

**Gottfried Wilhelm
Leibniz Universität Hannover
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
Institut für Praktische Informatik
Fachgebiet Software Engineering**

Machbarkeitsanalyse einer Navigation im Öffentlichen Nahverkehr

Masterarbeit

im Studiengang Informatik

von

Steffen Griese

**Prüfer: Prof. Dr. Kurt Schneider
Zweitprüfer: Dr. Javad Ghofrani
Betreuer: Dr. Javad Ghofrani**

Hannover, 05.07.2017

Erklärung der Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keinem anderen Prüfungsamt vorgelegen.

Hannover, den 05.07.2017

Steffen Griese

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Machbarkeit einer Navigation im Öffentlichen Personennahverkehr(ÖPNV) analysiert. Die Navigation im ÖPNV ist schwieriger als im Automobilbereich.

Die Grundlage der Navigation ist eine Referenzverbindung, die durch Verspätungen, einen verpassten Ausstieg oder andere Abweichung nicht mehr zum Ziel führen kann. Die größte Schwierigkeit besteht darin diese Abweichungen mobil und energieeffizient zu erkennen, um alternative Verbindungen zum Ziel bieten zu können. Im Rahmen der Forschung und Entwicklung einer derartigen Navigation für Smartphones wurde von der Firma HaCon ein Konzept für eine Abweichungserkennung entwickelt, für das die technische Umsetzbarkeit geprüft werden sollte.

Die GQM-Methode wurde für die Machbarkeitsanalyse der Abweichungserkennung eingesetzt. Für die im Konzept definierten Ziele wurden Fragen gesammelt, welche nach HaCon zu klären waren. Um sie zu beantworten wurden verschiedene Metriken erstellt.

Diese können eingesetzt werden um zu messen, wie sehr sich die momentanen Technologieumsetzungen von Motion-Sensorik, Geofencing und Silent-Push der Smartphone-Betriebssysteme für eine Abweichungsanalyse eignen. Mit Prototypen der Technologien wurden im ÖPNV Daten erhoben, auf welche die Metriken angewandt wurden.

Die Messungen der Metriken sind in der Lage die Schwächen der Umsetzungen aufzuzeigen. Eine systematische Literaturrecherche, die als Metrik verwendet wurde, konnte keine Veröffentlichungen finden, welche sich mit der Abweichungsanalyse in Navigationen für den ÖPNV auseinandersetzen. Daher kann diese Arbeit einen Einstiegspunkt und eine Grundlage für weitere Forschungen und Entwicklungen zum Thema Abweichungsanalyse in Navigationssystemen für den Öffentlichen Personen Nahverkehr darstellen.

Abstract

This thesis analyzed the feasibility of a navigation for public transport. Navigation for public transport is more difficult as for the automotive sector.

The navigation's foundation is a reference connection, which could lose its validity due to delays, missed exits or other types of deviation. To energy efficient, detect those deviations on a mobile device, and provide an alternative connection to the desired target location, is the difficult part of a public transport navigation. HaCons Research and Development department, working on a mobile phone based public transport navigation came up with a concept for such a deviation analysis, for which a technical prove of practicability was needed.

The GQM-method was chosen for this feasibility analysis of deviation detection in public transport. Related to the defined goals in the concept, questions where collected which HaCon wanted do be answered. In order to answer the questions, metrics were defined. They where used to measure how well suited the current implementations of motion-sensing, geofencing and silent-push of the mobile operating systems are for a deviation detection. Prototypes where used to collect data using public transport onto which the metrics where applied.

The metrics measurements can be used to identify weaknesses on the implementations of the operating systems. One of the Metrics was a systematic literature review which was not able to identify publications on the topic of deviation analysis for navigation systems used in public transport. Therefore this thesis could be a starting point and a foundation for future research and development on the topic of deviation analysis for navigation in public transport.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	4
1.2	Lösungsansatz	4
2	Ziele	7
2.1	Das Produkt/Nutzenversprechen	7
2.2	Konzept Ziele	8
2.3	Paradigmen	8
2.4	Axiom der ÖPNV -Abweichungserkennung:	9
3	Fragen	11
3.1	Allgemeine Fragen	11
3.2	Generische Fragen an die Technologien	12
3.3	Motion-Sensorik spezifische Fragen	13
3.4	Geofencing spezifische Fragen	14
3.5	Silent-Push spezifische Fragen	15
4	Metriken	17
4.1	Systematische Literaturrecherche	17
4.2	Motion-Sensorik Metrik	17
4.3	Geofence Genauigkeit	18
4.4	Silent-Push Empfangsrate in Laborbedingung	19
4.5	API-Recherche	19
4.6	Prototyping	19
5	Evaluationsplanung	21
5.1	API Recherche und Prototyping	21
5.2	Batterietest	22
5.3	Tests der Motion-Sensorik	23
5.4	Tests des Geofencing	23
5.5	Silent-Push Dauer Test	24

6	Evaluation	27
6.1	Literaturanalyse	27
6.1.1	Planung der Literaturrecherche	27
6.1.2	Ergebnisse der Suchmaschinen	29
6.1.3	Ausschluss von Suchmaschinen	31
6.1.4	Ergebnisse der ersten Suche	31
6.1.5	Zweite Suche	32
6.2	API Recherche und Prototyping	34
6.3	Batterie Referenz Verbrauch	39
6.4	Motion-Sensorik	40
6.4.1	DONE Batterieverbrauch	41
6.4.2	DONE Zug	41
6.4.3	DONE U-Bahn	43
6.4.4	DONE Bus	43
6.4.5	DONE Tram	44
6.5	Silent-Push	45
6.5.1	DONE Batterieverbrauch	45
6.5.2	DONE Nachrichten Analyse	45
6.5.3	DONE Ausführungszeittest	53
6.6	Geofencing Tests	53
6.6.1	DONE Batterieverbrauch	53
6.6.2	DONE Nahverkehr	56
6.6.3	DONE Fernverkehr	56
6.7	Beantwortung der Fragen Q₁ und Q₂	58
7	Diskussion und Ausblick	71
7.1	Umsetzungskonzept	71
7.2	Android	73
7.3	Machbarkeitsanalyse mit GQM	73
8	Glossar	75
9	Anhang	77
9.1	Zweite Suche	77
9.2	Inhalt der DVD	80

Kapitel 1

Einleitung

"Wenn möglich bitte wenden!"

Diese Nachricht ist jedem bekannt, der ein Navigationssystem in seinem Auto nutzt. An ihr lässt sich erkennen, dass ein Navigationssystem erkennt wenn sein Nutzer von der Route abweicht. Wird auf einer Fahrt mit dem Auto ein Navigationssystem eingesetzt, gibt der Nutzer zu Beginn das Ziel zu dem er möchte ein. Das Navigationssystem berechnet eine Route auf dem Straßennetz von der aktuellen Position zu dem gewünschten Ziel. Sobald es die Route berechnet hat, beginnt es den Nutzer zu dem nächsten Abschnitt zu führen, der ihn auf seiner Reise dem Ziel näher bringt. Während der Fahrt überwacht das Navigationssystem die Position des Nutzers. Weicht er von der berechneten Route ab und nimmt einen anderen Weg auf dem zu Grunde liegenden Straßennetz, wird dies von dem System erkannt. Ist der Reisende abgewichen versucht das Navigationssystem schnellstmöglichst wieder auf die berechnete Route zu gelangen. Meist in dem es zuerst den Fahrer auffordert zu wenden. Kommt der Fahrer dieser Aufforderung nicht nach, berechnet es nach kurzer Zeit eine neue Route, ausgehend von der aktuellen Position. So wird der Nutzer von dem Navigationssystem auf eine praktische und zeitsparende Weise zu seinem Ziel geführt. Im Automobilbereich werden Navigationssysteme auf fast jeder Fahrt verwendet. Gerade die Fähigkeit eine Abweichung von der Route schnell und verlässlich zu erkennen und auf sie entsprechend reagieren zu können macht den großen Komfort der Navigationssysteme aus. Durch diese komfortable Erleichterung der Orientierung sind Navigationssysteme im Automobilbereich stark etabliert und viel verwendet.

Bei Reisen mit dem Öffentlichen Personennahverkehr(ÖPNV) sieht es ganz anders aus. Hier werden Navigationssysteme nicht so häufig verwendet. Da im ÖPNV die Fahrzeuge von vielen Passagieren mit unterschiedlichen Reisezielen gleichzeitig genutzt werden, muss ein Navigationssystem für diesen Einsatzbereich transportabel sein und sollte für jeden der Passagiere separat nutzbar zur Verfügung stehen. Prädestiniert für diese Anforde-

rungen sind die Smartphones der Reisenden. Der mobile Einsatz eines Navigationssystem, auf welches sich der Reisende verlassen können soll, bringt einige Probleme mit sich. So ist trotz fortschreitender Verbesserungen der Akku-Technik die Energieversorgung eines dieser Probleme. In Automobilen, Motorrädern u.ä. erzeugt das jeweilige Vehicle Energie, die das Navigationssystem nutzen kann, um auch auf längeren Reisen einsatzfähig zu bleiben. Ähnliche mobile Energieversorgung stehen nur in wenigen öffentlichen Verkehrsmitteln zur Verfügung. Neben der Anforderung wenig Energie zu verbrauchen ist das größte Problem zu erkennen, ob und wann der Reisende von seiner Reiseroute abweicht. Im Gegensatz zum Automobilbereich können bei Reisen mit öffentlichen Verkehrsmitteln, Abweichungen dazu führen, dass die vorher berechnete Route nicht mehr zum Ziel führen kann. Das liegt daran, dass für ein Navigationssystem im ÖPNV die der Routenberechnung zu Grunde liegende Struktur um ein vielfaches fragiler ist als das Straßennetz, welches die grundlegende Struktur für die Routenberechnung im Automobilbereich ist. Die Grundlage für die ÖPNV-Routen sind die Fahrplandaten, bei denen Verbindungen zwischen zwei Orten zeitabhängig sind. Weicht ein Autofahrer von seiner Route ab, weil er eine Ausfahrt verpasst hat, kann er bei der nächsten Möglichkeit umkehren und so zu seiner vorherigen Route zurückkehren. Verpasst ein Reisender im ÖPNV seinen Ausstieg, wird er mit hoher Wahrscheinlichkeit den nächsten Zug verpassen und seine Anschlussverbindungen nie mehr¹ nehmen können. Übertragen auf den Automobilbereich würde dies bedeuten, dass die Straße hinter der verpassten Ausfahrt aufhören würde zu existieren, sobald der Autofahrer an der Ausfahrt vorbeifährt. Dies zeigt, dass Routen im ÖPNV nicht eine Folge realer Koordinaten sind wie im Automobilbereich. ÖPNV-Routen verfügen über eine weitere kritische Dimension auf der Abweichungen möglich sind, die Zeit. Dadurch können Abweichungen von der Route auf mehr Arten entstehen und sind schwieriger zu erkennen. Im ÖPNV-Bereich ist es aber möglich von einer Route abzuweichen ohne dass dies Auswirkungen hat. Im Nahverkehr fahren oft verschiedene Linien auf gemeinsamen Streckenabschnitten. Eine Route, die für diesen Abschnitt Linie X vorsieht, wird nicht ungültig wenn der Reisende Linie Y nimmt, vorausgesetzt, dass die Anschlussverbindungen dadurch immer noch erreicht werden können.

Für die Berechnung der Routen im ÖPNV existieren bereits viele Applikationen(Apps) die diesen Teil einer Navigation bieten. Die Firma HaCon bietet Lösungen für die Verkehrsauskunft im ÖPNV an.

Teil dieser Lösungen sind Smartphone-Apps, die es den Kunden von ÖPNV-Unternehmen ermöglichen, Fahrplanauskünfte sowie Informationen

¹Die Anschlussverbindung ist wegen der zu Grunde liegenden Fahrplandaten einzigartig. Verpasst der Reisende den Zug am 1.1.2018 um 12 Uhr so ist der folgende Zug eine andere Verbindung. Der Reisende ist nie wieder in der Lage den Zug am 1.1.2018 um 12 Uhr zu nehmen und somit auch nicht diese Anschlussverbindung.

über aktuelle Störungen und Verzögerungen zu erhalten und ihre Reiserouten schnell und bequem zu planen und zu aktualisieren.

Um eine verbesserte Navigation für den ÖPNV anbieten zu können, wurde von HaCon das “Navigate-Feature” entwickelt. Damit diese Navigation Abweichungen des Nutzers erkennen und auf sie reagieren kann, indem sie dem Nutzer die bestmögliche Alternative zeigt, wurde ein Konzept [50] für eine derartige Abweichungserkennung entwickelt.

Diese Arbeit soll dieses Konzept vervollständigen und in folgenden Punkten unterstützen.

- Recherche der Technologien
- Mess-Apps
- Live-Tests

Dabei soll die Konzentration auf den noch nicht etablierten Technologien liegen. Diese sind:

Geofencing bezeichnet eine Technik, die das Betreten, Aufhalten oder Verlassen einer geographischen Region des Gerätes, welches das **Geofencing** ausführt, erkennt. Dazu wird ein virtueller Zaun um eine geografische Region errichtet. Dieser Zaun kann auf verschiedene Arten dargestellt werden, je nach Art der Region, die er umspannt. Bei einer kreisförmigen Region durch einen Mittelpunkt und einen Radius. Rechteckige Regionen können durch zwei Koordinaten in den Eckpunkten dargestellt werden. Die Kanten der Rechtecke sind von Nord nach Süd und von West nach Ost ausgerichtet. Für Rechtecke beliebiger Ausrichtung wird zusätzlich ein Winkel benötigt. Bei einer unregelmäßig geformten Region kann der Zaun durch einen Polygonzug dargestellt werden. Beim **Geofencing** werden drei Ereignisse unterschieden:

1. Das Betreten einer Region.
2. Der Aufenthalt in einer Region.
3. Das Verlassen der Region.

Motion-Sensorik Smartphones sind in der Lage die Bewegungsart ihres Benutzers festzustellen, wenn sie über die notwendigen Sensoren verfügen. Dabei werden aus den verschiedenen Einflussgrößen, wie Beschleunigung, Rotation und den einwirkenden Magnetfeldern eine Schätzung der Bewegungsart errechnet. So sind die Geräte zum Beispiel in der Lage zu erkennen, ob der Nutzer sich in einem Auto oder auf einem Fahrrad fortbewegt.

Silent-Push Mit Push-Nachrichten können Server Informationen zu einzelnen Smartphones senden, die sich vorher dafür registriert haben. Empfängt ein Smartphone eine Push-Nachricht, wird sie dem Benutzer direkt angezeigt, je nach Einstellung mit Ton und/oder Vibration oder als normale Nachricht auf dem Bildschirm. Bei einer **Silent-Push**-Nachricht wird der Nutzer des Smartphones, im Gegensatz zu Push-Nachrichten, nicht über den Eingang oder Inhalt der Nachricht informiert.

Das bisherige Konzept von HaCon [50] stellt die grundlegende Motivation für diese Arbeit dar. Es stützt sich auf die genannten Technologien. Eine technische Untersuchung dieser steht noch aus und soll Kern dieser Arbeit sein. Um nicht unnötig Zeit und Kosten in aufwendige Neuentwicklungen zu stecken, sollen im Rahmen dieser Arbeit die von den Betriebssystemen bereitgestellten Daten und Dienste untersucht und sofern möglich verwendet werden.

Die für diese Arbeit wichtigsten Teile des Konzeptes sind in den Abschnitten 2.1 , 2.2 und 2.3 exakt wiedergegeben.

1.1 Problemstellung

Für das geplante Navigationsfeature von HaCon ist die Abweichungsanalyse ein wichtiger Bestandteil. Das Konzept für die Abweichungsanalyse stützt sich auf den Einsatz der Technologien **Geofencing**, **Motion-Sensorik** und **Silent-Push**. Wie und ob diese Technologien die Anforderungen des Konzeptes erfüllen können, steht noch aus. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu prüfen, ob die Technologien auf den Plattformen iOS und Android verfügbar sind und wie sie eingesetzt werden können, um die konzipierten Funktionalitäten zu verwirklichen. Die jeweiligen Technologien sollen in Prototypen implementiert werden, die eine Analyse der Fähigkeiten der Technologien ermöglichen. Die Prototypen sollen verwendet werden, um im **ÖPNV** in Live-Tests zu klären, wie sich die Technologien in ihrem vorgesehen Einsatz verhalten.

1.2 Lösungsansatz

In dieser Arbeit soll die Goal-Question-Metric-Methode(GQM) [5, 72] verwendet werden. Normalerweise ist GQM eine etablierte Methode zur Erstellung von Qualitätsmodellen. Das generelle Vorgehen und die einzelnen Schritte könnten aber auch bei anderen Studien angewendet werden. Daher soll in dieser Arbeit versucht werden, eine Machbarkeitsanalyse mittels GQM durchzuführen.

Die Arbeit folgt dabei der folgenden Struktur. Zu erst werden die Ziele in Kapitel 2 geklärt, anschließend werden Fragen in Kapitel 3 gesammelt, die zum Erreichen der Ziele beantwortet werden sollen. Ausgehend von den Fragen werden dann im Kapitel 4 Messziele und Maße definiert, die eine Aussage darüber gestatten, ob und inwiefern mit Technologien die Ziele erreicht werden können. Tests oder Recherchen, die zur Beantwortung der Fragen dienen sollen, werden in Kapitel 5 definiert. Die Ergebnisse aus Tests und Recherche werden in Kapitel 6 wiedergegeben und die gestellten Fragen beantwortet. Im Kapitel 7 werden die Erfahrungen aus der Arbeit, sowie weitere Forschungsansätze für eine weiterführende Diskussionen zusammengestellt.

