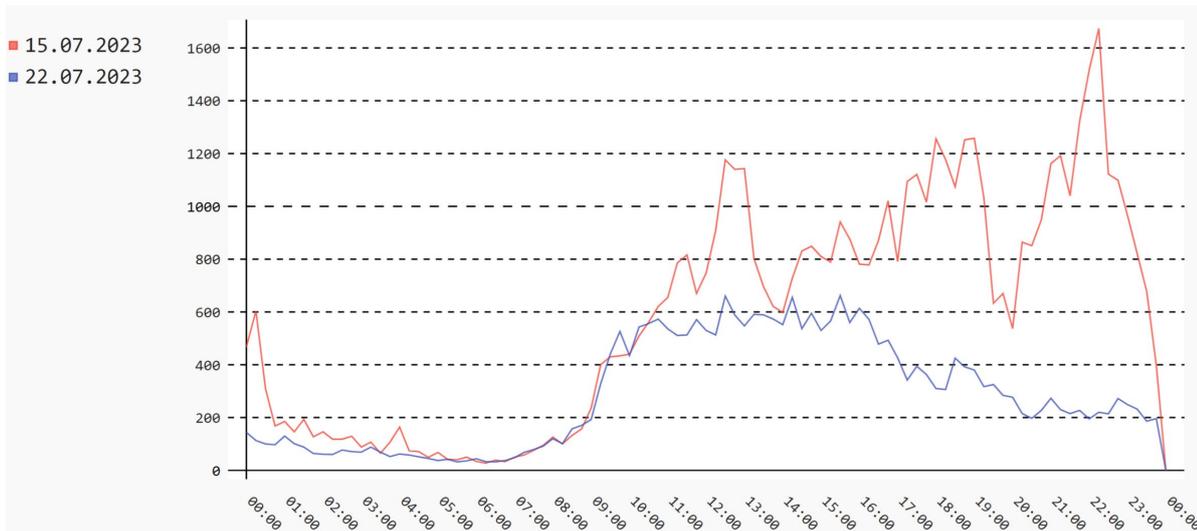


Abbildung 3 – „Bamberg zaubert“ (15.07.23) vs "normaler" Samstag (22.07.23), x-Achse: Uhrzeit, y-Achse: Summe der eindeutigen Macadressen (gehasht) in einem 15 Minuten Zeitfenster

Durch das Monitoring über längere Zeit hinweg ist es möglich, Unterschiede zwischen der normalen Frequentierung und besonderen Ereignissen in den Daten zu erkennen. Abbildung 3 vergleicht die gemessene Besucherfrequenz am 15. Juli beim Straßenkünstler-Event "Bamberg zaubert" mit dem darauffolgenden Samstag. Der Unterschied zwischen einem gewöhnlichen Samstag und einem Veranstaltungstag, an dem jedes Jahr zahlreiche Touristen in die Stadt kommen, ist klar ersichtlich. Während dieser Veranstaltung treten Straßenkünstler in der gesamten Innenstadt auf, darunter auch am Gabelmann.

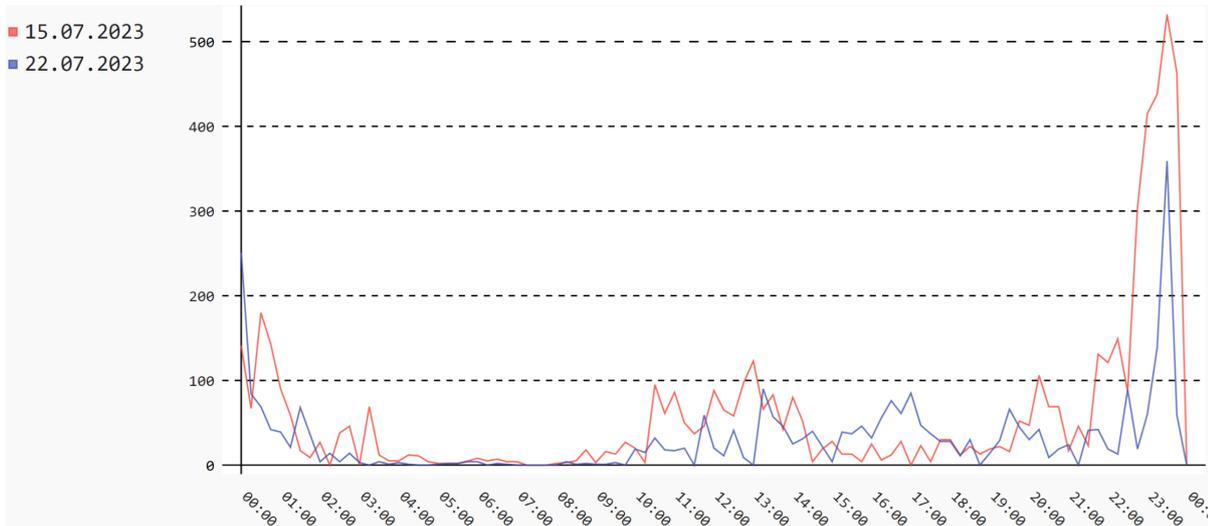


Abbildung 4 – „Bamberg zaubert“ (15.07.23) Auswirkungen auf Sandstraße vs. „normaler“ Samstag (22.07.23), x-Achse: Uhrzeit, y-Achse: Summe der eindeutigen Macadressen (gehasht) in einem 15 Minuten Zeitfenster

In Abbildung 4 ist zu sehen, dass es abends die Besucher von "Bamberg zaubert" gerne in die Sandstraße gehen, um den Tag in einer der gemütlichen Bamberger Kneipen ausklingen zu lassen. Am Nachmittag ist dort nicht ganz so viel los, vermutlich, weil die Hauptattraktionen dieser Veranstaltung eher in der Gegend um den Grünen Markt stattfinden.