Kapitel 2

Ziele

Die Grundlage dieser Arbeit ist das Konzept [50] für die Abweichungsanalyse, deren Lösungsansätze sich auf die Technologien [Geofencing](#), [Silent-Push](#) und [Motion-Sensorik](#) stützen. Die Auszüge des Konzeptes, die von HaCon als Ziel angesehen werden, sind in den folgenden Abschnitten [2.1](#), [2.2](#) und [2.3](#) exakt zitiert.

2.1 Das Produkt/Nutzenversprechen

- Bisher umgesetzte Stufen (= konfigurierbare Produktvarianten);
 - Stufe 1** Swipe auf der Karte, keine selbst ab laufende Navigation
 - Stufe 2** selbst ab laufende Navigation, nur im Vordergrund
 - Stufe 3** selbst ab laufende Navigation, auch im Hintergrund mit Banner
- Zusätzlich in Stufe 4 "Abweichungsanalyse" geplante Features
 - Abweichungserkennung Nutzer: Nutzer weicht von geplanter Route ab. Navigation erfährt dies und regiert angemessen.
 - Abweichungserkennung Server: Verbindung verändert sich. Navigation erfährt dies und reagiert angemessen.
 - Nutzer erhält ggf. Warnung.
 - Alternativen werden ggf. angeboten
 - Nutzerkontext wird bei Neuplanung berücksichtigt (z.B. Suche aus der Fahrt heraus)

2.2 Konzept Ziele

1. Nutzer leiten, nicht nerven (nicht zu nervös anschlagen):
 - Sinnvolle, hilfreiche, rechtzeitig Kundeninfos
 - Client aktuell halten, ohne jedes mal den Nutzer aktiv zu informieren
 - User muss nicht aktiv nachschauen müssen, er soll Navigate passiv nutzen können und wird aktiv informiert.
 - Nutzung soll auch bei geschlossener voll-funktional möglich bleiben.
2. Akku-schonend
3. Datenvolumen-schonend
4. Serverlast-schonend
5. Datensparsamkeit/Datenschutz (need to know; Übertragung von Nutzerdaten an Server nur wo erforderlich)

2.3 Paradigmen

- Nutzer muss bestimmte Mindestpermissions für Stufe 4 geben:
 - Meldungen (für Push, Reminder; nur bei iOS erforderlich)
 - GEO-Lokalisierung (iOS: Ausprägung “immer” erforderlich)
- Die Abweichungserkennung hat nicht den Anspruch sicherzustellen, dass der Nutzer noch auf der exakten Route ist, sondern bei gesicherter festgestellter Abweichung - anzuschlagen und neuen Kontext ermitteln (MatchMe).
- Trennung von Client-Aktualisierung und Kundeninformation
- Aktualität des Clients erfolgt durch Server-Push-to-Pull (nicht periodisch Pull), also sobald es was zu aktualisieren gibt.
- Die Ortung soll über die Betriebssystem-seitigen APIs erfolgen, nicht HAFAS-proprietär umgesetzt werden (mit wachsende Ortungslogik).
- Zunächst keine IV-Turn-be-Turn-Rerouting-Funktionalität; Fokus liegt auf Sicherstellung der ÖV-Meilensteine
- Damit die Navigation auch offline robust funktioniert, darf es keine Grundabhängigkeit von einer ständigen Serververbindung geben und muss die eigentliche Navigation inkl. Abweichungserkennung clientseitig implementiert sein.

- Kern ist die Überwachung einer Referenzverbindung
- Es gilt grundsätzlich die Referenzverbindung, aber Abweichungen, die Anschlüsse der Referenzverbindung nicht gefährden (z.B. frühere Takte), werden dem Benutzer nur soft kommuniziert und erzwingen keine volle Alternativensuche (eher Teilsuche) -> tbd

2.4 Axiom der ÖPNV-Abweichungserkennung:

Axiom: Die Abweichungserkennung basiert immer auf einer vorab berechneten Referenzverbindung, die auf dem Client durch den Server induziert auf dem aktuellen Informationsstand gehalten wird.

Das Axiom dient dem Verständnis der Grundlage der Abweichungsanalyse. So soll die Technologie [Silent-Push](#) genutzt werden um die Referenzverbindung aktuell zu halten. Verändert sich die Verbindung zum Beispiel durch die Verkehrslage, soll der Server den Client darüber informieren. Die beiden anderen Technologien [Geofencing](#) und [Motion-Sensorik](#) sollen genutzt werden, um die Abweichungen von der aktuellen Referenzverbindung zu erkennen.

Kapitel 3

Fragen

Zu den Zielen und Vorgaben aus dem Konzept von HaCon, wurden Fragen von dem Team, welches das Navigate Feature entwickelt, festgehalten. Dieser Abschnitt behandelt diese Fragen und erläutert die Intentionen hinter ihnen.

Bei der Ausarbeitung der Fragen wurde hierarchisch vorgegangen. Es wurden einige Fragen von HaCon bewusst so formuliert, dass sie durch ihre hierarchisch untergeordneten Fragen beantwortet werden. Die festgehaltenen Fragen lassen sich in allgemeine und technologiebezogene Fragen unterteilen. Die technologiebezogenen Fragen wiederum unterteilen sich in generische Fragen, die für jede Technologie gleich sind und in Fragen, die sich ausschließlich auf die jeweilige Technologie beziehen.

3.1 Allgemeine Fragen

Begonnen wurde mit den allgemeinen Fragen, die in Tabelle 3.1 angegeben sind.

Tabelle 3.1: Erste Fragen

id	Frage
Q₁	Können die Anforderungen von den Technologien erfüllt werden?
Q₂	Kann mit den verwendeten Technologien ein Umsetzungskonzept erstellt werden?
Q₃	Gibt es wissenschaftliche Veröffentlichungen / Forschungen zum Thema: Machbarkeit einer Abweichungsanalyse im ÖPNV
Q₁	Das Hauptanliegen ist es für die Technologien festzustellen, ob sie wie im Konzept beabsichtigt eingesetzt werden können.
Q₂	Sofern die Technologien es zulassen, soll ein Umsetzungskonzept für die Abweichungsanalyse erstellt werden.

- Q₃** Diese Frage wird gestellt um nicht nur auf die im Konzept vorgesehenen Lösungen zu schauen. Sie soll in Erfahrung zu bringen, ob es Forschungen zur Abweichungsanalyse im **ÖPNV** gibt, welche bei der Umsetzung des Konzeptes helfen könnten.

3.2 Generische Fragen an die Technologien

Aus Kapitel 2 und den Anforderungen ergeben sich die Fragen in Tabelle 3.2, die für jede der zu testenden Technologien beantwortet werden müssen. Zur Identifizierung der Fragen in Bezug auf eine bestimmte Technologie, wird das X in den Identifikatoren(ids) der Fragen mit den Anfangsbuchstaben der Technologien ersetzt.

Tabelle 3.2: Fragen die für jede Technologie gestellt werden

id	Frage
Q _X	Kann die Technologie für ein Umsetzungskonzept, welches die Anforderungen erfüllt, genutzt werden?
Q _{X.1.1}	Kann die Technologie genutzt werden, ohne dass der Nutzer dafür mit der App interagieren muss.
Q _{X.1.2}	Wie hoch ist der Batterieverbrauch bei der Verwendung der Technologie?
Q _{X.1.3}	Wie stark belastet die Verwendung der Technologie das Datenvolumen des Nutzers?
Q _{X.1.4}	Wie stark belastet die Verwendung der Technologie den Server?
Q _{X.1.5}	Welche Daten werden benötigt?
Q _{X.1.5.1}	Welche Nutzerdaten werden benötigt?
Q _{X.1.5.2}	Welche Daten werden vom Server benötigt?
Q _{X.1.5.3}	Datensicherheit?
Q _{X.1.6}	Welche Technologievoraussetzungen gibt es?
Q _{X.1.6.1}	Welche Berechtigungen benötigt die App ?
Q _{X.1.6.2}	Welche Spezifikation muss das Gerät erfüllen?
Q _{X.1.6.3}	Ab welcher Betriebssystemversion ist die Technologie verfügbar?

- Q_X** Es soll für jede der Technologien die technischen Möglichkeiten, Einschränkungen und Voraussetzungen geprüft werden, um festzustellen, ob und wie sie in einem Umsetzungskonzept eingesetzt werden können.

- Q_{X.1.1}** Der Nutzer soll nicht unnötig mit der **App** interagieren(siehe Abschnitt 2.2 1)). Die Verwendung der Technologie sollte keine Interaktionen mit dem Nutzer benötigen, sie höchstens einleiten, wenn zum Beispiel eine Abweichung erkannt wurde.

- Q_{X.1.2}** Die Verwendung der Technologie sollte nicht dazu führen, dass die Akkulaufzeit nur noch bei wenigen Stunden liegt und im schlimmsten Fall der Reisende sein Smartphone wegen Energiemangels nicht mehr nutzen kann.

- Q_{X.1.3}** Die Verwendung der Technologie darf nicht dazu führen, dass das Datenvolumen des Nutzers erschöpft wird und seine Internet-Geschwindigkeit gedrosselt wird.

- Q_{X.1.4}** Es soll sicher gestellt werden, dass das Server-Backend der späteren Apps, die das Navigatefeature beinhalten sollen, durch die Technologie nicht so stark belastet wird, dass es sich negativ auf seine anderen Funktionen auswirkt.
- Q_{X.1.5}** Die Technologien benötigen Daten aus verschiedenen Quellen, um korrekt zu funktionieren. Diese sollen definiert werden damit deren Bereitstellung für die Apps sicher gestellt werden kann.
- Q_{X.1.5.1}** Verwendet die Technologie Daten des Benutzers, so müsste seine Erlaubnis für die Nutzung eingeholt werden.
- Q_{X.1.5.2}** Für die Abweichungsanalyse wird erwartet, dass der Server angepasst werden muss. Dafür soll geklärt werden, welche Daten die [App](#) vom Server benötigt.
- Q_{X.1.5.3}** Der Nutzer sollte durch die Verwendung der Technologie nicht zurückverfolgt werden können. Seine Daten sollen sicher sein.
- Q_{X.1.6}** Es soll sicher gestellt werden, was die Technologie benötigt um zu funktionieren.
- Q_{X.1.6.1}** Berechtigungen müssen vom Benutzer eingeholt werden, daher soll die [App](#) so wenig wie möglich Berechtigungen benötigen.
- Q_{X.1.6.2}** Die Technologie sollte möglichst von vielen Nutzern verwendet werden können. Ist die Technologie nur mit den neusten Smartphones zu nutzen, werden nur wenige Nutzer das Feature in Anspruch nehmen können.
- Q_{X.1.6.3}** Ähnlich wie die Geräte-Spezifikation kann eine zu hohe Mindestanforderung der Betriebssystemversion die Nutzerzahlen stark einschränken.

3.3 [Motion-Sensorik](#) spezifische Fragen

Fragen, die sich ausschließlich an die [Motion-Sensorik](#) richten, sind in Tabelle 3.3 aufgelistet.

Tabelle 3.3: Fragen zu Motion-Sensorik

id	Frage
Q_{M.2}	Was ist Motion-Sensorik ?
Q_{M.3}	Gibt es eine Möglichkeit, die Motion-Sensorik für die Erkennung des Modus "Zug" zu nutzen?
Q_{M.4}	Für das Umsetzungskonzept, wofür verwendbar in den verschiedenen Modi, insbesondere Zug/Bahn?

- QM.2** Während der Besprechung der Fragen stellte sich heraus, dass keine Klarheit darüber herrscht, wie die als **Motion-sensorik** bezeichnete Technologie von den Betriebssystemen umgesetzt wird und welche Bewegungsarten von der Technologie erkannt werden können.
- QM.3** Schienenfahrzeuge bilden die größte Fahrzeuggruppe im **ÖPNV**. Wenn sie schnell und verlässlich erkannt werden, kann diese Information genutzt werden, um Abweichungen zu erkennen. Außerdem soll geklärt werden was vom System erkannt wird, wenn der Nutzer in den Fahrzeugen geht.
- QM.4** Die über die Zeit erkannten Bewegungsarten sollen nach Mustern und Anhaltspunkten untersucht werden, um mögliche **ÖPNV**-Fahrzeuge, Teile einer Verbindung oder das Betreten und Verlassen der Fahrzeuge zu bestimmen.

3.4 Geofencing spezifische Fragen

Fragen, die sich ausschließlich an das **Geofencing** richten, sind in Tabelle 3.4 aufgelistet.

Tabelle 3.4: Fragen zu Geofencing

id	Frage
QG.2	Was ist Geofencing ? Welche Modi existieren? (on Entry, on Exit, Stay)
QG.3	Wie genau wird das Betreten, Verlassen eines Geofences erkannt? Symmetrisch?
QG.3.1	Wie weit ist der Nutzer vom Rand des Geofences entfernt, wenn das System meldet, dass er betreten / verlassen wurde?
QG.4	Wie klein kann ein Geofence sein? Welche Formen sind möglich?
QG.5	Wie viele Geofences können gleichzeitig gesetzt werden? Gibt es weitere Limitationen?
QG.5.1	Was passiert, wenn eine andere App parallel Geofences setzt?
QG.6	Kann es sein, dass ein Geofence nicht anspricht, weil z.B. schnell durchfahren. Wie verlässlich ist die Technologie?
QG.7	Wie stark belastet das Setzen/Löschen/Modifizieren von Geofences das Betriebssystem?
QG.8	Wie stark ist der Einfluss des Fahrgast Use Case (Nahverkehr, Fernverkehr)?

- QG.2** Die Frage bezieht sich auf die Umsetzungen der Betriebssysteme.
- QG.3** Die Erkennung wird als symmetrisch bezeichnet, wenn die Entfernung zum Rand des Geofences beim Betreten ähnlich der Entfernung beim Verlassen ist.
- QG.3.1** Die Erkennung des Betretens und Verlassens eines Geofences wird als "genau" angesehen, wenn sich die Position zum Zeitpunkt des Erkennens auf dem Rand der von dem **Geofence** überwachten Region befindet.

- QG.4** Haltestellen haben verschiedene Größen. Kleine kreisförmige Geofences könnten für Haltestellen im Nahverkehr genutzt werden, für große Bahnhöfe bieten sich Polygonzüge an. Zu kleine Geofences könnten nicht erkannt werden.
- QG.5.1** Es ist bereits bekannt, dass nur eine begrenzte Anzahl an Geofences gleichzeitig überwacht werden kann. Ob diese Begrenzung Geräte weit oder pro **App** gilt ist unklar.
- QG.6** Je verlässlicher die Geofences erkannt werden können, desto besser können sie für eine Abweichungsanalyse eingesetzt werden. Ein nicht erkannter **Geofence** könnte dazu führen das ein Ausstieg nicht rechtzeitig angesagt wird.
- QG.7** Es könnte sein, dass für die Abweichungserkennung sequenziell mehr Geofences überwacht werden müssen, als das System simultan überwachen kann. Für diesen Fall sollte das Setzen und Löschen der Geofences das Betriebssystem möglichst nicht belasten.
- QG.8** Es soll abgeschätzt werden wie gut sich Geofences im Nah- und im Fernverkehr einsetzen lassen.

3.5 **Silent-Push** spezifische Fragen

Fragen, die sich ausschließlich an **Silent-Push** richten, sind in Tabelle 3.5 aufgelistet.

Tabelle 3.5: Fragen spezifisch zu Silent-Push

id	Fragen
QS.2	Verfällt eine Push-Nachricht?
QS.3	Kann Silent-Push genutzt werden, um Informationen nachzuladen?
QS.4	Ist Silent-Push in jedem Zustand der App verfügbar?
QS.2	Die Verlässlichkeit der Übermittlung der Pusch-Nachrichten ist unklar.
QS.3	Mit Hilfe der Technologie soll der Server den Client informieren, dass Informationen nachgeladen werden müssen. Dazu muss es immer möglich sein, nach dem Erhalt einer Push-Nachricht, Informationen von einem Server nachzuladen.
QS.4	Die Silent-Push Nachrichten sollen immer empfangen werden, unabhängig ob die App gerade in Benutzung ist oder nicht.

Kapitel 4

Metriken

Der letzte Buchstabe in GQM steht für Metrik welche in der herkömmlichen Verwendung von GQM ein Maß für die Software-Qualität ist.

Um Metriken für die Machbarkeit zu erstellen soll sich an den Fragen aus Abschnitt 3 orientiert wenden.

4.1 Systematische Literaturrecherche

Als Metrik zur Beantwortung der Frage **Q₃**², soll eine systematische Literaturrecherche(eng. Systematic Literatur Review kurz SLR) durchgeführt werden.

4.2 Motion-Sensorik Metrik

Um messen zu können, wie verwendbar die **Motion-Sensorik** für eine Abweichungsanalyse ist, soll geprüft werden, ob es mit Hilfe ihrer Ergebnisse möglich ist, Abschnitte oder Übergänge einer Referenzverbindung zu identifizieren.

Durch eine Punktvergabe soll eine Wertung erfolgen. Für die Fahrzeuge (Bus, Tram, U-Bahn und Zug) je einen Punkt, falls an Hand der **Motion-Sensorik** eine Identifizierung des Fahrzeugs möglich ist. Für das Erkennen des Betretens und des Verlassens des Fahrzeuges auch jeweils einen Punkt. Die Metrik zeigt damit, je mehr Punkte erreicht werden können desto besser, eignet sich die Technologie. Dies soll vorerst für diese Arbeit ausreichen. Zukünftig könnte man die Fahrzeuge nach der Häufigkeit ihrer Verwendungen gewichten.

²Gibt es wissenschaftliche Veröffentlichungen / Forschungen zum Thema:Machbarkeit einer Abweichungsanalyse im **ÖPNV**

4.3 Geofence Genauigkeit

Für die Frage **QG.3.1**³ ist bereits geschildert, was unter der Genauigkeit des Betretens und Verlassens eines Geofences verstanden wird. Folgend sollen Betreten und Verlassen eines Geofences unter dem Begriff Event eines Geofences zusammengefasst werden. Die Abbildung 4.1 stellt vereinfacht den Zeitpunkt eines Events dar. Zu diesem Zeitpunkt hat das Smartphone das Event des Geofence um das Zentrum Z erkannt. Das Smartphone befindet sich dabei an Position P die Distanz D liegt zwischen P und Z . Die Erkennung des Events wäre exakt, wenn $D = R$ gilt.

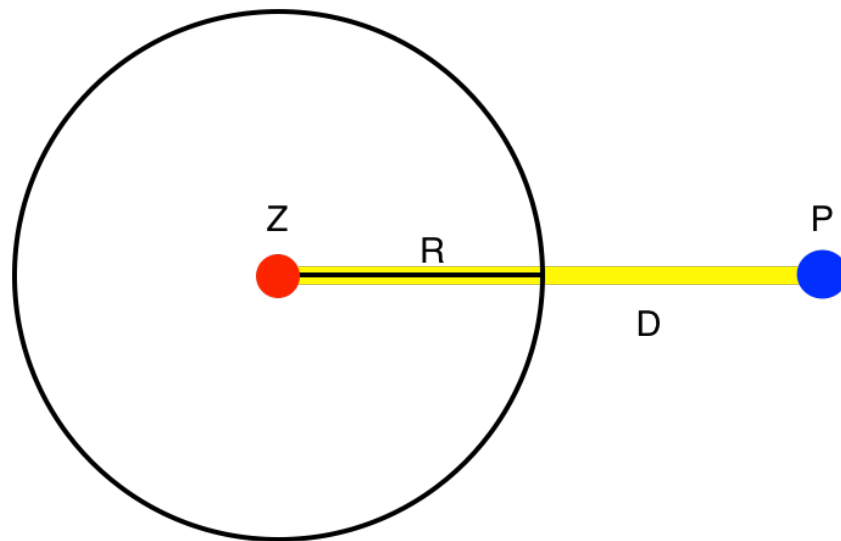


Abbildung 4.1: Geofence mit Radius R zum Zeitpunkt des Betretens/Verlassens an Position P mit Distanz D zum Zentrum Z .

Um einen Wert für die Genauigkeit angeben zu können, kann die Differenz von R und D verwendet werden ($g = D - R$). Damit ist die Genauigkeit mit der das Event erkannt wird um so größer je mehr sich g Null nähert. Es sollte jedoch möglich sein, die Genauigkeiten verschieden großer Geofences direkt vergleichen zu können. Angenommen Event A wird für einen Geofence mit 3 km Radius erkannt, und die Distanz wäre 3,3 km. Event B wird für einen Geofences mit einem Radius von 30 Metern, für das die Position 330 Meter vom Zentrum des Geofences entfernt ist, erkannt. Die Genauigkeit g wäre für A und B identisch. Hingegen entspricht beim Event A die Entfernung einem Zehntel des Radius, während es bei Event B das Zehnfache des Radiuses beträgt. Es gilt deshalb die Genauigkeit g zu normalisieren, um

³Wie weit ist der Nutzer vom Rand des Geofences entfernt, wenn das System meldet, dass er betreten / verlassen wurde?

eine Unabhängigkeit vom Radius R zu erreichen.

$$G = \frac{D - R}{R} = \frac{g}{R} \quad (4.1)$$

Die Formel (4.1) gibt die normalisierte einheitenlose Genauigkeit G an. Für das Event A gilt damit $G = 0.1$ für B $G = 10$. Auch wenn die Entfernung zum Radius bei beiden gleich ist, kann nun allein an G gesehen werden, dass das Event A wesentlich genauer erkannt wurde als das Event B .

G kann damit als Metrik dienen. Damit lässt sich die gewünschte Genauigkeit definieren.

4.4 Silent-Push Empfangsrate in Laborbedingung

Um die Referenzverbindung aktuell zu halten ist es wichtig, dass die **Silent-Push**-Nachrichten das Clientgerät erreichen. Für die **Silent-Push** Technologie dient die Empfangsrate als Metrik. Dafür muss ein Smartphone mit sicherer Internetverbindung **Silent-Push**-Nachrichten von einem Server empfangen. Die Empfangsrate wird mit der Formel (4.2) berechnet.

$$\text{Empfangsrate} = \frac{\text{Empfangene Nachrichten} \cdot 100}{\text{Gesendete Nachrichten}} \quad (4.2)$$

4.5 API-Recherche

Viele der Fragen zu den Techniken beziehen sich auf ihre Fähigkeiten oder Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, um die Technologie einsetzen zu können. Antworten zu diesen Fragen sollen in den APIs und Dokumentationen der Plattformen gefunden werden. So ist die Recherche in den APIs eine Metrik, um zu messen ob eine Technologie die angenommenen Eigenschaften erfüllt.

4.6 Prototyping

Für die Tests der Technologien sollen Prototypen implementiert werden. Diese Implementationsphase soll als weitere Metrik dienen, die zeigt, ob eine Technologie auf einer Plattform eingesetzt werden kann. Während der Implementation werden kleine Tests durchgeführt, die dazu dienen die korrekte Funktion zu prüfen und Sonderfälle zu behandeln. Fragen, die sich auf derartige Funktionen und Sonderfälle beziehen, können durch Implementierung beantwortet werden. Desweiteren dient sie dazu die Ergebnisse der API-Recherche zu untermauern.

Kapitel 5

Evaluationsplanung

Aus Zeitgründen werden die Evaluationstests und der Einsatz in Prototypen im Rahmen dieser Arbeit auf der Plattform iOS durchgeführt, Recherchen werden für beide Plattformen durchgeführt. Die Wahl fiel auf iOS, da diese Plattform mehr Restriktionen unterliegt.

5.1 API Recherche und Prototyping

Viele der Fragen aus Kapitel 3 erfordern eine Recherche in den Programmierschnittstellen (eng. application programming interface kurz. API) und Dokumentationen der Betriebssysteme. Diese soll für iOS und Android durchgeführt werden. Die recherchierten Informationen werden bei der Implementierung der Prototypen überprüft, um die Korrektheit der API-Informationen zu untermauern.

Für die weiteren Tests wird für jede Technologie ein Prototyp implementiert, so wie einer für den Batterietest. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Tests nur mit der iOS Plattform durchgeführt.

Batterietest Der Prototyp speichert den Batteriestatus und dokumentiert die Veränderung durch einen [Timestamp](#).

Motion-Sensorik Der Prototyp speichert jedes Mal, wenn vom System eine Bewegungsart erkannt wurde, die Bewegungsart und die Einschätzung des Systems wie verlässlich die Bewegungsart erkannt wurde. Zusätzlich wird der Batteriestatus und ein [Timestamp](#) gespeichert. Dem Tester stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung die richtigen Bewegungsarten ebenfalls zu speichern. Der Prototyp speichert die Daten auch wenn sich die [App](#) im Background befindet.

Geofencing Der Prototyp ist in der Lage über eine Karte Geofences anzulegen. Die Anzahl an Geofences ist dabei unbegrenzt. Die Datenstruktur eines [Geofence](#) beinhaltet einen Namen um den [Geofence](#)

zu identifizieren. Des Weiteren enthält sie die Koordinate und den Radius⁴. Für die einzelnen Geofences ist es möglich, die Überwachung ein- und auszuschalten. Der Prototyp erkennt Geofences auch wenn die **App** sich im Background befindet. Erkennt das System das Betreten oder Verlassen eines Geofences, speichert der Prototyp den Namen des Geofences, seine Position, die aktuelle Position des Gerätes, die Entfernung zwischen den Positionen in Metern, einen **Timestamp** und den Batteriestatus.

Silent-Push Der Prototyp kann sowohl **Silent-Push**-Nachrichten als auch normale Push-Nachrichten empfangen. Er versucht, nachdem er eine **Silent-Push**-Nachricht erhalten hat, ein Bild von einem Internet-Server herunter zu laden. Der Prototyp speichert die Art der Push-Nachricht, den **Timestamp**, den der Server mit der Nachricht geschickt hat, einen aktuellen **Timestamp**, die Übertragungszeit⁵, den Zustand der **App** und den Batteriestatus. Über den Inhalt der Nachricht ist es möglich einen Ausführungszeittest zu starten. Bei einem Ausführungszeittest speichert der Prototyp zwei Minuten lang jede Sekunde einen **Timestamp**.

5.2 Batterietest

Um den Energiebedarf einer Technologie abschätzen zu können, soll der Energieverbrauch des Testgerätes bestimmt werden. Eine genauere Messung der Akkuspannung, um den Verbrauch zu bestimmen, würde eine bauliche Veränderung der Testgeräte voraussetzen, welches von HaCon sowie den Herstellern der Geräte nicht gewünscht ist. Der Verbrauch wird daher durch Betriebssystemmittel näherungsweise bestimmt, in dem das Batterielevel eines geladenen Gerätes überwacht wird während es entlädt. Dafür wird eine Prototyp-**App** bzw. ein Prototyp implementiert, der den Akkustand wie auch einen aktuellen **Timestamp** regelmäßig speichert. Die Akkukapazität von Lithium-Akkus, die in modernen Smartphones eingesetzt werden, verringert sich mit der Zeit. Um dies zu berücksichtigen, wird in dem Batterietest für jedes Testgerät ein Referenzverbrauchswert ermittelt. Der Batterietest, wie auch jeder andere längerfristige Test, wird mit dem selben Testgerät, welches anfänglich zu 100% geladen ist, durchgeführt. Für jeden längerfristigen Test wird der Energieverbrauch der Technologie ermittelt, um mit dem Referenzverbrauch des jeweiligen Gerätes verglichen zu werden. Viele der Technologien werden auch angewendet, wenn die **App**, in der sie eingesetzt werden, im Hintergrund läuft. Bei iOS würden die Vorkehrungen die notwendig wären die **App** im Hintergrund fortwährend laufen zu lassen,

⁴Bei iOS und Android können nur kreisförmige Geofences überwacht werden.

⁵Die Übertragungszeit ist die Differenz der zwischen dem **Timestamp** des Servers und dem aktuellen **Timestamp**.

sich in einem erhöhten Energieverbrauch bemerkbar machen. Daher wird bei iOS der Batteriestand nur im aktiven Zustand erfasst. Im Verlauf des Testes wird zwischen 08:00 Uhr und 20:00 Uhr, stündlich das Testgerät entsperrt um den Batteriestand zu messen. Während der Nacht von 20:00 Uhr bis 08:00 Uhr wird das Testgerät nicht entsperrt. So ist es möglich mit den am Tag gemessenen Werten einen Referenzverbrauch für eine aktive Nutzung zu bestimmen und mit den in der Nacht gemessenen Werten einen Referenzverbrauch für im Background genutzte Apps. Für alle Werte wird der gesamte Referenzverbrauch bestimmt. Es werden die Energieverbräuche für die Technologien bestimmt. Die Energieverbräuche der Technologien werden mit den Referenzverbräuchen verglichen, die auf dem selben Testgerät gemessen wurden. Alle Tests werden mit eingeschaltetem WLAN, Bluetooth, und Mobilfunk durchgeföhrt. In jedem Testgerät ist dazu eine Sim-Karte eingelegt.

5.3 Tests der Motion-Sensorik

Für die Fragen $Q_{M.2}$ ⁶ und $Q_{M.3}$ ⁷ sollen die von dem System erkannten Bewegungsarten im ÖPNV untersucht werden. Dafür sollen die Bewegungsarten gespeichert werden, die während mit den verschiedenen Fahrzeugen gefahren wird, vom System erkannt werden. Zusätzlich zu den Daten der Motion-Sensorik soll die vom System erfasste Geschwindigkeit aufgezeichnet werden. Die erfassten Daten sollen auf Muster untersucht werden, die eine Zuordnung zu einem Verkehrsmittel zulassen. Mit Hilfe der erkannten Bewegungsarten soll ebenfalls geprüft werden, ob es möglich ist, das Betreten und Verlassen der Verkehrsmittel zu erkennen. Da es möglich ist, sich während der Fahrt gehend in den Fahrzeugen zu bewegen, soll dies ein Teil der Tests sein.

5.4 Tests des Geofencing

Für die Geofencing Tests werden die Ereignisse des Betretens und Verlassens der Geofences überwacht. Wird eines der Ereignisse erkannt, sollen unter anderem die aktuelle Position, das Zentrum des Geofences, die Distanz zwischen beiden, der Radius des Geofences sowie die Art des Ereignisses gespeichert werden. Aus diesen Daten sollen dann die Genauigkeiten für die Ereignisse mit der Formel 4.1 bestimmt werden. Um Frage $Q_{G.8}$ ⁸ zu beantworten soll im Nahverkehr und im Fernverkehr getestet werden.

Für den Test im Nahverkehr soll eine Teststrecke in Hannover abgefahren werden, die alle Fahrzeugtypen des Nahverkehrs beinhaltet. Für die Geofence

⁶Was ist Motion-Sensorik?

⁷Gibt es eine Möglichkeit, die Motion-Sensorik für die Erkennung des Modus "Zug" zu nutzen?

⁸Wie stark ist der Einfluss des Fahrgast Use Case (Nahverkehr, Fernverkehr)?

Überwachung ist es möglich die erwartete Genauigkeit einzustellen. Im Nahverkehr soll diese auf die höchstmögliche Genauigkeit eingestellt werden.

Die Teststrecke beginnt an der U-Bahn Station Lister Platz. Von dort wird eine Bahn in Richtung Fasanenkrug, Altwarmbüchen oder Misbug betreten. Gemeinsam ist für alle Richtungen, dass die nächste Station oberirdisch ist. Ab dort wird die U-Bahn als Tram angesehen. An der Station Spannhagengarten wird die Tram verlassen, um die Fahrt in Gegenrichtung fortzusetzen. Ab der Station Lister Platz gilt das Fahrzeug als U-Bahn. An der Station Kröpke erfolgt ein Umstieg in eine der U-Bahnen, in Richtung Zoo, Anderten, Roderbruch oder Messe Ost. An der Station Marienstraße wird von der U-Bahn in die Buslinie 121 umgestiegen, mit der zurück bis zur Station Lister Platz gefahren wird.

Diese Teststrecke bietet auf einem Rundkurs alle ÖPNV-Fahrzeuge des Nahverkehrs.

Im Gegensatz zum Nahverkehr sind im Fernverkehr die Entfernungen zwischen den Stationen weitaus größer. Es wird vermutet, dass die Geofence Technologie umso weniger Energie verbraucht, je geringer die erwartete Genauigkeit eingestellt ist. In der Abweichungserkennung könnte dies genutzt werden, um Energie im Einsatz innerhalb des Fernverkehrs zu sparen. Zwischen den einzelnen Stationen könnte die Genauigkeit reduziert werden, während der Radius des Geofences erhöht wird. Nähert sich die Bahn der Station, wird der Geofence mit dem großen Radius erkannt. Dann kann die App die erwartete Genauigkeit erhöhen und den Radius des Geofences verringern um die Station genauer überwachen zu können.

Um zu testen wie die Technologie für ein derartiges Szenario verwendet werden kann, erfolgt ein Test im Fernverkehr. Der Test soll die Auswirkungen der verschiedenen Einstellungen für die erwartete Genauigkeit untersuchen. Die Teststrecke wird dafür mehrfach befahren. Nach jeder Fahrt wird die eingestellte erwartete Genauigkeit verringert.

Als Teststrecke dient die Strecke der S5 zwischen Hannover und Springe. Es ist möglich auf dieser Strecke an den Stationen Springe und Hannover Linden/Fischerhof den Zug zu verlassen und nach kurzer Wartezeit mit dem Zug in die Gegenrichtung zu fahren. Die einzelnen Haltestellen der S5 werden mit Geofences versehen, die während des Testes überwacht werden.