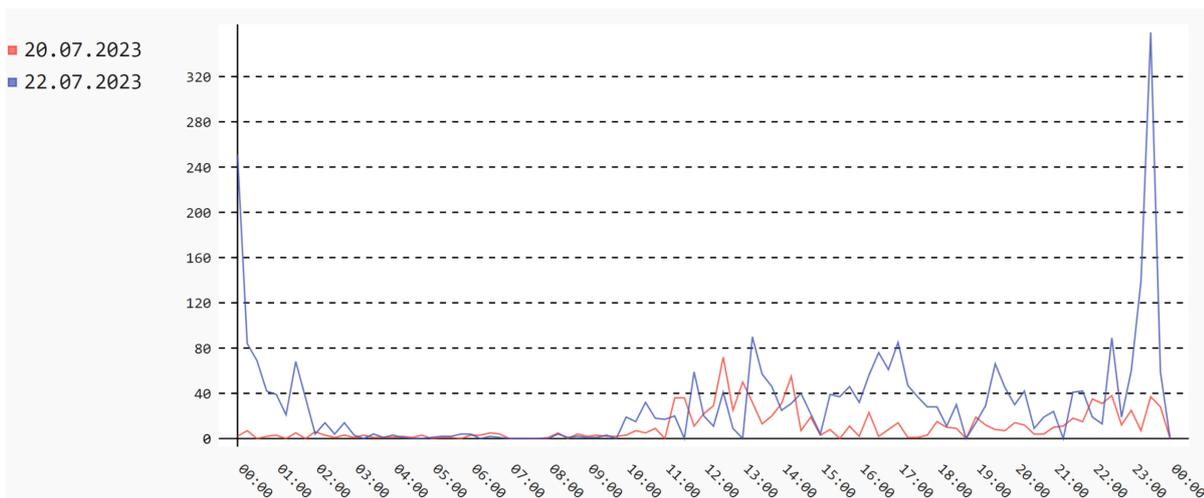


Abbildung 5 - Wochentag (20.07.23) vs. Wochenende (22.07.23), x-Achse: Uhrzeit, y-Achse: Summe der eindeutigen Macadressen (gehasht) in einem 15 Minuten Zeitfenster

Die Bamberger Ausgehmeile (Sandstraße) wird an einem Wochentag weniger besucht als am Wochenende, vor allem nachts, wie Abbildung 5 beispielhaft zeigt. Außerdem zeigen die gesammelten Daten

den Einfluss, den das Wetter auf die Besucherfrequenz hat. Abbildung 6 vergleicht einen sonnigen (20. Juli 2023) mit einem sehr regenreichen (27. Juli 2023) Donnerstag.

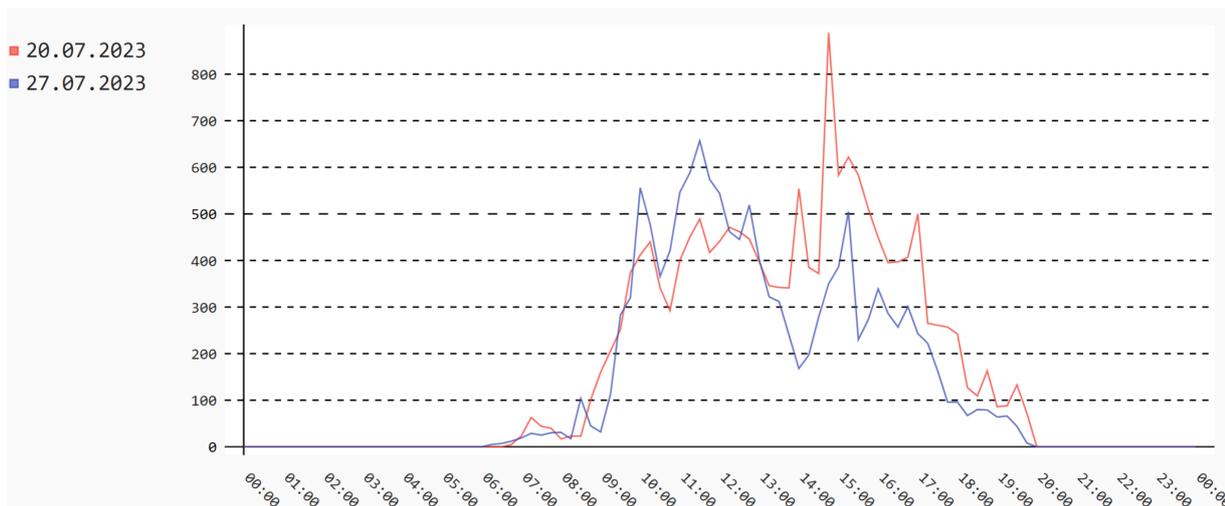


Abbildung 6 - Sonnig (20.07.23) vs. regnerisch (27.07.23), x-Achse: Uhrzeit, y-Achse: Summe der eindeutigen Macadressen (gehasht) in einem 15 Minuten Zeitfenster

3.2.4 Einschränkungen

Die Anzahl der gemessenen Signale ist nur bedingt ein Hinweis auf die tatsächliche Anzahl der Personen, die sich im Bereich des Sensors aufhalten. Gründe hierfür sind:

- MAC-Adress Randomization: Mobile Endgeräte wechseln ihre MAC-Adresse und tauchen so öfter in den Daten auf. D.h. ein Smartphone kann unter Umständen in kurzer Zeit viele Probe Requests mit unterschiedlicher MAC-Adresse aussenden.
- Es werden auch Signale von Geräten in Gebäuden, wie z.B. Mobiltelefone der Anwohner oder Drucker gemessen.
- Ein Gerät muss nicht unbedingt eine Probe Request senden, wenn es in die Reichweite eines Sensors kommt. Wenn ein Gerät den Bereich schnell wieder verlässt, wird es evtl. nicht erfasst.
- Nicht jede Person trägt ein Gerät mit aktiviertem WLAN mit sich, manche Personen dagegen mehrere (z.B. Smartwatch, Smartphone, Tablet, E-Book Reader).

Dennoch ermöglichen die Messdaten hilfreiche Schätzungen zur Frequentierung einer bestimmten Lokalität in Echtzeit.