5.5 Silent-Push Dauer Test

Um Aussagen über die Silent-Push Technologie unter realen Bedingungen treffen zu können, soll sie auf privat genutzten Smartphones getestet werden. Der Test wird während eines Wochenendes durchgeführt, da ein Smartphone während eines Tages, an dem nicht gearbeitet wird öfter genutzt wird. Dieses Nutzerverhalten ist besser geeignet um es mit der Nutzung während einer Reise zu vergleichen. Während eines Arbeitstages

wird das privatgenutzte Smartphone weniger bis gar nicht genutzt. Um den Batterieverbrauch zu bestimmen soll das selbe Testgerät eingesetzt werden, für das der Referenzverbrauch, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, bestimmt wurde. Das Testgerät soll zu Beginn des Testes zu 100% geladen sein und solange **Silent-Push**-Nachrichten empfangen, bis es sich wegen Energiemangels herunterfährt. Die **Silent-Push**-Nachrichten werden von einem Server versendet. In den Nachrichten wird ein **Timestamp** mitgesendet der, den Sendezeitpunkt angibt. Die Clients speichern bei jeder erhaltenen Nachricht einen **Timestamp** für den Empfangszeitpunkt, so wie den Sendezeitpunkt und die sich aus diesen ergebene Übertragungszeit. Damit die Zeiten der Clientgeräte mit denen des Server verglichen werden können, synchronisieren beide ihre Zeit mit demselben Zeitserver. Um sicherzustellen, dass es möglich ist nach dem Erhalt einer **Silent-Push**-Nachricht Daten nachzuladen, sollen die Clientgeräte bei Erhalt einer Nachricht versuchen ein Bild von einem Internet-Server herunterzuladen. Der Prototyp speichert den Ausgang des Downloadversuches. Ein Bild wurde gewählt, da auch kleine Bilder eine Dateigröße besitzen, welche die Größe der nachzuladenden Informationen übersteigt. Wenn es möglich ist ein Bild erfolgreich herunterzuladen, stellen die Aktualisierungen einer Referenzverbindung kein Problem dar. Um sicherzustellen -unabhängig vom Zustand der **App**-, ob nach Erhalt einer **Silent-Push**-Nachricht der **App** immer ausreichend Rechenzeit zur Verfügung steht, sollen nach jeder zehnten **Silent-Push**-Nachrichten die zur Verfügung stehende Ausführungszeit ermittelt werden. Der Prototyp soll dazu zwei Minuten lang jede Sekunde einen **Timestamp** speichern. Die zwei Minuten sind mehr als ausreichend für die **App** um auf eine neue Verkehrslage zu reagieren; sie sollen ein endloses Fortlaufen dieses Ausführungszeittestes verhindern.

Kapitel 6

Evaluation

6.1 Literaturanalyse

Die systematische Literaturanalyse soll die Frage **Q₃**: *“Gibt es wissenschaftliche Veröffentlichungen / Forschungen zum Thema: Machbarkeit einer Abweichungsanalyse im ÖPNV”* beantworten.

6.1.1 Planung der Literaturrecherche

Für die Datensammlung dieser systematischen Literaturanalyse wurde eine Stichwortsuche durchgeführt. Die Suche wurde in den folgenden wissenschaftlichen Suchmaschinen und Bibliotheken durchgeführt.

1. [IEEE](#)
2. [scopus](#)
3. [ACM](#)
4. [Springer](#)
5. [CiteSeerX](#)
6. [semantic_Scholar](#)

Ausgehend von der Frage wurde nach den folgenden Stichwörtern gesucht:

1. Machbarkeit
2. Abweichungsanalyse
3. [ÖPNV](#)

Die meisten Ergebnisse werden in englischsprachigen Veröffentlichungen erwartet. Da der ÖPNV in Deutschland sehr gut ausgebaut ist, wurde ebenfalls nach deutschsprachigen Veröffentlichungen gesucht. Die Begriffe wurden auf Deutsch und Englisch festgehalten um aus ihnen die Suchphrasen zu bilden.

Für den ersten Begriff **Machbarkeit** ist das englische Äquivalent⁹ *“feasibility”*. Der Begriff **Abweichungsanalyse** kann in die Begriffe *“deviation analysis”*, *“gap analysis”* und *“analysis” of “cost divergence”* übersetzt werden. Beim **öffentlicher Personennahverkehr** liefert eine Übersetzung⁹ die Begriffe *“local public transport”*, *“short-range transit”*, *“short-range public transportation”* und *“short-distance public transport”*.

Es werden Veröffentlichungen gesucht, die alle drei Begriffe enthalten. Die sich daraus ergebende deutsche Suchphrase lautet:

```
( "Machbarkeit"
  AND "öffentlicher Personennahverkehr"
  AND "Abweichungsanalyse"
)
```

Die englische Suchphrase ist komplizierter, da die deutschen Begriffe teils in mehrere englische Begriffe übersetzt werden können. Die einfache logische Verknüpfung der englischen Begriffe liefert die folgende Suchphrase.

```
( "feasibility"
  AND ( "local public transport"
        OR "short-range transit"
        OR "short-range public transportation"
        OR "short distance public transport"
        OR "short-distance public transport"
      )
  AND ( "deviation analysis"
        OR "gap analysis"
        OR "analysis of cost divergence"
      )
)
```

Diese Phrase beinhaltet viele Wiederholungen, so dass sie optimiert wie folgt aussieht.

⁹Englische Übersetzung von <https://www.dict.cc/>

```
( "feasibility"
  AND ( ( "public transport"
          OR "transit"
        )
        And ( "local"
              OR "short-range"
              OR "short"
              OR "distance"
            )
        )
  AND ( "analysis"
        AND ( "deviation"
              OR "gap"
              OR "of cost divergence"
            )
        )
  )
)
```

Um sicherzustellen, dass die gefundenen Papers zu den Themen dieser Arbeit passen, wurden die Abstracts analysiert. Nach Betrachtung der Abstracts wurden für jedes Paper die folgenden Fragen beantwortet.

Paper_{Q1} könnte das Paper bei der Ortung des Nutzers helfen?

Paper_{Q2} könnte das Paper für die [Motion-Sensorik](#) hilfreich sein?

Paper_{Q3} Behandelt das Paper bereits eine Navigation im [ÖPNV](#)?

6.1.2 Ergebnisse der Suchmaschinen

In Tabelle 6.1 ist die Anzahl der gefundenen Paper pro Suchmaschine und Sprache angegeben.

Tabelle 6.1: Ergebnisse der Suchmaschinen für die Suchphrasen in Deutsch und Englisch

Suchphrase	IEEE	scopus	ACM	Springer	CiteSeerX	semantic_Scholar
Deutsch	0	0	0	131.663	33	0
Englisch	6	3	0	140.397	3.475.770	80

Die großen Unterschiede in den Ergebnissen sind ungewöhnlich. Um sie erklären zu können wurden die einzelnen Begriffe in jeder Suchmaschine einzeln gesucht. Wieviele Papers für die Begriffe in den verschiedenen Suchmaschinen gefunden wurden, ist in der Tabelle 6.2 zusammengefasst.

Tabelle 6.2: Ergebnisse der verschiedene Suchmaschinen für die einzelnen Begriffe

id	Begriff	IEEE	scopus	ACM	Springer	CiteSeerX	semantic_Scholar
B1	“Machbarkeit”	13	526	0	50	310	321
B2	“öffentlicher Personennahverkehr”	0	26	0	567	1	5
B3	“Abweichungsanalyse”	0	15	0	18	7	9
B4	“feasibility”	257.038	914.441	9	919	1.218.626	719.513
B5.1	“local public transport”	74	498	0	26.008	1.852.382	245
B5.2	“short-range transit”	3	36	0	21.184	1.308.804	11
B5.3	“short-range public transportation”	0	7	0	31.104	2.049.716	0
B5.4	“short distance public transport”	1	4	0	27.490	940.225	8
B5.5	“short-distance public transport”	1	4	0	27.490	2.126.322	8
B6.1	“deviation analysis”	733	2.190	13	2	1.361.167	1.332
B6.2	“gap analysis”	2.062	11.636	33	47.185	912.208	4.553
B6.3	“analysis of cost divergence”	0	0	0	134.950	2.049.716	0

Die einzelnen Begriffe wurden miteinander logisch verknüpft und in den verschiedenen Suchmaschinen nachgeschlagen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.3 aufgelistet.

Tabelle 6.3: Ergebnisse der Kombinationen der Begriffe aus Tabelle 6.2

id	Combination	IEEE	scopus	ACM	Springer	CiteSeerX	semantic_Scholar
C1	$B1 \cap B2$	0	0	0	131.646	33	1
C2	$B1 \cap B3$	0	0	0	131.149	5.726.347	0
C3	$C1 \cap C2$	0	0	0	131.663	33	0
C4	$\bigcup_{i=1}^5 B5.i$	78	543	0	72.362	6.639.573	0
C5	$\bigcup_{i=1}^3 B6.i$	2.795	13.844	46	135.254	6.639.573	0
C6	$B4 \cap C4 \cap C5$	6	3	0	140.397	3.475.770	80

Es ist auffällig, dass die Suchmaschinen **Springer** und **CiteSeerX** sehr große Anzahlen an Ergebnissen liefern. Eine genauere Betrachtung der Ergebnisse ließ erhebliche Zweifel an ihrer Korrektheit aufkommen. **CiteSeerX** fand für die Kompositionen **C4** und **C5** auf den ersten Blick die gleichen Paper. Außerdem scheint **semantic_Scholar** ein Problem mit logischen Ausdrücken zu haben, da die logischen Kompositionen **C4** und **C5** keine Ergebnisse lieferten. Bildet man den Schnitt dieser Kompositionen mit dem Begriff **B4** : “feasibility” liefert **semantic_Scholar** plötzlich 80 Ergebnisse welches eine logische Unmöglichkeit ist.

6.1.3 Ausschluss von Suchmaschinen

Die Suchmaschinen von **Springer**, **CiteSeerX** und **semantic_Scholar** mussten von der Recherche ausgeschlossen werden, da sie entweder keine logische Suche erlauben oder größtenteils Ergebnisse lieferten, die nicht nachvollziehbar waren. Auf Nachfrage gab der Support von **semantic_Scholar** an, dass sie, um ihren Nutzern bessere Ergebnisse liefern zu können, die Suchergebnisse mit eigenen Algorithmen verbessern. Und das eine logische Suche mit dem neuen Suchverfahren nicht möglich sei. Ohne eine logische Suche kann nicht nachvollzogen und garantiert werden, dass die Suche korrekte Ergebnisse liefert. Dies ist jedoch für eine systematische Literaturanalyse unerlässlich. Daher musste **semantic_Scholar** ausgeschlossen werden. Die beiden anderen Suchmaschinen haben bis jetzt nicht geantwortet. Um ihre Ergebnisse zu prüfen, wurden zufällig Papers bestimmt, die anschließend nach den Wörtern der Suchphrasen durchsucht wurden, um zu bestimmen ob sie zum Thema dieser Arbeit passen. Die Ergebnisse für **Springer** sind in Tabelle 6.4 zu sehen. Es wurde zufällig eine Seite gewählt und dann die Nummer des auf der Seite befindlichen Papers zufällig bestimmt. Bei **CiteSeerX** sind die Ergebnisse nicht in wählbaren Seiten geordnet, so dass die Nummer des Papers zufällig bestimmt wurde. Hierbei zeigte sich, dass **CiteSeerX** angab 3.475.770 Papers gefunden zu haben, jedoch nur die ersten 500 angezeigt werden konnten. Daher wurde zufällig unter den ersten 500 Papers gewählt (zusehen in Tabelle 6.5).

Tabelle 6.4: Zufällige Auswahl der Ergebnisse von Springer

Seite	Nummer	Veröffentlichung	passtZumThema
1	6	Forder, R. (Ed.) - OR, Defence and Security	nein
8163	16	Pöschel, Thorsten, Schwager, T. - Computational Granular Dynamics	nein
5240	2	Chow, P. - The Öne China"Dilemma	nein
1538	20	Alferes, Jose Julio, Moniz Pereira, Luis, Orlowska, Eva - Logics in Artificial Intelligence	nein
7120	18	Hulan, R. - Canadian Historical Writing	nein
7426	8	Traub, P. - Intermediate Filaments	nein

Keines der zufällig ausgewählten Paper passte zum Thema dieser Arbeit, worauf hin beide Suchmaschinen ebenfalls ausgeschlossen wurden.

6.1.4 Ergebnisse der ersten Suche

Von den drei Suchmaschinen die eine verwendbare logische Suche bieten, wurden 9 Paper gefunden, darunter ein Duplikat. Die acht übrigen Paper sind in Tabelle 6.6 aufgelistet, für jedes wurde der Abstract gelesen und anschließend wurden die drei Fragen aus Abschnitt 6.1.1 beantwortet.

Tabelle 6.5: Zufällige Auswahl der ersten 500 Ergebnisse von CiteSeerX

Nummer	Veröffentlichung	passtZumThema
10	Thomas B. Moeslund and Erik Granum - A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture	nein
199	David Culler . . . - LogP: Towards a Realistic Model of Parallel Computation	nein
392	Jenny Rose Finkel - Incorporating non-local information into information extraction systems by gibbs sampling	nein
412	Emmanuel J. Candès - Near Optimal Signal Recovery From Random Projections: Universal Encoding Strategies?	nein
411	Haijun Yana . . . - Activationless charge transport across 4.5 to 22 nm in molecular electronic junctions	nein
61	Michael Ian Shamos - Computational Geometry	nein

Tabelle 6.6: paperDOIandSeachplatform

Paper	PaperQ1	PaperQ2	PaperQ3
MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING... [49]	nein	nein	nein
Accessibility, mobility, and realized... [55]	nein	nein	nein
A Living Lab Model for User Driven... [12]	nein	nein	nein
A Method for the Technical Feasibility... [35]	nein	nein	nein
Emulation of Secure Wi-Fi Communication:... [65]	nein	nein	nein
Wireless technology applications to enhance... [17]	nein	nein	nein
Emulation of Secure Wi-Fi Communication:... [65]	nein	nein	nein
Study on the Model of Service Quality Gap... [13]	nein	nein	nein

Somit ist die Frage **Q3**¹⁰ damit zu beantworten, dass keine Veröffentlichungen zu dem Thema gefunden wurden. Um dennoch Veröffentlichungen zu finden, die zumindest im selben Themengebiet liegen wurde eine zweite Suche durchgeführt.

6.1.5 Zweite Suche

Um die Suche zu erweitern wurde der Begriff **feasible** als Alternative für **feasibility** der Suchphrase hinzugefügt. Da die Abweichungsanalyse ein Teil der Navigation darstellt, wurden die Begriffe **navigtion** und **system** für die Begriffe, die zur Abweichungsanalyse gehören, ausgetauscht. Dadurch sah die Suchphrase für die zweite Suche wie folgt aus.

¹⁰Gibt es wissenschaftliche Veröffentlichungen / Forschungen zum Thema:Machbarkeit einer Abweichungsanalyse im **ÖPNV**

```
( ( "feasible"
  OR "feasibility"
)
AND ( ( "public transport"
  OR "transit"
)
  AND ( "local"
    OR "short-range"
    OR "short"
    OR "distance"
  )
)
AND ( "navigation"
  OR "system"
)
)
```

Die Suche ergab 77 papers, 3 bei **IEEE**, 17 bei **ACM** und 57 bei **Scopus**; eines der Paper wurde in zwei Suchmaschinen gefunden. Die acht Papers in Tabelle 6.7 konnten nicht eingesehen werden, ihre Abstracts konnten jedoch nach weiterer Suche gefunden werden.

Tabelle 6.7: fehlende Pdf's

title	Result	doi
Spread spectrum RADAR using RAKE receiver	[34]	10.1145/1980022.1980363
Position paper: Ontology in the rail domain - The railway core ontologies	[53]	-
A bio-inspired optimization algorithm for the maximum flow problem	[10]	-
A novel path tracking controller for ackerman steering vehicles	[41]	-
Design and construction of a PC based microcontroller controlled Vehicle Tracking System (VTS) used GPS and GSM technology	[4]	-
Safety evaluation of road traffic on grey theory	[40]	-
A framework of spatial decision support system for trip planning using activity-based modeling	[39]	-
Methods for Path and Service Planning Under Route Constraints	[45]	10.1504/ijcat.2006.008668

Für die 76 Paper wurden die Fragen aus 6.1.1 beantwortet, die kompletten Ergebnisse sind in Tabelle 9.1 im Anhang zu finden. Die Fragen konnten für 13 der gefundenen Paper mit ja beantwortet werden. Sie sind in Tabelle 6.8 zusammengefasst.

Somit konnten Veröffentlichungen gefunden werden, die ein ähnliches

Tabelle 6.8: Gefundene Veröffentlichungen für die die Fragen aus ref:subsec:slrPlaning positiv beantwortet werden konnten

Result	fundort	PaperQ1	PaperQ2	PaperQ3
Investigation of location capabilities... [57]	ieee		ja	
K-NN based positioning performance... [36]	ieee	ja		
Micro-Navigation for Urban Bus Passengers... [20]	acm			ja
Tell me your needs [46]	acm			ja
Navigation support for old and... [33]	acm			ja
A mobile multimodal dialogue system... [30]	acm			ja
Proceedings of the 6th International Conference... [82]	acm			ja
SubwayPS [67]	acm	ja		
LastStep [43]	acm	ja		ja
Improving Public Transit Accessibility... [27]	scopus	ja		
Mobile positioning solution suitable... [9]	scopus	ja		
Improving public transit... [26]	scopus	ja		
Combining GPS and GSM Cell-ID positioning... [15]	scopus	ja		

Themengebiet behandeln. Die Antwort auf die Frage **Q₃**¹¹ ist demnach, dass keine Veröffentlichungen gefunden werden konnten, die genau das Thema der Frage behandeln. Es gibt aber Forschungen auf dem Themengebiet **ÖPNV-Navigation** zu dem die Frage zugeordnet werden kann.

6.2 API Recherche und Prototyping

In diesem Abschnitt sind die Antworten auf die Fragen, die durch eine Recherche in den APIs der Betriebssysteme beantwortet werden konnten aufgelistet. Erkenntnisse, die während der Implementierung der Prototypen gewonnen wurden, sind ebenfalls enthalten.

- **Motion-Sensorik**

Q_{M.1.1}¹² Die **Motion-Sensorik** benötigt keine Interaktionen mit dem Nutzer, weder bei iOS noch bei Android.

Q_{M.1.3}¹³ Die **Motion-Sensorik** findet ausschließlich auf dem Clientgerät statt. Sie benötigt keinerlei Server oder Daten von außerhalb des Gerätes. Sie belastet das Datenvolumen des Nutzes nicht.

Q_{M.1.4}¹⁴ Die **Motion-Sensorik** benötigt keinen Server, sie verursacht daher keinerlei Serverlast.

¹¹Gibt es wissenschaftliche Veröffentlichungen / Forschungen zum Thema:Machbarkeit einer Abweichungsanalyse im **ÖPNV**

¹²Kann die Technologie genutzt werden, ohne dass der Nutzer dafür mit der **App** interagieren muss.

¹³Wie stark belastet die Verwendung der Technologie das Datenvolumen des Nutzers?

¹⁴Wie stark belastet die Verwendung der Technologie den Server?

- Q_{M.1.5}¹⁵ Die **Motion-Sensorik** benötigt auf das Gerät einwirkende Kräfte, die sie messen kann; abgesehen davon werden keine Daten benötigt.
- Q_{M.1.5.1}¹⁶ Die **Motion-Sensorik** benötigt keine Daten des Nutzers. Sie erfasst jedoch die Art der Bewegung des Nutzers.
- Q_{M.1.5.2}¹⁷ Da für die **Motion-Sensorik** kein Server benötigt wird, werden auch keine Daten von einem Server benötigt.
- Q_{M.1.5.3}¹⁸ :: Die **Motion-Sensorik** dient der Erfassung von Daten des Nutzers. Diese sollen genutzt werden um Abweichungen zu erkennen. Sie verlassen das Gerät nicht und sind damit kein Datenschutz-Problem.
- Q_{M.1.6}¹⁹ Um Bewegungsarten zu erkennen muss ein Gerät in der Lage sein, die auf das Gerät einwirkenden Kräfte zu messen. Das bedeutet, dass das Gerät über eine **IMU**²⁰ verfügen muss.
- Q_{M.1.6.1}²¹ Bei iOS wird die Motion Ativity benötigt. Bei Android wird die “ `com.google.android.gms.permission.ACTIVITY_RECOGNITION` ” der Play Services benötigt.
- Q_{M.1.6.2}²² iOS Geräte benötigen mindestens den “M7 motion coprocessor”. Für Android konnten keine Angaben gefunden werden.
- Q_{M.1.6.3}²³ Bei iOS ist es für die Versionen iOS 7.0+ verfügbar, bei Android 2.3 und höher.
- Q_{M.2}²⁴ Bei iOS wird die **Motion-Sensorik** vom `CMMotionActivityManager` umgesetzt. Nach Apple²⁵: “Motion data reflects whether the user is walking, running, in a vehicle, or stationary for periods of time”. Die unterstützten Bewegungsarten sind `stationary`, `walking`, `running`, `automotive`, `cycling` und `unknown`. Das System gibt eine Schätzung der Bewegungsarten an. Wie sicher sich das System ist, wird durch die “Confidence” in den Stufen `Low`, `Medium` und `High` angegeben. Bei Android²⁶ wird die Motion-Sensorik vor der `ActivityRecognition` übernommen,

¹⁵Welche Daten werden benötigt?

¹⁶Welche Nutzerdaten werden benötigt?

¹⁷Welche Daten werden vom Server benötigt?

¹⁸Datensicherheit?

²⁰Eine Internal Measurement Unit bezeichnet eine Sammlung an Sensoren für gewöhnlich Beschleunigungssensoren ein 3D-Gyroskop und ein Magnetometer.

¹⁹Welche Technologievoraussetzungen gibt es?

²¹Welche Berechtigungen benötigt die **App**?

²²Welche Spezifikation muss das Gerät erfüllen?

²³Ab welcher Betriebssystemversion ist die Technologie verfügbar?

²⁵<https://developer.apple.com/reference/coremotion/cmmotionactivitymanager>

²⁶<https://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/DetectedActivity>

die die Bewegungsarten `IN_VEHICLE`, `ON_BICYCLE`, `ON_FOOT`, `RUNNING`, `STILL`, `TILTING`, `UNKNOWN` und `WALKING` erkennt. Auch bei Android handelt es sich um Einschätzungen mit einer “Confidence” die in Form einer Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 100 angegeben wird.

- **Geofencing**

QG.1.1²⁷ Um einen **Geofence** auf beiden Plattformen zu überwachen benötigen die Systeme die Koordinaten des Geofences und seinen Radius. Diese Daten müssen nicht vom Nutzer eingegeben werden. Es ist möglich Geofences zu überwachen, ohne dass der Nutzer mit der **App** interagieren muss.

QG.1.3²⁸ Die Überwachung von Geofences findet bei beiden Plattformen ausschließlich auf dem Smartphone statt. Für eine Abweichungsanalyse mussten die Radien und Koordinaten der Geofences zusätzlich übertragen werden. Die Daten, die die Apps vom Server laden, werden durch die zusätzlichen Daten nur geringfügig größer. Das Datenvolumen steigt dadurch nur minimal.

QG.1.4²⁹ **Geofencing** benötigt keinen Server. Der Server der Apps, die die Abweichungsanalyse anbieten sollen, müsste die Daten für die Geofences mitübertragen und somit mitverarbeiten. Je nach Umsetzung sind dies wenige Byte pro Haltestelle, damit steigt die Serverlast nur minimal.

QG.1.5³⁰ Für einen **Geofence** wird eine Koordinate sowie ein Radius benötigt. Der Radius könnte für die verschiedenen Arten an Haltestellen oder Verkehrsmittel standardisiert werden. Zum Beispiel könnten Bushaltestellen immer einem Radius von 50 Metern und Haltestellen von Zügen einen Radius von 200 Metern zugewiesen werden. In diesem Fall würde der individuelle Radius nicht mehr benötigt und müsste nicht mitgespeichert oder übertragen werden.

QG.1.5.1³¹ Die Position des Nutzers wird festgestellt. Das **Geofencing** benötigt keine Daten des Nutzers.

QG.1.5.2³² Die Geofences benötigen Koordinaten und Radien, um die Serverdaten erweitert werden müssen.

²⁴ Was ist **Motion-Sensorik**?

²⁷ Kann die Technologie genutzt werden, ohne dass der Nutzer dafür mit der **App** interagieren muss.

²⁸ Wie stark belastet die Verwendung der Technologie das Datenvolumen des Nutzers?

²⁹ Wie stark belastet die Verwendung der Technologie den Server?

³⁰ Welche Daten werden benötigt?

³¹ Welche Nutzerdaten werden benötigt?

³² Welche Daten werden vom Server benötigt?

QG.1.5.3³³ Das **Geofencing** lässt Rückschlüsse auf die Position des Nutzers zu. Über längere Zeit ließen sich Bewegungsmuster erstellen. Verlassen die Daten des Geofencings das Gerät nicht, entstehen keine datenschutzrechtlichen Probleme.

QG.1.6³⁴ Es wird ein GPS Sensor benötigt.

QG.1.6.1³⁵ Die Apps benötigen die Berechtigung die Position des Nutzers zu erfassen. Bei iOS wird für die Nutzung im Background eine Berechtigung benötigt. Android benötigt die Google Play Services.

QG.1.6.2³⁶ Ab dem iPhone 4 kann das **Geofencing** eingesetzt werden. Für Android konnten keine Hardware-Anforderungen gefunden werden. Es ist zu erwarten, dass nahezu alle Android Geräte zu diesem Zeitpunkt in der Lage sind das **Geofencing** zu nutzen.

QG.1.6.3³⁷ **Geofencing** ist ab iOS4 und ab Android 2.2 verfügbar.

QG.2³⁸ Bei iOS wird für das **Geofencing** das sogenannte “Region Monitoring” verwendet. Beim “Region Monitoring” werden Regionen definiert, die im System zur Überwachung registriert werden. Für das **Geofencing** wird eine `CLLocationCircularRegion` verwendet. Regionen können auch mit iBeacons erstellt werden, was als Beacon Monitoring bezeichnet wird und nicht zum **Geofencing** gehört. Regionen können für das Betreten und/oder das Verlassen überwacht werden. Android ist in der Lage neben dem Betreten und Verlassen auch zu erkennen, dass sich das Gerät zu Beginn des **Geofencing** in einem **Geofence** befindet³⁹.

QG.4⁴⁰ Bei Android und iOS können nur kreisförmige Geofences erstellt werden. Es gibt keine minimale Größe eines Geofences. Implementationstest des iOS-Prototypen zeigten, dass es möglich ist, einen **Geofence** mit nur einem Meter Durchmesser anzulegen. Er konnte jedoch nicht erkannt werden. Geofences mit einem Radius von 20 Metern konnten erkannt werden. Bei Android wird ein Radius von 100 Meter empfohlen.

QG.5⁴¹ Bei iOS können 20 Geofences gleichzeitig überwacht werden, bei Android sind es 100 Geofences.

³³Datensicherheit?

³⁴Welche Technologievoraussetzungen gibt es?

³⁵Welche Berechtigungen benötigt die App?

³⁶Welche Spezifikation muss das Gerät erfüllen?

³⁷Ab welcher Betriebssystemversion ist die Technologie verfügbar?

³⁹<https://developer.android.com/training/location/geofencing.html#RequestGeofences>

RequestGeofences

³⁸Was ist **Geofencing**? Welche Modi existieren? (on Entry, on Exit, Stay)

⁴⁰Wie klein kann ein **Geofence** sein? Welche Formen sind möglich?

⁴¹Wie viele Geofences können gleichzeitig gesetzt werden? Gibt es weitere Limitationen?

QG.5.1⁴² Die Implementierung des iOS-Prototypen für das **Geofencing** zeigte, dass der einundzwanzigste **Geofence**, der beim System für die Überwachung registriert wird, nicht überwacht wird. Ein Delegate-Pattern bietet die Möglichkeit auf einen derartigen Fall zu reagieren. Werden von dem Prototypen 20 Geofences überwacht, und eine andere **App** versucht Geofences anzulegen, werden die neuen Geofences nicht überwacht. Das bedeutet, wenn eine andere **App** alle "Plätze" für die **Geofence**-Überwachung beansprucht, keine anderen Apps Geofences zur Überwachung registrieren können. Wie dies bei Android geregelt ist, wird in weiterführenden Tests die nicht Teil diese Arbeit sind, geprüft.

QG.7⁴³ Während des Bearbeitens der Geofences, konnte beim Prototyp kein Unterschied in CPU- und RAM-Nutzung im Vergleich zum regulären Betrieb festgestellt werden.

- **Silent-Push**

QS.1.1⁴⁴ Das Silent steht bereits dafür, dass dem Nutzer die Pusch-Nachricht nicht angezeigt wird. Eine Interaktion des Nutzers ist damit nicht erforderlich.

QS.1.3⁴⁵ Eine **Silent-Push**-Nachricht ist maximal 2KB groß⁴⁶, das heißt, nach ca. 500.000 empfangenen **Silent-Push**-Nachrichten wäre ein Datenvolumen von 1GB aufgebraucht. Dies bezieht sich rein auf die **Silent-Push**-Nachrichten und berücksichtigt nicht, dass nach Erhalt der Nachricht Daten nachgeladen werden. Bei Android darf eine Push-Nachricht maximal 4kb groß sein.

QS.1.4⁴⁷ Die Server der Apps für die das Navigate Feature entwickelt wird, sind bereits in der Lage Push-Nachrichten zu senden. Eine Erweiterung um **Silent-Push**-Nachrichten senden zu können ist gering und eine relevante Steigerung der Last des Servers ist daher nicht zu erwarten.

QS.1.5⁴⁸ Um Push-Nachrichten empfangen zu können, benötigt das Smartphone eine Internetverbindung und einen Push-Server welcher die Nachrichten sendet.

⁴² Was passiert, wenn eine andere **App** parallel Geofences setzt?

⁴³ Wie stark belastet das Setzen/Löschen/Modifizieren von Geofences das Betriebssystem?

⁴⁴ Kann die Technologie genutzt werden, ohne dass der Nutzer dafür mit der **App** interagieren muss.

⁴⁶ <https://web.archive.org/web/20150314162108/https://developer.apple.com/library/mac/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/Chapters/ApplePushService.html>

⁴⁵ Wie stark belastet die Verwendung der Technologie das Datenvolumen des Nutzers?

⁴⁷ Wie stark belastet die Verwendung der Technologie den Server?

⁴⁸ Welche Daten werden benötigt?

- QS.1.5.1⁴⁹ Benutzerdaten sind für die Nutzung der [Silent-Push](#) Technologie nicht erforderlich.
- QS.1.5.2⁵⁰ Um eine Push-Nachricht an ein Smartphone zu schicken, benötigt der Server einen vom Smartphone erstellten Token.
- QS.1.5.3⁵¹ Der Token könnte dem Gerät zugeordnet werden, damit können weitere Daten des Nutzers erfasst werden.
- QS.1.6⁵² Das Smartphone sollte fähig sein mobil auf das Internet zuzugreifen und die URL des Push-Servers kennen.
- QS.1.6.1⁵³ iOS benötigt Berechtigungen für Notifications, Background fetch und Mobile Daten. Bei Android werden keine Berechtigungen benötigt.
- QS.1.6.2⁵⁴ Die einzige Anforderung, die das Gerät erfüllen muss: Es muss mobil auf das Internet zugreifen können.
- QS.1.6.3⁵⁵ iOS 7⁵⁶, Android 4.0⁵⁷

6.3 Batterie Referenz Verbrauch

Der Batterieverbrauchstest wurde auf einem iPhone 6s durchgeführt, welches als Testgerät iPhone6sNr2 bezeichnet wird. Da es nicht möglich ist, die Kapazität des Geräteakkus ohne bauliche Veränderung direkt zu messen, wurde die Veränderung des vom Betriebssystem bereitgestellten Batterie-status beobachtet. Abbildung 6.1 zeigt den Batteriestatus des iPhone6sNr2 während des Testes. Um von 100% auf 0% zu fallen, benötigte das Testgerät 2 Tage 23 Stunden 36 Minuten und 27 Sekunden. Was einem Abfall von 1.3965% des Akkustandes pro Stunde entspricht.

Die Nächte in denen der Batterietest keine Aktivität vorgesehen hat, lassen sich an den kontinuierlichen Abfällen in den Zeitintervallen ($12.92 < t < 23.59$) ($35.67 < t < 35.67$) und ($59.64 < t < 71.6$) der Testzeit erkennen. Die aus dem Test resultierenden Referenzverbräuche sind in Tabelle 6.9 aufgeführt.

So ist während des Testes tagsüber der Batteriestand durchschnittlich pro Stunde um 2,788337% gefallen, nachts um 0,66550926%.

⁴⁹ Welche Nutzerdaten werden benötigt?

⁵⁰ Welche Daten werden vom Server benötigt?

⁵¹ Datensicherheit?

⁵² Welche Technologievoraussetzungen gibt es?

⁵³ Welche Berechtigungen benötigt die [App](#)?

⁵⁴ Welche Spezifikation muss das Gerät erfüllen?

⁵⁶ <https://developer.apple.com/library/content/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/CreatingtheNotificationPayload.html>

⁵⁷ <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/android/client>

⁵⁵ Ab welcher Betriebssystemversion ist die Technologie verfügbar?

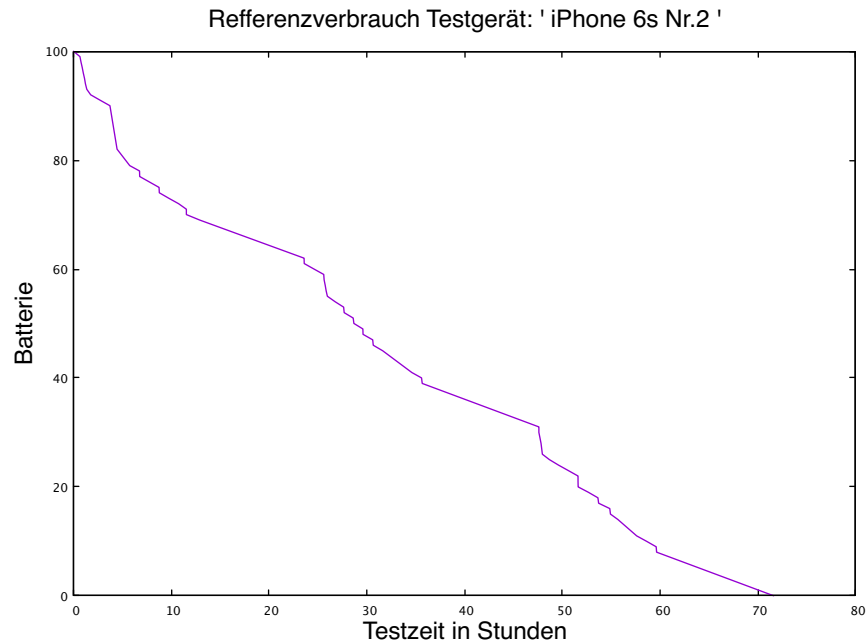


Abbildung 6.1: Energieverbrauch des Testgerätes(Je steiler desto höher der Energieverbrauch)

Tabelle 6.9: Referenz Batterieverbruch(prozentuler Batteriezustand pro Stunde)

	Tag	Nacht	Gesamt
Referenzverbrauch	2.0788337	0.66550926	1.3965012

Diesen Abfall pro Stunde soll als Näherung des Energieverbrauches angesehen werden und wird weiterhin als Referenz für den Batterieverbrauch verwendet, um den Energieverbrauch der Technologien abzuschätzen.