3.2.5 Ground Truth

Ground Truth ist eine Information, von der bekannt ist, dass sie real oder wahr ist, und die durch direkte Beobachtung und Messung gewonnen wird. Um feststellen zu können, wie genau die Sensordaten mit der realen Besucherfrequenz übereinstimmen, wurden zum einen die WiFi-Tracking-Daten vom Gabelmann-Sensor mit den Zählungen eines Laserscanners der hystreet GmbH verglichen, der in der Nähe angebracht ist. In Abbildung 7 ist der direkte Vergleich zwischen den Messungen zu sehen, während Abbildung 8 das dazugehörige Streudiagramm und den Korrelationskoeffizienten zeigt.

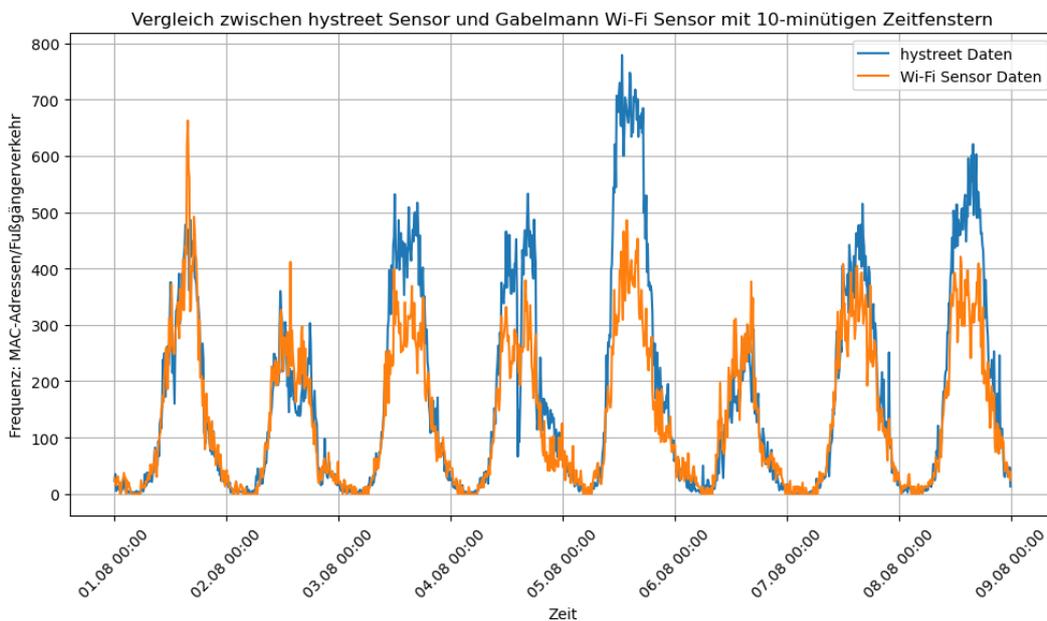


Abbildung 7 – Vergleich Zählung zu WiFi-Tracking am Grünen Markt (01.08-09.08.2023)

Der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Datensätzen ist 0,91. Dies zeigt, dass die Sensordaten im Allgemeinen gut die Besucherfrequenz annähern, mit minimalen Abweichungen, wenn die Besucherfrequenz niedrig ist, während höhere Besucherfrequenzen zu größeren Abweichungen führen.

Streudiagramm der Daten von Gabelmann und hystreet mit Regressionslinie (Basis: 10-minütige Zeitfenster)

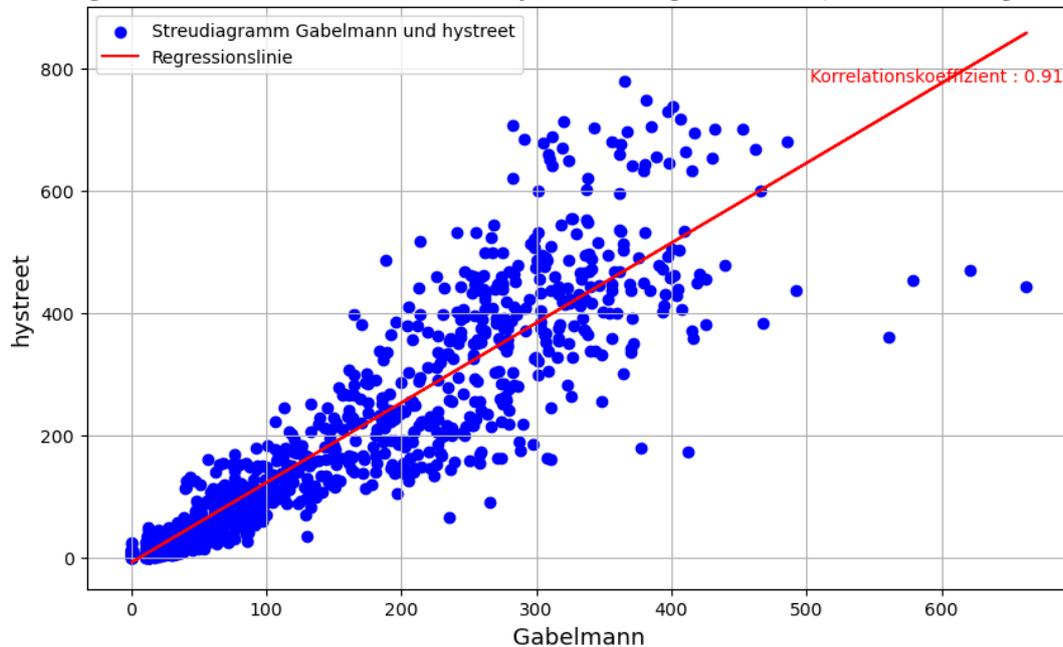


Abbildung 8 – Streudiagramm der Messungen am Grünen Markt vom 01.08.-09.08.2023

Zum anderen wurde am Sensor-Standort Altes Rathaus zusätzlich eine Xovis-Stereozählkamera angebracht, die den Durchgangsverkehr im alten Rathaus sehr genau erfassen kann. Im direkten Vergleich in Abbildung 9 und im Streudiagramm in Abbildung 10 zeigt sich am Alten Rathaus ein anderes Bild als am Grünen Markt.

Der Korrelationskoeffizient zwischen Zählung und Wi-Fi Tracking ist mit 0,85. Dies bedeutet, dass es auch hier einen starken linearen Zusammenhang gibt. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Anzahl der gemessenen Probe Request deutlich höher ist als der gezählte Fußverkehr, im Gegensatz zum Grünen Markt.

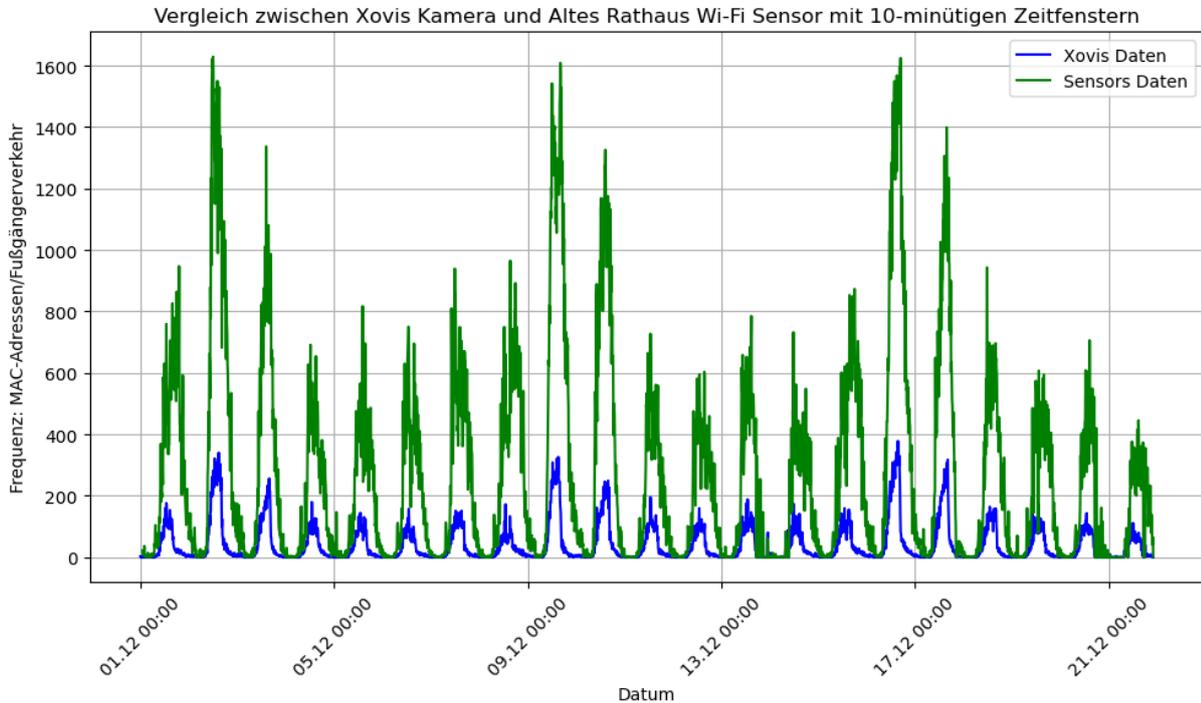


Abbildung 9 – Vergleich Zählung zu WiFi-Tracking am Alten Rathaus (01.12.-31.12.2023)

Streudiagramm Altes Rathaus Sensor und Xovis Kamera mit Regressionslinie (Basis: 10-minütige Zeitfenster)

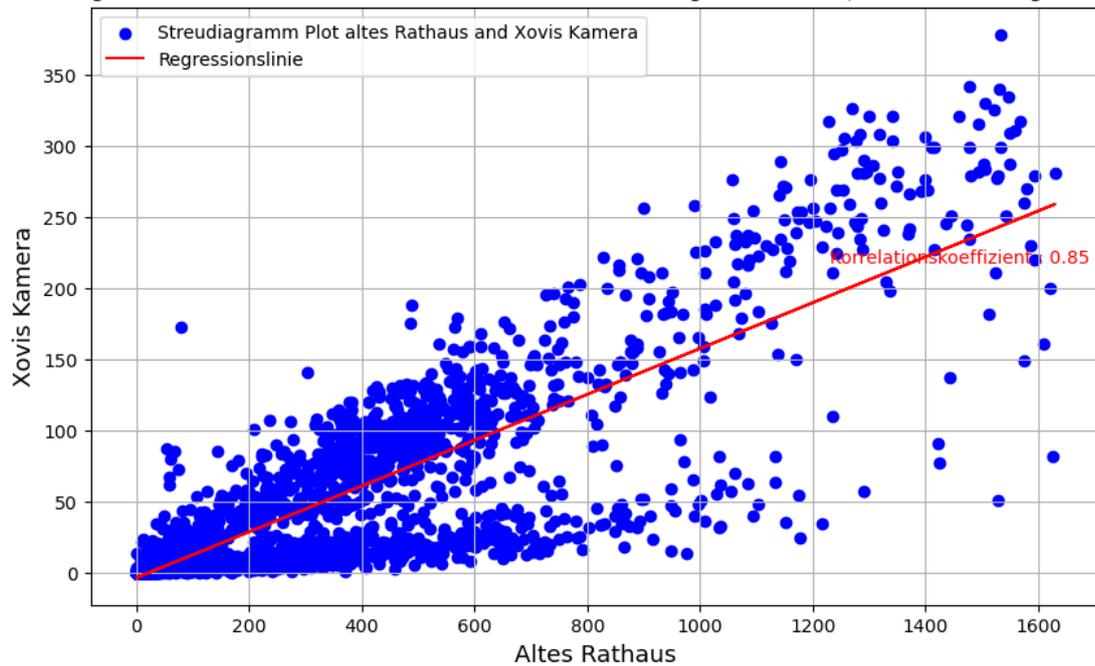


Abbildung 10 – Streudiagramm der Messungen am Alten Rathaus vom 01.12.-31.12.2023

Diese Erkenntnisse unterstreichen die Komplexität der Datenerfassung in realen Umgebungen und die Herausforderungen, die durch die MAC-Randomisierung entstehen. Es ist zwar nicht überraschend, dass die Anzahl der eindeutigen MAC-Adressen im CrowdAnym-Datensatz aufgrund mehrfach gezählter Geräte von der tatsächlichen Anzahl der Fußgänger im hystreet- bzw. Xovis-Datensatz abweichen kann. Doch diese Beobachtung unterstreicht die Notwendigkeit für die Entwicklung standortspezifischer Fehlerkorrekturverfahren.