6.4 Motion-Sensorik

Für den [Motion-Sensorik](#)-Test wurden in den verschiedenen Verkehrsmitteln je zwei Tests durchgeführt. Im ersten Test wurde während das Fahrzeug fuhr gegangen. Der zweite Test wurde sitzend durchgeführt. Der Prototyp mit dem getestet wurde, speichert die vom System erkannte Bewegungsart mit dem Präfix "AUTO_" und die Eingaben des Testers mit dem Präfix "USER_". Um die Bewegungsart schnell eingeben zu können verfügt er über Buttons, welche die Bewegungsart mit dem weiteren Präfix "Button_" speichern. Für weitere Informationen ist es möglich einen Text zu speichern, der mit dem weiteren Präfix "INPUT_" versehen wird. Die Geschwindigkeit, die das System ermittelt, wurde gespeichert. Jedoch waren die einzigen

Werte, die durch das System erfasst wurden in Bus, Tram und U-Bahn 0 Meter pro Sekunde und im Zug 0.76 Meter pro Sekunde. In weiterer Internetrecherche wurden ähnliche Berichte gefunden. Die am häufigsten beschriebene Lösung ist die Geschwindigkeit selbst zu berechnen. Da im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden sollte welche Informationen das System der [App](#) direkt zur Verfügung stellt, wurde dieser Ansatz nicht umgesetzt.

6.4.1 DONE Batterieverbrauch

Während des [Motion-Sensorik](#)-Test fiel der Batteriestand um 5.6% in der Stunde. Verglichen mit dem Referenzverbrauch ist das mehr als 4 mal so hoch (siehe [Abbildung 6.2](#)).

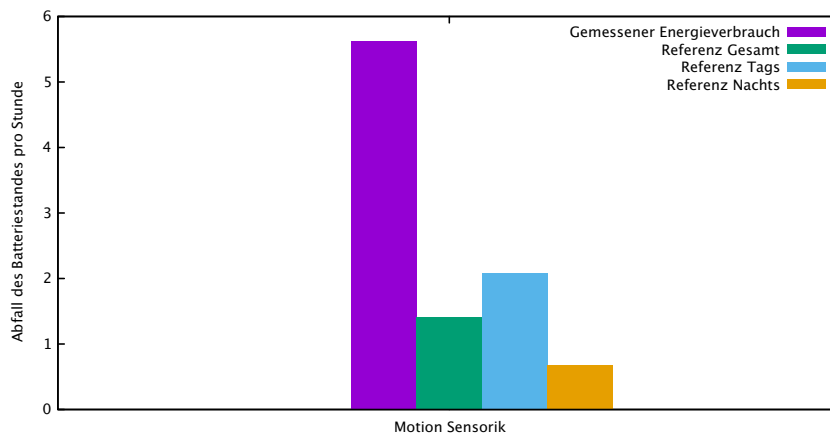


Abbildung 6.2: Gemessener stündlicher Batterie-Verbrauch bei der [Motion-Sensorik](#)

6.4.2 DONE Zug

Geh Test

Während der Zugfahrt wurde neben der erwarteten Bewegungsart `walk` die Bewegungsart `automotive` erkannt, diese Bewegungsart steht normalerweise für eine Autofahrt. Auffallend ist, dass es mehr als zwei Minuten dauerte, bis die Bewegungsart `walk` erkannt wurde. Alle während des Geh-Testes gespeicherten Einträge und erkannten Bewegungsarten sind in [Tabelle 6.10](#) aufgelistet.

Tabelle 6.10: Festgehaltene Bewegungsarten während in der Zug gegangen wurde

Zeit	activity	confidence	applicationState
16:03:41	USERINPUTzug fahrt		active
16:03:47	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
16:03:55	USERINPUTbeginne gehstest		active
16:03:58	USERBUTTONTrain		active
16:03:59	USERBUTTONwalk		active
16:06:22	AUTO _{automotive}	ConfidenceMedium	active
16:06:27	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
16:06:44	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
16:06:51	USERBUTTONno move		active
16:06:52	USERINPUTthatestelle		active

Sitz Test

Die Bewegungsarten *stationary* für keine Bewegung und *automotive*, welche Autofahrten repräsentiert, wurden während des Testes erfasst in dem während der Fahrt gegessen wurde. Wie bei dem Geh-Test hat sich die Bewegungsart kaum geändert. Tabelle 6.11 zeigt die aufgezeichneten Bewegungsarten während des Sitz-Testes. Die drei Einträge, die die vom System erkannten Bewegungsarten repräsentieren, liegen zeitlich sehr nah beieinander. Eine Auffälligkeit bei diesem Test ist, dass nach dem Eintrag “ausstieg linden fischerhof” der Zug gehend verlassen wurde, der Test erst auf dem Bahnsteig beendet wurde und vom System keine weitere Bewegung erkannt wurde.

Tabelle 6.11: Festgehaltene Bewegungsarten während im Zug gegessen wurde

Zeit	activity	confidence	applicationState
16:06:52	USERINPUTthatestelle		active
16:06:54	USERBUTTONTrain		active
16:06:58	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
16:07:00	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
16:07:06	USERINPUTsitze		active
16:07:11	USERBUTTONno move		active
16:07:15	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
16:11:03	USERINPUTausstieg linden fischerhof		active
16:11:05	USERBUTTONwalk		active
16:11:18	USERBUTTONno move		active
16:11:23	USERINPUTendetest		active

An Hand der erfassten Daten ist es nicht möglich Muster zu erkennen, welche genutzt werden können, um das Fahrzeug zu erkennen. Damit muss

Frage **Q_{M.3}**⁵⁸ mit nein beantwortet werden. Es ist mit den Daten des Systems nicht möglich einen Zug zu identifizieren. Die Ein- und Ausstiege können ebenfalls nicht erkannt werden. Für die Metrik der **Motion-Sensorik** können daher keine Punkte vergeben werden.

6.4.3 DONE U-Bahn

Geh Test

Tabelle 6.12 gibt den Verlauf des Geh-Tests während der U-Bahnfahrt wieder. Nach der zweiten Haltestelle wurde mehrere Male die Bewegungsart **stationary** erkannt. Während dieser Messungen war die U-Bahn stark frequentiert, so dass ein flüssiges Gehen nicht mehr möglich war. Die kurzen Unterbrechungen, um Passanten auszuweichen, scheinen in diesem Fall ausgereicht zu haben, um immer wieder vom System erkannt zu werden.

Sitz Test

Im Gegensatz zu den Tests der anderen Verkehrsmittel wurde in der unterirdisch verlaufenden U-Bahn die Bewegungsart **automotive**, sowohl beim gehenden als auch beim sitzenden Test, nicht erkannt. In Tabelle 6.13, die den Sitz-Test für die U-Bahn wiedergibt, ist zu erkennen, dass Ein- und Ausstiege nicht verlässlich erkannt werden können. Die letzte vom System erkannte **walking** Bewegungsart wurde vor dem Betreten der U-Bahn erkannt. Die Geh-Bewegung beim Betreten und Verlassen der U-Bahn wurden nicht erkannt.

Die U-Bahn als Fahrzeug konnte nicht erkannt werden. Ebenso konnte das Ein- und Aussteigen nicht erkannt werden, für die Metrik können keine Punkte vergeben werden.

6.4.4 DONE Bus

Geh Test

Tabelle 6.15 zeigt die Bewegungsarten, die beim Gehen während der Busfahrt erkannt wurden. Auffällig bei den Tests, die im Bus durchgeführt wurden, ist, dass es wesentlich mehr Messungen durch vom System induzierte Aktualisierungen der Bewegungsart gibt. Diese erhöhte Anzahl an Messungen ist auf die im Vergleich zu den schienenengebundenen Fahrzeugen starken Bewegungen des Busses zurückzuführen.

⁵⁸Gibt es eine Möglichkeit, die **Motion-Sensorik** für die Erkennung des Modus "Zug" zu nutzen?

Sitz Test

Im Gegensatz zu den schienengebundenen Fahrzeugen zeigen die vom System erkannten Bewegungsarten während des Sitzens im Bus ein erkennbares Muster. Die Bewegungsarten **stationary** und **automotive** wurden in diesem Test in wenigen Sekunden abwechselnd und sehr oft alternierend erkannt. So scheinen diese Wechsel charakteristisch zu sein für eine Fahrt mit dem Bus.

Es konnte ein Muster welches zur Identifikation des Fahrzeugs Bus gefunden werden. Daher kann für die Metrik der 1. Punkt vergeben werden. Auch wenn nach dem Verlassen die Bewegungsart **automotive** erkannt wurde, werden zwei Punkte für die Metrik vergeben. Durch das Muster zum Erkennen des Busses, kann man auf das Einsteigen und Aussteigen schließen.

6.4.5 DONE Tram

Während des Testes in der Tram fielen die Bahnen wegen technischer Störung kurzzeitig aus. Um den Batterietest durch den Ausfall nicht zu sehr zu verfälschen wurde das Testgerät zwischen Bekanntgabe der Störung und dem Eintreffen der ersten Bahn nach der Störung abgeschaltet.

Geh Test

Tabelle 6.19 listet die Messungen des Tram-Tests auf. Bei diesem Test wurde die Bewegungsart **automotive** erkannt, welche beim U-Bahn-Test nicht erkannt wurde. In Hannover, wo die Tests durchgeführt wurden, fahren die gleichen Fahrzeuge sowohl als Tram als auch als U-Bahn. Es fällt auf, dass die Bewegungsart **automotive** nicht unterirdisch erkannt wurde.

Sitz Test

Die Messungen des Sitz-Tests in der Tram sind in Tabelle 6.20 aufgelistet. Auffällig ist, dass die Bewegungsart **stationary** erst nach dem Ausstieg aus der Tram erfasst wurde. Die Bewegungsart **automotive** wurde erkannt nachdem das Fahrzeug verlassen wurde und während der Test stehend beendet wurde. Für Q_M⁵⁹ lautet die Antwort, dass die Technologie nicht verlässlich in einem Umsetzungskonzept, welches die Anforderungen erfüllt, eingesetzt werden kann.

Weder Ein- und Ausstieg noch das Fahrzeug konnten erkannt werden, daher können keine Punkte für die Metrik vergeben werden.

Die Metrik für die **Motion-Sensorik** ergibt 3 von 12 Punkten, ein sehr schlechtes Ergebnis. Die Antwort auf Frage Q_{M.4}⁶⁰ ist, dass es mit den Daten

⁵⁹Kann die **Motion-Sensorik** für ein Umsetzungskonzept, welches die Anforderungen erfüllt, genutzt werden?

⁶⁰Für das Umsetzungskonzept, wofür verwendbar in den verschiedenen Modi, insbesondere Zug/Bahn?

des Systems nicht möglich ist alle Fahrzeuge zu identifizieren. Lediglich für den Bus, wenn mit ihm im Sitzen gefahren wurde, konnte ein Muster identifiziert werden. Für ein Umsetzungskonzept ist diese nur als eine zusätzliche, nicht sehr verlässliche Information zu gebrauchen. Dadurch, dass die gemessene Geschwindigkeit nicht zu verwenden war, fehlen wichtige Informationen.

6.5 Silent-Push

Der **Silent-Push** Test wurde auf den privat genutzten Testgeräten **ihe**, **sbax** und **skok** durchgeführt. Um den Batterie Energieverbrauch zu bestimmen wurde das Testgerät **iPhone6sNr2**, für das in 6.3 ein Referenzverbrauch bestimmt wurde, verwendet. Das Push-Script, welches die **Silent-Push**-Nachrichten zu den einzelnen Testgeräten sendet, wurde auf einem Computer ausgeführt, der weiterhin als Testserver bezeichnet wird.

6.5.1 DONE Batterieverbrauch

Die erste Messung, während des **Silent-Push** Testes, des **iPhone6sNr2** wurde am 09.06.2017 um 18:31:37 Uhr vorgenommen, die letzte am 11.06.2017 um 11:50:39 Uhr. Dies bedeutet, dass das Testgerät 100% der ihm zur Verfügung stehenden Energie in 1 Tag, 17 Stunden, 19 Minuten und 2 Sekunden verbraucht hat. Damit fiel der Batteriestand des Testgerätes während des Testes pro Stunde um 2.398%. In Abbildung 6.3 wird dieser ermittelte Energiebedarf mit den Referenzenergieverbrauch verglichen. So ist der Energieverbrauch im Vergleich zum gesamten Referenzverbrauch 1,7 mal so hoch. Da das Gerät während des Tests nicht genutzt wurde, somit das Display nicht genutzt wurde, ist der Vergleich mit dem nachts gemessenen Referenzverbrauch realistisch. Verglichen mit dem Referenzverbrauch in der Nacht verbrauchte das Testgerät fast vier mal soviel Energie.

6.5.2 DONE Nachrichten Analyse

Im Laufe des Testes wurden an die 4 Testgeräte 15.122 **Silent-Push**-Nachrichten versendet. In Tabelle 6.21 sind die gesendeten und empfangenen **Silent-Push**-Nachrichten aufgelistet. Mit dem Testgerät **iPhone6sNr2** wurde der Energiebedarf bestimmt. Nachdem es herunterfuhr wurde es nicht wieder eingeschaltet. Ab diesem Zeitpunkt konnte es keine Nachrichten mehr empfangen. Das bedeutet von den 3.783 Nachrichten, die zu dem Testgerät versandt wurden, hätte es 2.483 Nachrichten empfangen können. In der Tabelle werden deshalb beide Werte, vom **iPhone6sNr2** empfangene und die gesendeten **Silent-Push**-Nachrichten betrachtet. Während das Testgerät **iPhone6sNr2** Nachrichten empfangen konnte, wurden 612 Nachrichten

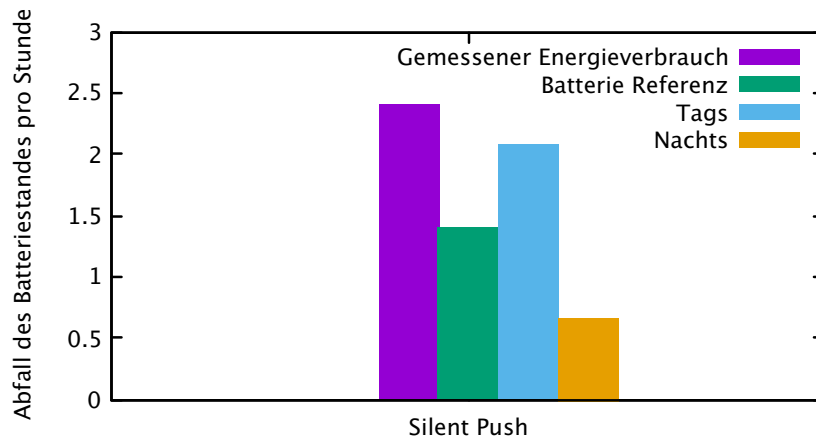


Abbildung 6.3: Gemessener stündlicher Batterie-Verbrauch beim [Silent-Push](#)

empfangen; dies entspricht 16,18% der gesendeten Nachrichten und 24,65% der Nachrichten für die der Empfang möglich war.

Insgesamt fällt der mit 55.93% sehr hohe Anteil der nicht empfangenen Nachrichten auf. In der API von iOS wird jedoch die Übermittlung der Nachrichten nicht garantiert. Außerdem geht aus der API hervor, dass der Dienst(APN), der hinter der Push Technologie steht, Vorkehrungen gegen Denial of Service-Attacken(DoS) trifft. Um eine genauere Aussage über das Verhalten der Push-Nachrichten-Übertragung treffen zu können, wurden in den Abbildungen 6.4 - 6.6 die empfangenen Nachrichten für jede Stunde des Testes aufgelistet.