3.2.6 Veröffentlichung der Daten in der Mobilithek

Die erhobenen und aggregierten Daten sollen über die Mobilithek einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Für den Anwendungsbereich irrelevante Daten, wie z.B. Endgeräten, die sich permanent in der Reichweite der Sensoren befinden, werden entfernt. Außerdem werden Zeiträume, in denen die Anzahl an gemessenen Daten unter einem niedrigen Schwellwert liegen, aus dem Datenbestand entfernt, um die Privatsphäre zu schützen. Das ist in der Regel nachts der Fall, wenn die Straßen weniger stark frequentiert sind, aber Anwohner sich nach wie vor im Bereich der Sensoren befinden.

3.2.7 Akzeptanzstudie – wesentliche Ergebnisse der Onlinestudie im Detail

Die Onlinestudie basierte auf den Ergebnissen zweier Interviewstudien, die im Schlussbericht genauer erläutert werden. In einer a-priori-Poweranalyse wurde eine Mindeststichprobengröße von 194 Teilnehmenden für eine Power von 80% berechnet. Die finale Stichprobe umfasste $N = 196$ Personen, davon $n = 153$ weiblich, $n = 41$ männlich und $n = 2$ divers. Das Durchschnittsalter betrug $M = 24.94$ Jahre ($SD = 7.55$). Insgesamt $n = 154$ Personen gaben an, dass Sie entweder aktuell in Bamberg wohnen, dort gewohnt hatten oder regelmäßig in der Innenstadt unterwegs sind. Der höchste Bildungsabschluss von $n = 127$ Personen war die allgemeine Hochschulreife bzw. von $n = 65$ ein abgeschlossenes Hochschulstudium, die verbleibenden Teilnehmenden waren im Besitz einer mittleren Reife, einer abgeschlossenen Berufsausbildung oder einer Fachhochschulreife. Der Großteil der Stichprobe bestand aus Studierenden ($n = 160$). Eine Person musste von der Analyse ausgeschlossen werden, da sie bei allen Items die mittlere Option auswählte, was als Hinweis auf nicht-sorgfältige Bearbeitung des Fragebogens gewertet wurde. Wir prüften zudem alle Skalen auf Ausreißer ($3 SD$ über oder unter dem Mittelwert), mussten hier jedoch keine weiteren Personen ausschließen.

Bei der Betrachtung von Faktoren, die die Akzeptanz beeinflussen, haben wir unter anderem die Rollen von Erklärung, Verständnis und Vertrauen untersucht. Unsere Hypothesen basierten auf den Ergebnissen unserer vorherigen Studien und der publizierten Literatur. In untenstehender *Tabelle 1* sind die

Mittelwerte, Standardabweichungen und Korrelationen der für die zentralen Hypothesen relevanten Variablen abgebildet.

Variable	M	SD	1	2	3	4
1 Subjektives Verständnis (1-101)	75.8	21.74				
2 Objektives Verständnis (0-5)	3.57	0.94	0.23			
3 Vertrauen in das Projekt (5-505)	263.62	104.93	0.14	0.18		
4 Wichtigkeit des Vorteils für andere (1-101)	55.45	29.15	0.07	0.11	0.30	
5 Akzeptanz (1-101)	53.68	30.39	0.16	0.23	0.35	0.17

Tabelle 1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Korrelationen der in den zentralen Hypothesen verwendeten Studienvariablen. Minimal- und Maximalwert der Variable jeweils in Klammern.

Um den Einfluss verschiedener Erklärungstypen auf das Verständnis zu verstehen, präsentierten wir zwei Arten von Erklärungen: eine, bei der der Zweck der Datensammlung betont wurde (die funktionale Erklärung), und eine, bei der die Verarbeitung der Daten betont wurde (die mechanistische Erklärung). Die Teilnehmenden wurden den Gruppen randomisiert zugewiesen. Wir stellten fest, dass in der Gruppe “funktionale Erklärung” größeres subjektives Verständnis vorlag ($t(194) = 2.81, d = 0.4, p < .006$). Weiterhin erzielten diejenigen, denen die funktionale Erklärung gezeigt wurde, auch bessere Ergebnisse bei den Multiple-Choice-Fragen zur Messung des objektiven Verständnisses ($t(188) = 4.47, d$

= 0.6, $p < .001$; siehe jeweils *Abbildung 8*). Für die Förderung der Akzeptanz scheint es also wichtiger zu sein, den Zweck der Datensammlung zu betonen, statt zu erläutern, wie die Daten verarbeitet werden.

Wir prüften auch die Beziehung zwischen Vertrauen in das Projekt und Akzeptanz mittels linearer Regressionsanalyse ($\beta = 0.10$, $R^2=0.12$, $F(1, 192) = 27.38$, $p < .001$). Der signifikante Zusammenhang legt nahe, dass ein vertieftes Verständnis der Faktoren, die Vertrauen beeinflussen relevant ist. Sie könnten der Schlüssel dafür sein, um die Akzeptanz für das Projekt zu fördern.

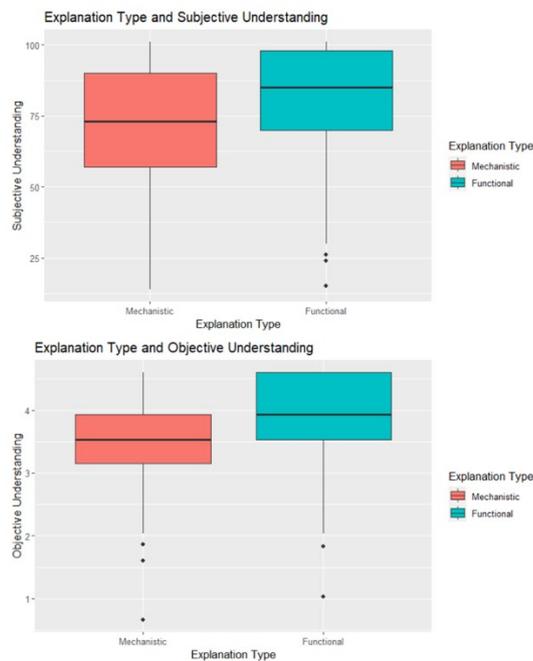


Abbildung 11: Die Beziehung zwischen Erklärungstyp (funktional oder mechanistisch) und subjektivem und objektivem Verständnis.