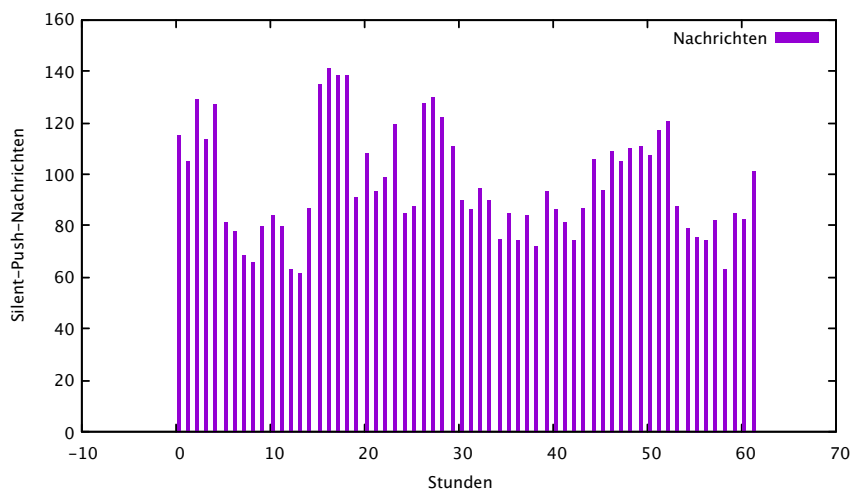


Abbildung 6.4: Stündlich empfangene Nachrichten aller Testgeräte

Im Histogramm für alle Testgeräte Abbildung 6.4 ist ersichtlich, dass die für vier Testgeräte bei einer Nachricht pro Minute möglichen 240 Nachrichten in der Stunde nie erreicht werden. Bestenfalls werden mehr als die Hälfte der möglichen Nachrichten empfangen. Über die gesamte Testzeit wurden Nachrichten empfangen, welches nicht dafür spricht, dass der Dienst die Nachrichtenübertragungen für den sendenden Testserver, im Sinne einer DoS Prävention, einstellt.

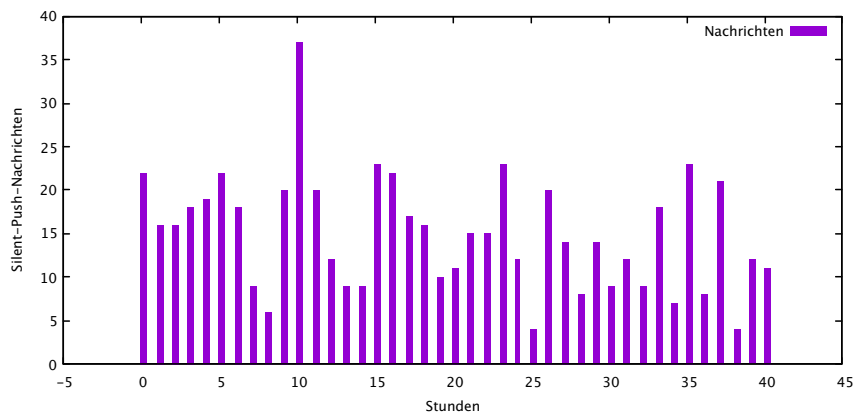


Abbildung 6.5: Stündlich empfangene Nachrichten des Testgerätes iPhone6sNr2

Die Histogramme der einzelnen Testgeräte wurden betrachtet, um weitere Aussagen über die geringe Empfangsquote treffen zu können. Für das Testgerät **iPhone6sNr2** 6.5 ist keine Regelmäßigkeit erkennbar.

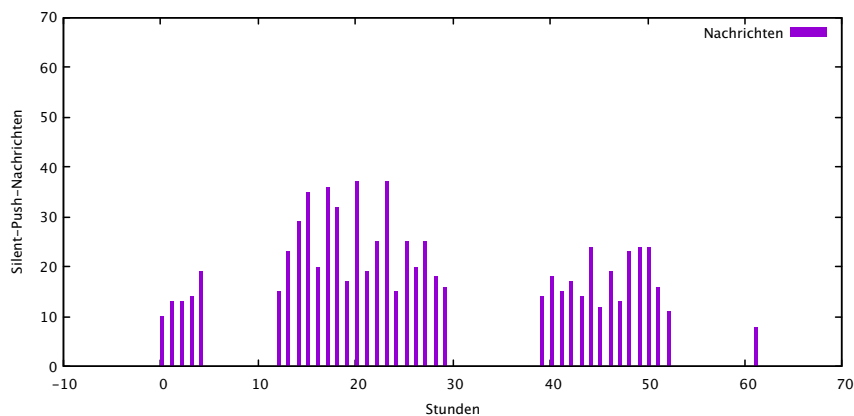


Abbildung 6.6: Stündlich empfangene Nachrichten des Testgerätes skok

Das Testgerät **skok** hat zwischen der 5. und 13., 30. und 40. so wie zwischen der 53. und 62. Stunde des Testes keine Nachrichten empfangen. Diese Unterbrechungen entsprechen den Zeitintervallen 23 Uhr - 6 Uhr, 1 Uhr

- 10 Uhr und 1 Uhr - 9 Uhr. Es entsteht der Verdacht, dass während der Nächte die Übertragung eingeschränkt wird. Diese Vermutung wird jedoch von den Histogrammen der anderen Testgeräte, die privat genutzt wurden, nicht gestützt. Auf Nachfrage bestätigte die testende Person, dass sie während der Nacht ihr Telefon in den Flugzeugmodus versetzt.

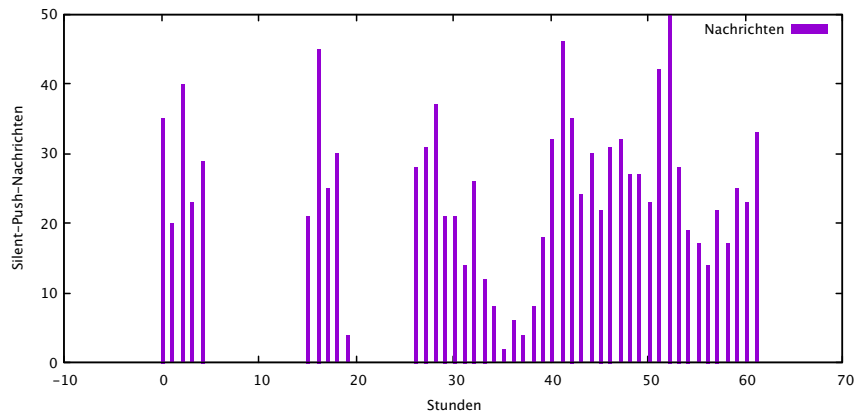


Abbildung 6.7: Stündlich empfangene Nachrichten des Testgerätes ihe

Beim Testgerät **ihe** 6.7 sind ähnliche Einbrüchintervalle in der Empfangsrate zu erkennen, von denen das erste und größte Intervall 23 Uhr - 09 Uhr, ebenfalls der Nacht zugeordnet wird. Das Zweite dieser Intervalle liegt zwischen 14 Uhr und 20 Uhr, danach wurden Nachrichten während der Nacht empfangen.

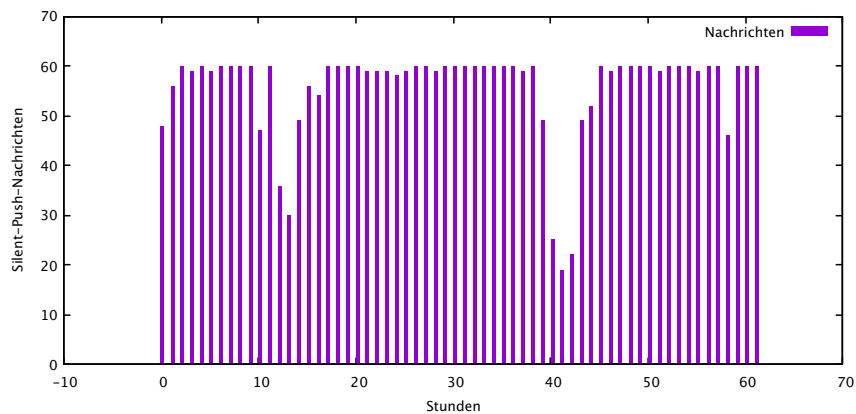


Abbildung 6.8: Stündlich empfangene Nachrichten des Testgerätes sbax

Bei dem letzten Testgerät **sbax** wurden mit 92.75% die meisten der gesendeten Nachrichten empfangen (siehe Abbildung 6.8). Da auf diesem Gerät im Gegensatz zu den anderen alle der 60 verschickten Nachrichten empfangen wurden, ist davon auszugehen, dass der Grund für die Verluste

bei den einzelnen Geräten zu suchen ist.

Die genaue Klärung wie diese Verlustrate entsteht ist in zukünftigen Untersuchungen zu klären.

***nn** DONE Übertragungszeiten

Die Untersuchung der Übertragungszeiten war eines der Hauptziele dieses Tests. Wie sich die Übertragungszeiten der von allen Testgeräten empfangenen 6092 Nachrichten verteilen, ist im Histogramm 6.9 ersichtlich.

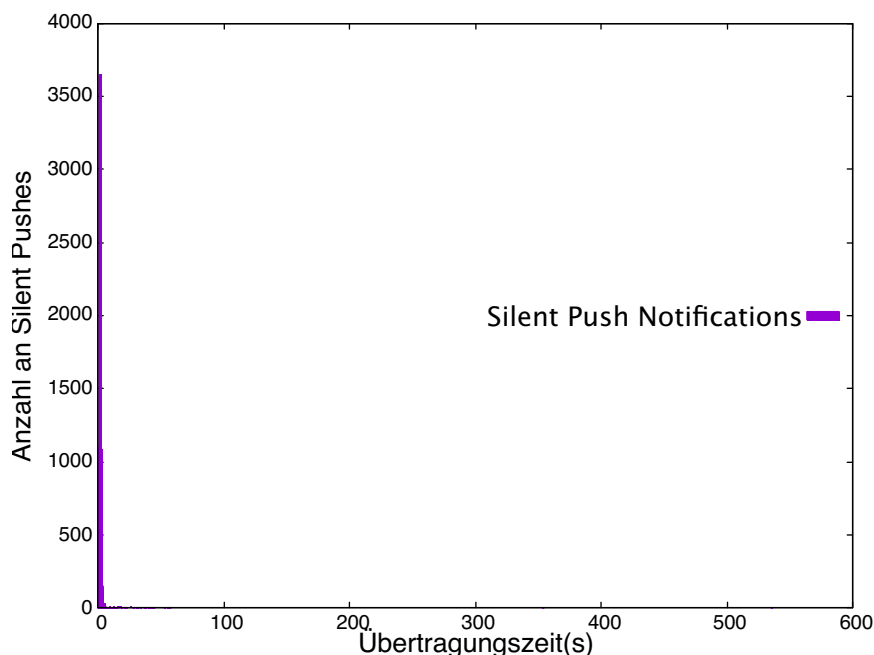


Abbildung 6.9: Überprtragszeiten Aller Testgeräte

Auffällig am Histogramm ist, dass die Abszissenachse bis zu 600 Sekunden reicht. Hervorgerufen durch einzelne Nachrichten mit langen Übertragungszeiten. Die Mehrheit der **Silent-Push**-Nachrichten wurde in weniger als Zehn Sekunden übertragen. Dies zeigt, dass die Übertragungszeiten sehr weit gestreut sind. Die hohen Anzahlen an Nachrichten, die in wenigen Sekunden übertragen wurden, zeigt, dass nur sehr wenige der Nachrichten eine derart lange Übertragungszeit benötigen.

Um diese Streuung genauer zu untersuchen, wurden die Histogramme der einzelnen Testgeräte betrachtet.(siehe Abbildung 6.10). Wie zu erkennen ist, sind alle **Silent-Push**-Nachrichten der Testgeräte **iPhone6sNr 6.10a**, **ihe 6.10b** und **skok 6.10d** in weniger als 60 Sekunden übertragen worden, die Mehrzahl in unter 10 Sekunden.

Einzig bei dem Testgerät **sbax 6.10c** benötigten zwei Nachrichten länger als 60 Sekunden, eine benötigte 535 Sekunden, die andere 354 Sekunden um das Testgerät zu erreichen(siehe Tabelle 6.22).

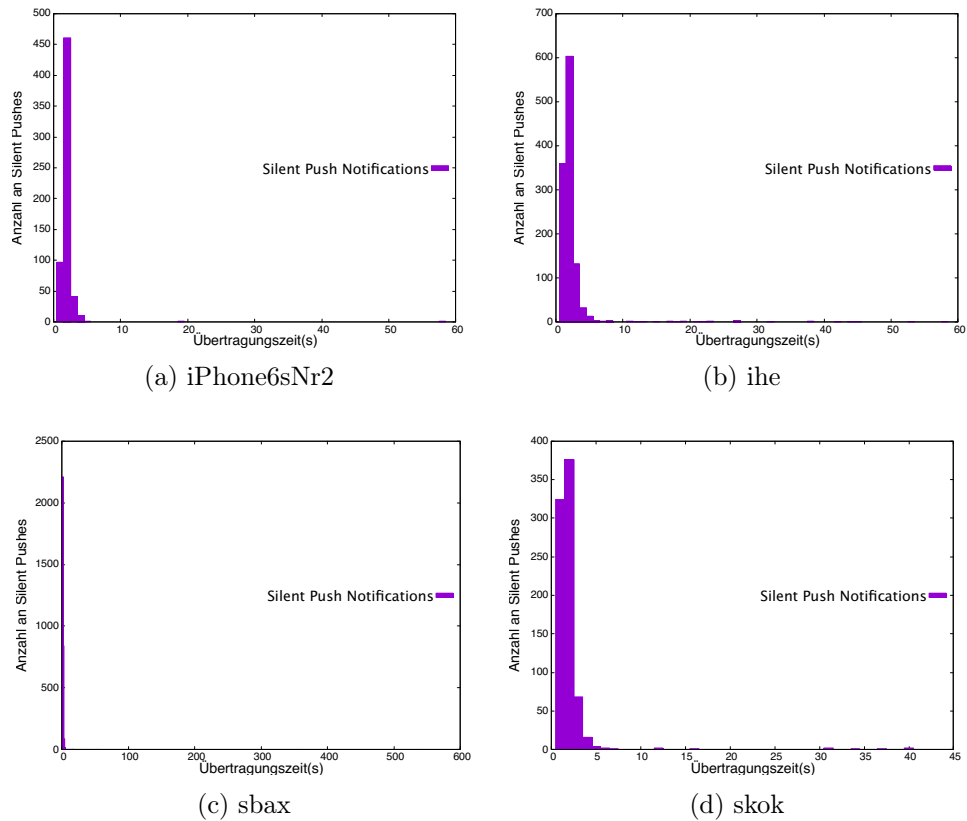


Abbildung 6.10: Übertragungszeiten zu den einzelnen Testgeräten

Bei 6.092 empfangenen Nachrichten bedeutet dies, dass 0.0003% der Nachrichten in mehr als einer Minute übertragen wurden. In [Abbildung 6.13](#) werden die 6.090 Nachrichten, die innerhalb einer Minute übertragen wurden, betrachtet. Da sich die Messungen der Testgeräte **iPhone6sNr**, **ihe** und **skok** nicht verändert, haben wirkt sich diese Reduktion des Wertebereichs und der Messdaten nur auf das Histogramm des Testgerät **sbax** [6.11b](#) sowie das aller Testgeräte [6.11a](#) aus. Es lässt sich klar erkennen, dass auch bei dem Testgerät **sbax** die Mehrheit der Nachrichten in weniger als 10 Sekunden übermittelt wurden.

Um besser verdeutlichen zu können, wie sich die Übertragungszeiten, die kleiner als 10s sind, verhalten, werden in den die [Abbildungen 6.12 - 6.13d](#) die Verteilungen der Übertragungszeiten von weniger als 10 Sekunden dargestellt.

Wie zu sehen ist sind 99% der Übertragungen in unter 10 Sekunden erfolgt. Bei allen Testgeräten dauerten die meisten Übertragungen 2 Sekunden.

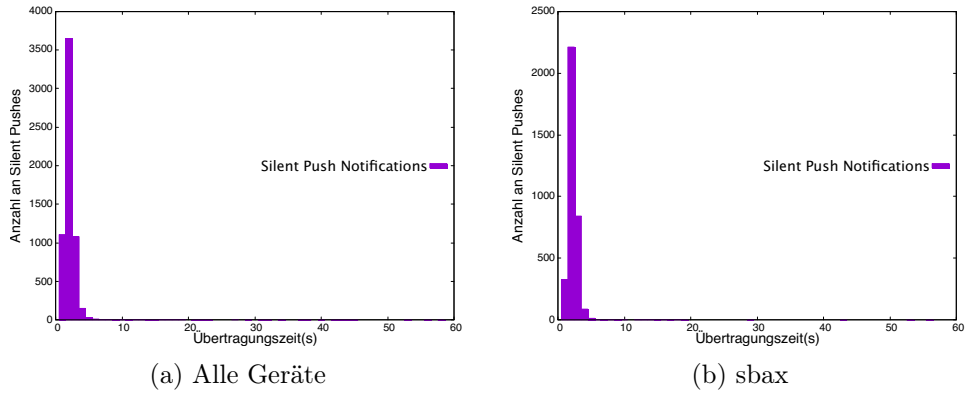


Abbildung 6.11: Empfangene Silent Push Nachrichten mit einer Übertragungszeit von weniger als 60 Sekunden.