Aus den explorativen Analysen in unserem zweiten Interview entwickelten wir die Hypothesen, dass sowohl subjektives als auch objektives Verständnis mit dem Projektvertrauen in Verbindung stehen könnten, und über diese Beziehung auch mit einer erhöhten Akzeptanz verbunden sein könnten. Diese Hypothesen wurden durch unsere Mediationsanalysen unterstützt. Subjektives Verständnis war sowohl mit der Akzeptanz ($\beta = 0.23$, $p = .02$) als auch mit dem Vertrauen in das Projekt ($\beta = 0.71$, $p = .04$) verbunden. Als sowohl subjektives Verständnis als auch Vertrauen in das Projekt als Prädiktoren für die Akzeptanz berücksichtigt wurden, war zwar der Zusammenhang mit dem subjektiven Verständnis nicht mehr signifikant ($\beta = 0.16$, $p = .10$), der Zusammenhang mit Vertrauen in das Projekt blieb jedoch weiterhin signifikant ($\beta = 0.10$, $p < .001$), was auf eine vollständige Mediation hindeutet. Tests mit

Bootstrapping-Methode (mit 5000 Bootstrap-Stichproben) zeigten, dass der indirekte Effekt des subjektiven Verständnisses auf die Akzeptanz über das Vertrauen in das Projekt tatsächlich signifikant war ($\beta = 0.07$, 95% CI [0.001, 0.15]), aber der direkte Effekt nicht ($\beta = 0.16$, 95% CI [-0.04, 0.35]), was die Hypothese einer vollständigen Mediation unterstützt (siehe *Abbildung 9* und *Tabelle 2*).

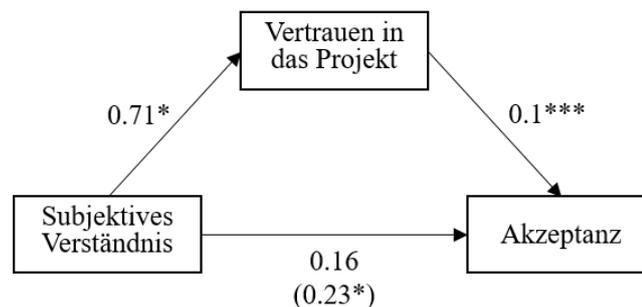


Abbildung 12: Nicht standardisierte Regressionskoeffizienten der Beziehung zwischen objektivem Verständnis und Akzeptanz, vermittelt durch Projektvertrauen. Anmerkung:

** $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; Klammern zeigen den direkten Effekt ohne Mediation an.*

Variable	Vertrauen in das Projekt			Akzeptanz		
	β	SE	95% CI	β	SE	95% CI
Subjektives Verständnis	0.71*	0.34	[0.03, 1.40]	0.16	0.09	[-0.03, 0.34]
Vertrauen in das Projekt				0.10***	0.02	[0.06, 0.14]
	R ² (korr.) = 0.017 F(1, 192)=4.298, $p < 0.04$			R ² (korr.) = 0.128 F(2, 191)=15.17, $p < 0.001$		

*Tabelle 2: Koeffizienten, Standardfehler und Konfidenzintervalle der Modelle, die in der Mediationsanalyse der Beziehung zwischen subjektivem Verständnis und Akzeptanz verwendet wurden, mit Projektvertrauen als Mediator. Anmerkung: Das Modell mit Akzeptanz als Ergebnis beinhaltet die Mediatorvariable des Vertrauens in das Projekt. Der Schätzwert für den indirekten Effekt ist $\beta = 0.070$, $p = 0.046$, 95% CI [0.0014, 0.15]. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.*

Objektives Verständnis stand ebenfalls in Zusammenhang mit Akzeptanz ($\beta = 9.63$, $p < .002$) und Projektvertrauen ($\beta = 27.25$, $p = .01$). Wenn sowohl objektives Verständnis als auch Projektvertrauen als Prädiktoren für die Akzeptanz berücksichtigt wurden, sank die Effektstärke des objektiven Verständnisses ($\beta = 7.09$, $p < .02$), das Projektvertrauen blieb allerdings ebenfalls signifikant ($\beta = 0.09$, p

< .001), was auf eine teilweise Mediation hindeutet. In Tests mit Bootstrapping-Methode (mit 5000 Bootstrap-Stichproben) waren sowohl der indirekte Effekt des objektiven Verständnisses auf die Akzeptanz über das Projektvertrauen ($\beta = 2.54$, 95% CI [0.66, 4.92]) als auch der direkte Effekt signifikant ($\beta = 7.09$, 95% CI [1.96, 14.06]), was die Hypothese einer teilweisen Mediation unterstützt (siehe *Abbildung 10* und *Tabelle 3*). Also beeinflusst das Verständnis, vermittelt über Vertrauen, die Akzeptanz in das Vorhaben. Zusammen weisen diese Ergebnisse auf die Bedeutung des Erklärungstyps hin: Eine passende Erklärung kann also das Verständnis fördern - was wiederum mit Projektvertrauen und letztlich der Akzeptanz für das Projekts verbunden ist.

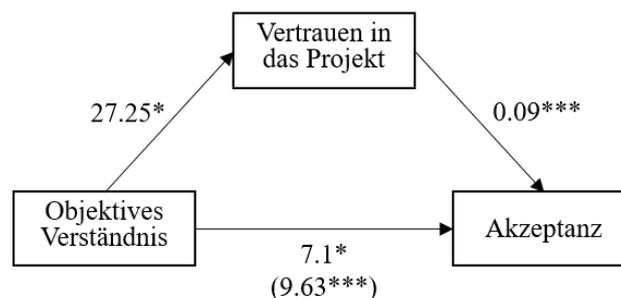


Abbildung 13: Nicht standardisierte Regressionskoeffizienten der Beziehung zwischen objektivem Verständnis und Akzeptanz, vermittelt durch Projektvertrauen. Anmerkung:

** $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; Klammern zeigen den direkten Effekt ohne Mediation an.*

Variable	Vertrauen in das Projekt			Akzeptanz		
	β	SE	95% CI	β	SE	95% CI
Objektives Verständnis	27.25*	10.51	[6.52, 47.98]	7.1*	2.91	[1.36, 12.82]
Vertrauen in das Projekt				0.09***	0.02	[0.05, 0.13]
	R ² (adjusted)= 0.029 F(1, 192)= 6.722, $p=0.01$			R ² (adjusted) = 0.142 F(2, 191)=17.03, $p<0.001$		

*Tabelle 3: Koeffizienten, Standardfehler und Konfidenzintervalle der Modelle, die in der Mediationsanalyse der Beziehung zwischen objektivem Verständnis und Akzeptanz verwendet wurden, mit Projektvertrauen als Mediator. Anmerkung: Das Modell mit Akzeptanz als Ergebnis beinhaltet die Mediatorvariable des Projektvertrauens. Der Schätzwert für den indirekten Effekt ist $\beta = 2.54$, $p=0.008$, 95% CI [0.66, 4.92]. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.*

Wir untersuchten darüber hinaus weitere Faktoren, die die Akzeptanz beeinflussen könnten. Basierend auf den Ergebnissen unserer zweiten Interviewrunde leiteten wir die Hypothese ab, dass Menschen eher bereit sind, ihre Daten für das Projekt freizugeben, wenn ihnen der Vorteil dieser Datenspende für andere wichtig ist. Ein signifikanter Effekt im Regressionsmodell ($F(1, 190) = 5.67, p < .02, R^2 = .03$) bestätigte diese Hypothese: Die Bedeutung des Nutzens für andere war signifikant mit der Akzeptanz verbunden ($\beta = 0.18, t(190) = 2.39, p < .02$).

Des Weiteren wurde überprüft, inwiefern der Standort der Sensoren relevant für Einstellungen und Akzeptanz ist. Die Studienteilnehmenden sollten auf einer Skala von 0 (unangenehm) bis 100 (unproblematisch) angeben, wie sie die Anbringung von Sensoren an verschiedenen Standorten jeweils bewerten würden. Es zeigte sich, dass je nach Standort signifikante Unterschiede bestehen. Als tendenziell eher unangenehm bewerteten Studienteilnehmende die Vorstellung, dass ein Sensor vor ihrem eigenen Haus (“own house”) steht. Etwas angenehmer wurden hingegen Sensoren in der Nachbarschaft (“neighbourhood”) oder in persönlich häufig frequentierten Straßen (“often used street”) bewertet. Am unproblematischsten wurden Sensoren in touristischen (“touristic”) oder überfüllten (“crowded”) Gegenden bewertet, siehe *Abbildung 11*. Zur Überprüfung auf signifikante Unterschiede wurde ein paarweiser t-test durchgeführt, wobei mittels der Bonferroni-Methode einer mögliche Alphafehler-Kumulierung entgegengewirkt wurde. Es zeigte sich, dass fast alle Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von 5% signifikant waren. Lediglich zwischen touristischen und überfüllten Orten, sowie zwischen häufig frequentierten Straßen und der eigenen Nachbarschaft zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Bewertung durch die Studienteilnehmenden.

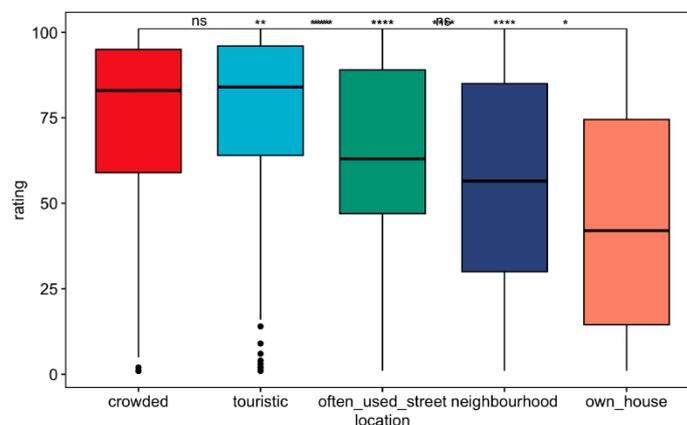


Abbildung 14: Auf einer Skala von 1 (unproblematisch) bis 100 (unangenehm): Wie würden Sie es empfinden, wenn sich Sensoren (wie vorhin beschrieben) an folgenden Orten befinden würden?

Die Gesamtskala “Empfinden gegenüber der Aufstellung von Sensoren” wies hohe interne Konsistenz, gemessen durch Mac Donald’s $\omega = .89$, 95% CI [.87,.91] auf, was darauf hindeutet, dass Personen sich grundlegend in ihrem Empfinden gegenüber Sensoren unterscheiden. Manche empfinden die Aufstellung von Sensoren tendenziell als unproblematisch, andere hingegen als unangenehmer. Eine Untersuchung der Korrelationsstruktur zeigte in diesem Zusammenhang, dass Personen ähnliche Bewertungen hinsichtlich der verschiedenen Orte vornehmen. Der Zusammenhang war wiederum am stärksten bei Orten, die “ähnlich” wahrgenommen werden, also bspw. touristischen und überfüllten Orten oder bei dem eigenen Haus und der eigenen Nachbarschaft. Gleichzeitig geht eine positivere Einstellung gegenüber Sensoren an allen Orten jeweils mit einer höheren Akzeptanz gegenüber dem Projekt und Vertrauen in das Projekt einher, siehe *Abbildung 12*.

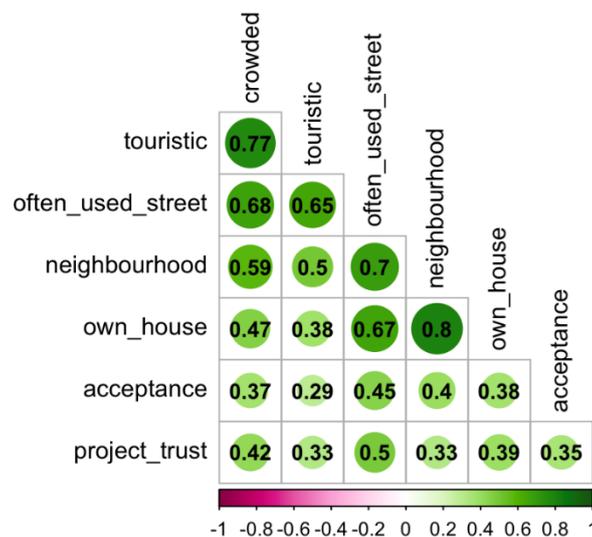


Abbildung 15: Korrelationsmuster der Bewertung verschiedener Standorte (siehe Abbildung 2) mit Vertrauen in das Projekt (“project trust”) und Akzeptanz (“acceptance”). Alle Korrelationskoeffizienten erreichten mindestens ein Signifikanzniveau von 5%.

Zudem wurde untersucht, welche Dimensionen des Verständnisses für die Akzeptanz relevant sind. Die Teilnehmenden bewerteten die Dimensionen auf einer kontinuierlichen Skala von 1 (für mich unwichtig) bis 101 (für mich wichtig). Aus den vorangegangenen Interviews wurden die Dimensionen „Wissen, was mit den Daten passiert“ ($M = 76.3$, $SD = 25.9$), „Wissen, dass die Daten anonymisiert werden“ ($M = 80.1$, $SD = 24.5$) „Wissen, dass durch das Teilen der Daten ein persönlicher Vorteil entsteht“ (M

= 58.9, $SD = 28.9$), „Wissen, dass andere vom Teilen der Daten profitieren“ ($M = 55.5$, $SD = 29.15$) sowie „Vertrauen in die Organisation, die die Daten sammelt“ ($M = 76.6$, $SD = 25.2$) als relevant für Akzeptanz abgeleitet. Das Wissen um die Anonymisierung der Daten scheint eher wichtig für die Teilnehmenden ($n_{max} = 59$ Personen wählten den Maximalwert), ebenso wie Vertrauen in die Organisation ($n_{max} = 49$) und das Wissen darum, was mit den Daten geschieht ($n_{max} = 50$). Ein paarweiser t-test mit Bonferroni-Korrektur um einer Alphafehler-Kumulierung entgegenzuwirken zeigte, dass auf einem Signifikanzniveau von $\alpha=5\%$ die Unterschiede in der Bewertung der Wichtigkeit dieser drei Dimensionen nicht signifikant waren. Die Bewertung des persönlichen Vorteils ($n_{max} = 19$) und des Vorteils anderer Personen ($n_{max} = 15$) fielen hingegen signifikant geringer aus, wobei wiederum zwischen diesen beiden Dimensionen keine signifikanten Unterschiede bestehen.

Insgesamt hat diese Studie Einblicke in die Akzeptanz gegenüber dem CrowdAnym-Projekt in der Öffentlichkeit ermöglicht und unser Verständnis für die Faktoren, die diese Akzeptanz beeinflussen, gestärkt. Darüber hinaus konnten wir Erkenntnisse generieren, welche Art von Informationen in der öffentlichen Kommunikation über das Projekt für das Verständnis, und damit auch das Vertrauen und die Akzeptanz wichtig sind.

3.2.8 Ergebnis

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse kommt UBA und UPSY zu folgendem Ergebnis: Die Datenqualität der Sensordaten ist trotz starker Anonymisierung und den genannten Einschränkungen geeignet, ein smartes Besuchlenkungssystem zu entwickeln und in der Stadt Bamberg zu etablieren. Die Bamberger Bevölkerung steht dem Vorhaben grundsätzlich positiv gegenüber und ist bei sinnvollen Anwendungsbereichen und vertraulichen Instanzen bereit, persönliche Daten zur Verfügung zu stellen.

3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

Da alles darauf hindeutet, dass die Ergebnisse der Vorstudie positiv sind – eine zielfdienliche, anonymisierte und akzeptanzfähige Datenerfassung von Besucherströmen möglich ist, soll in einem Folgeprojekt der Förderlinie 2 ein Verbundprojekt zum Thema „datengetriebene Besuchlenkung“ beantragt werden. Dabei sollen konkrete Anwendungsfälle erprobt, z. B. touristische Onlineinformationen oder dynamische Anzeigen in Straßenraum und ihre Wirkung auf die Auslastung untersucht werden. Innerhalb dieser Anwendungsfälle ist es auch möglich zu prüfen, ob sich die Akzeptanz der Maßnahmen

und die Absicht, diese zu unterstützen, auch in konkretem Verhalten niederschlägt. Es sollen außerdem weitere Zählsysteme aufgenommen werden, um Metriken zu entwickeln und diese in ein Domänenmodell zu integrieren, welches die Grundlage für die weitere Entwicklung smarter Anwendungen darstellt. Neben den bisherigen Projektpartnern sollen dabei Anbieter von touristischen Dienstleistungen (z. B. Hotels), Mobilitätsdienstleister (z. B. E-Scooter-Verleih oder Stadtwerke), das Tourismusbüro der Stadt Bamberg sowie als wissenschaftlicher Partner auch die Sozialgeographie (Untersuchung einer akteursbezogenen Raumlückung als politisches Instrument zur Steuerung von Overtourism, etwa im Sinne eines sog. time-based rerouting) sowie weitere Kommunen eingebunden werden.

Die gewonnenen Daten und Ergebnisse fließen aktuell und auch zukünftig in die Forschung und Lehre der Uni Bamberg ein. Weitere Publikationen sind ebenso geplant.

Die Bereitstellung der Daten in der Mobilithek ermöglicht es, Forschern aus aller Welt mit den Daten zu arbeiten, smarte Anwendungen für die Stadt der Zukunft entwickeln und weitere Erkenntnisse zu gewinnen.

3.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde untersucht, inwiefern mit den im Rahmen der Feldstudie erhobenen Daten Touristengruppen identifiziert und ihre Route verfolgt werden kann. Die Arbeit kam zu dem Ergebnis, dass ein Tracking aufgrund von MAC Randomisierung nicht möglich ist.

3.5 Einhaltung der Kosten-und Zeitplanung

Wie im Schlussbericht dargelegt konnte die Kosten-und Zeitplanung im Wesentlichen eingehalten werden.