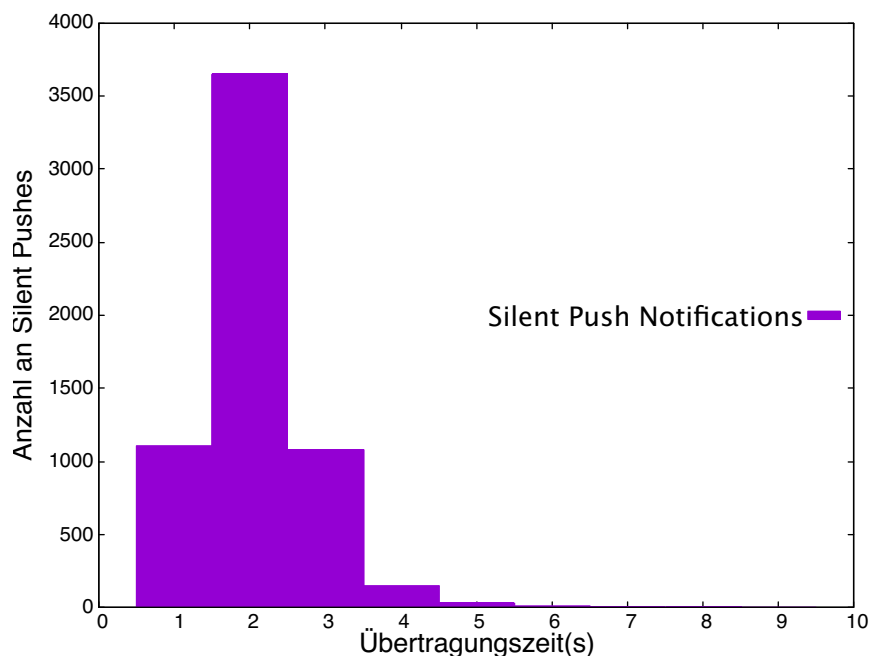


Abbildung 6.12: Empfangene Silent Push Nachrichten aller Testgeräte mit einer Übertragungszeit von weniger als 10 Sekunden

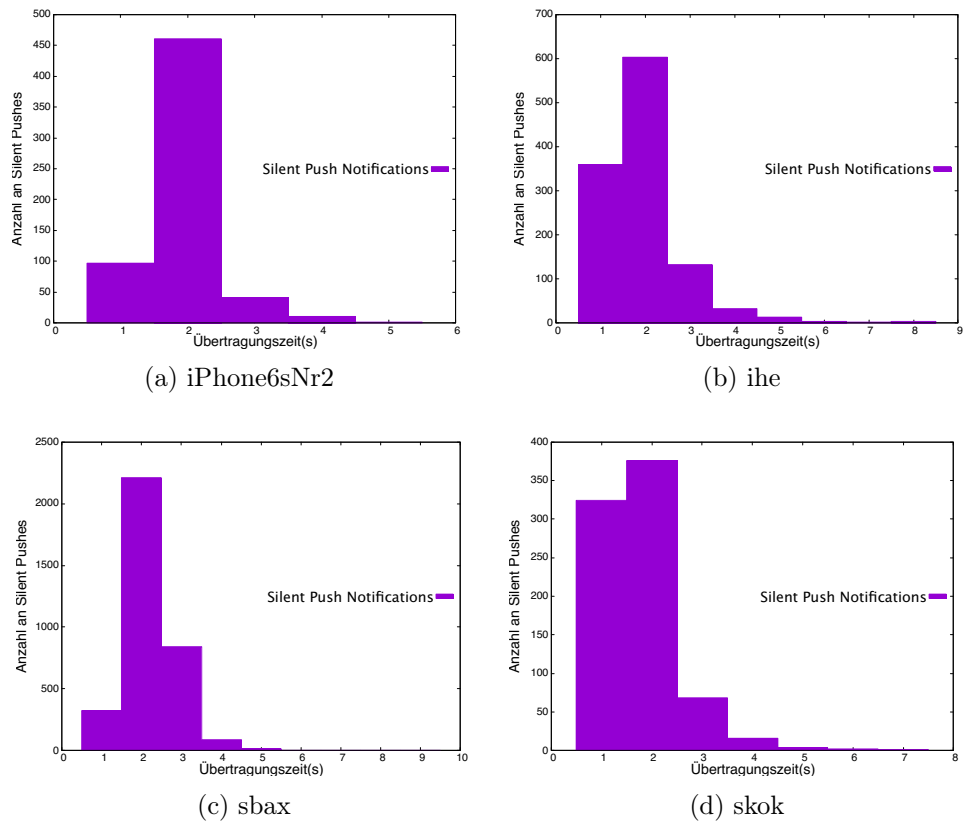


Abbildung 6.13: Übertragungszeiten zu den einzelnen Testgeräten

6.5.3 DONE Ausführungszeittest

Die gemessenen Ausführungszeiten sind in Tabelle 6.24 aufgelistet. Sie zeigen, dass die Mehrheit der Ausführungszeittests 30 Sekunden lief, dieser Wert in Einzelfällen aber auch unterschritten wird.

Mit diesen Ergebnissen ist es nicht möglich Frage **Q_{S.2}**⁶¹ eindeutig zu beantworten. Anhand der großen Rate von nicht zugestellten Nachrichten kann ein Verfall der Push-Nachrichten angenommen werden. Zusätzlich ist hervorzuheben, dass Apple's APN Service nicht für die Zustellung wichtiger Informationen gedacht ist⁶². Zu **Q_{S.3}**⁶³, kann **Silent-Push** genutzt werden, um Informationen nachzuladen: **Silent-Push** kann in jedem Zustand der **App** genutzt werden, was **Q_{S.4}**⁶⁴ beantwortet. Abschließend ist für **Q_S**⁶⁵ zu sagen, dass durch die gemessene hohe Verlustrate die Technologie für ein Umsetzungskonzept nicht genutzt werden kann.

6.6 Geofencing Tests

Für die **Geofence**-Tests wurde das Testgerät **iPhone6sNr2** verwendet. Während des Tests im Fernverkehr stellte sich heraus, dass die Geofences sehr viel schlechter erkannt werden, wenn die **App** sich im Background befindet. Die Verwendung der Geofences, während sich die **App** im Background befindet, ist ein essenzieller Bestandteil der Anwendungsfälle des Konzeptes. Daher wurde der Fernverkehrstest ein zweites Mal durchgeführt, mit der **App** im Background, um die Unterschiede aufzuzeigen.

6.6.1 DONE Batterieverbrauch

In den Tests wurde der Energieverbrauch für den Einsatz im Nahverkehr sowie im Fernverkehr ermittelt; für den Fernverkehr, für die normale Nutzung und die Verwendung mit der **App** im Background.

Im Nahverkehr fiel der Batteriezustand des Testgerätes um 4.11 Prozentpunkte in der Stunde. Verglichen mit dem Referenzverbrauch des Gerätes war der Verbrauch während des Geofencetestes in Bus, Tram und U-Bahn mehr als drei mal so hoch, wie der insgesamt gemessene Referenzverbrauch. Verglichen mit dem am Tag gemessenen Anteil des Referenzverbrauches ist der Verbrauch lediglich doppelt so hoch(siehe Abbildung 6.14).

⁶¹Verfällt eine Push-Nachricht?

⁶²https://developer.apple.com/library/content/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/APNSOverview.html#apple_ref/doc/uid/TP40008194-CH8-SW1

⁶³Kann **Silent-Push** genutzt werden, um Informationen nachzuladen?

⁶⁴Ist **Silent-Push** in jedem Zustand der **App** verfügbar?

⁶⁵Kann **Silent-Push** für ein Umsetzungskonzept, welches die Anforderungen erfüllt, genutzt werden

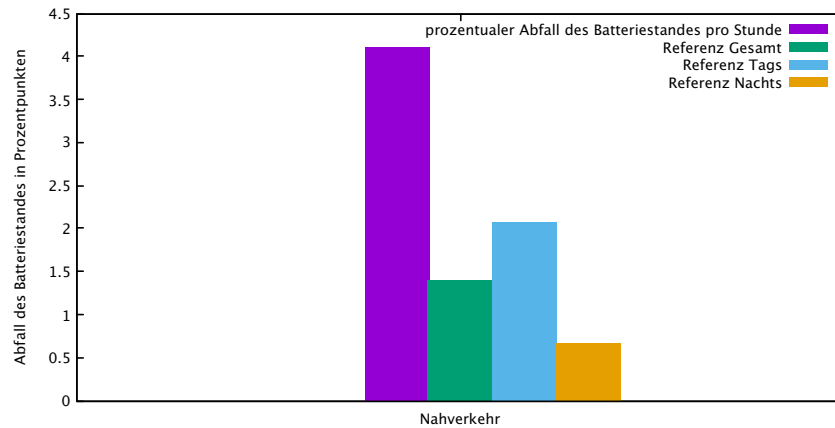


Abbildung 6.14: Stündlicher Batterie-Verbrauch beim Geofencing im Nahverkehr

Im Fernverkehrstest wurde die eingestellte Genauigkeit reduziert (siehe Abbildung 6.15). Dadurch sinkt der Energiebedarf. Ab der eingestellten Genauigkeit Kilometers ist der gemessene Mehrverbrauch durch den Einsatz der Technologie so gering, dass verglichen mit dem gesamten Referenzverbrauch beide als gleich angenommen werden können. Der Verbrauch über den gesamten Testzeitraum lag bei 7.08%. Damit war er ca. 5 mal so hoch wie der gesamte Referenzverbrauch, mehr als dreimal so hoch wie der Referenzverbrauch während des Tages. Dieser Verbrauch stellt eine sehr geringe Nutzung des Smartphones dar.

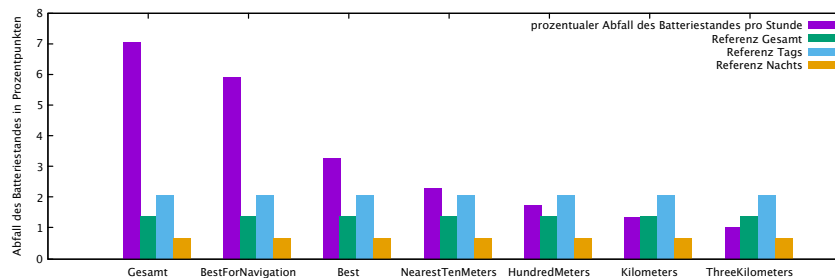


Abbildung 6.15: Stündlicher Batterie-Verbrauch beim Geofencing im Fernverkehr(active)

Für den Energieverbrauch des Geofencing im Background sind die Ergebnisse der einzelnen Genauigkeiten, zu sehen in Abbildung 6.16, nicht repräsentativ. Es wurden nur wenige Geofences erkannt und damit auch nur wenige Batteriestände aufgezeichnet. Die starken Unterschiede in den Verbräuchen und das Fehlen des erwarteten erkennbaren Abfalls der Verbräuche, der mit der Verringerung der Genauigkeit einhergehen sollte, lässt an

der Aussagekraft der einzelnen Verbräuche Zweifel aufkommen. So ist nicht anzunehmen das die Technologie für die Genauigkeiten **BestForNavigation**, **Best** und **HundredMeters** keine Energie verbraucht. Ebenso ist der sehr hohe Verbrauch mit eingestellter Genauigkeit **Kilometers** von 9.37% in der Stunde nicht mit dem wirklichen Verbrauch gleichzusetzen.

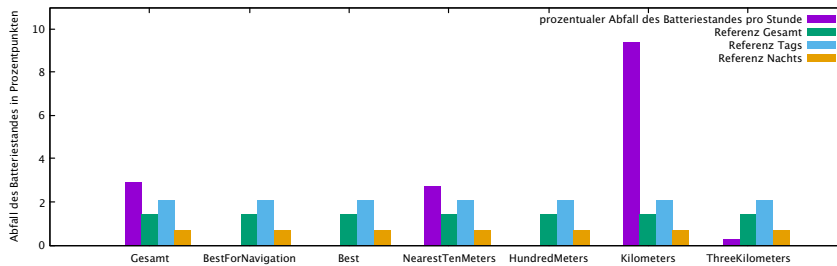


Abbildung 6.16: Stündlicher Batterie-Verbrauch beim Geofencing im Fernverkehr(background)

Die einzelnen Verbräuche errechnen sich aus den einzelnen Batteriestatus, die vom Betriebssystem den Apps zur Verfügung gestellt werden. Eine Erklärung für die Ungenauigkeit ist, dass die API keine Garantie für die Genauigkeit des Batteriestatuses gibt. Wie oft das System den Status aktualisiert und ob der Zustand der App einen Einfluss auf den Batteriestatus und seine Aktualisierung hat, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Es wird daher angenommen, dass das System während das Smartphone nicht genutzt wird, den Batteriestatus nicht regelmäßig aktualisiert. Wenn an den Erdstationen das Smartphone aktiviert wurde, um die Genauigkeit zu reduzieren, scheint eine Aktualisierung des Batteriestatuses nur sporadisch zu erfolgen. Der gesamte Verbrauch wird im Gegensatz zu denen der einzelnen Genauigkeiten als repräsentativ angesehen.

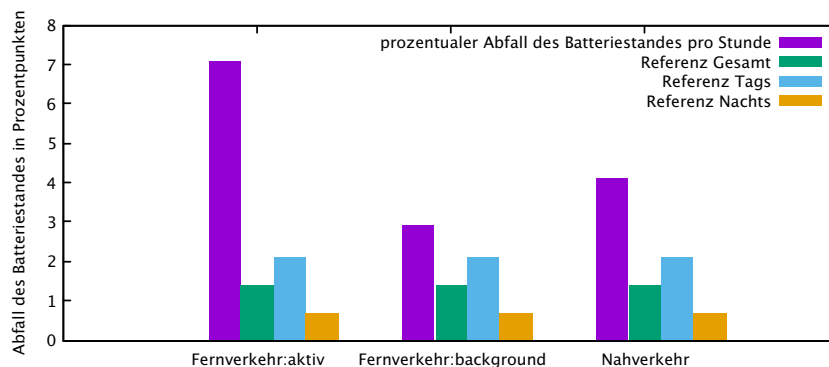


Abbildung 6.17: Energieverbrauch beim Geofencing

Die gemessenen Verbräuche im Fernverkehr so wie im Nahverkehr sind

in Abbildung 6.17 für einen einfacheren Vergleich abgebildet. Während des Fernverkehrstest mit aktiv genutzter App wurde das Smartphone kurz vor Erreichen der Geofences aktiviert und nach Verlassen eines Geofences wieder gesperrt. Im Nahverkehr waren die einzelnen Haltestellen oft so nahe beieinander, dass das Smartphone zwischen Verlassen und dem Betreten nicht gesperrt werden konnte, welches den im zum Fernverkehr höheren Verbrauch erklärt.

6.6.2 DONE Nahverkehr

Im Nahverkehr wurden die verschiedenen Fahrzeuge, mit denen eine Fahrt im ÖPNV möglich ist, genutzt. Insgesamt wurden 15 von 19 Geofences als betreten und 14 von 19 als verlassen erkannt. Demnach ist es möglich, dass Geofences nicht erkannt werden. Die einzeln erkannten Geofence-Ereignisse sind in Tabelle 6.25 dargestellt. Erwähnenswert sind die in der U-Bahn erkannten Geofences. Diese wurden erst meist erkannt, wenn die Bahn bereits gehalten hat. Während der unterirdischen Fahrten ist die Verbindung zu den Mobilfunknetzen nicht abgebrochen. Trotzdem war der Location-Dienst des Smartphones nicht in der Lage eine genaue Peilung durchzuführen.

Für die erkannten Ereignisse wurde die Genauigkeit, wie in Abschnitt 5.4 beschrieben, bestimmt. Die durchschnittlichen Genauigkeiten für das Betreten und Verlassen der Geofences sind in Tabelle 6.26 für die verschiedenen Verkehrsmittel angegeben.

Im Nahverkehr lag die durchschnittliche Genauigkeit des Betretens für alle Verkehrsmittel bei 3.56. Wird die Genauigkeit mit dem Radius multipliziert, ergibt sich die Strecke zwischen dem Rand der Region und der Position zum Zeitpunkt des Ereignisses. Für alle Verkehrsmittel wird im Nahverkehr das Verlassen des Geofences genauer erfasst als das Betreten.

6.6.3 DONE Fernverkehr

Während des Tests ist aufgefallen, dass die Genauigkeit der erkannten Ereignisse sehr stark mit dem Zustand der App korreliert. Zuerst ist es bei dem Test mit der höchstmöglichen Genauigkeit aufgefallen. Für alle Geofences, die betreten wurden während die App aktive war, lag die durchschnittliche Entfernung zwischen der Position des Betretens und dem Zentrum des betretenen Geofences bei 122 Metern. Dies entspricht einer Genauigkeit von 0,22. Beim letzten Geofence war die App im Background und das Betreten wurde in einer Entfernung von 3.851 Metern erkannt, welches einer Genauigkeit von 37.51 entspricht. Diese großen Unterschiede zeigten sich mehrmals während des Tests. Deshalb wurde ein weiterer Test mit der App im Background durchgeführt. Die Ergebnisse des Geofencetestes im Fernverkehr sind in Tabelle 6.27 festgehalten. Wegen des großen Unterschiedes wurden nur die Werte betrachtet, die gemessen wurden während die

[App](#) aktiv war.

Zu sehen ist, dass Geofences erst mit den ungenauen Einstellungen `Kilometers` und `ThreeKilometers` nicht mehr vollständig erkannt werden. Für die gemessenen Genauigkeiten gilt je näher sie 0 sind, desto genauer wurde das Betreten oder Verlassen des Geofences erkannt. Es zeigt sich, dass die genauesten Ergebnisse mit der drittbesten Genauigkeitseinstellung `NerestTenMeters` erzielt wurden. Für die drei ungenauesten Einstellungen zeigt sich der erwartete Abfall der gemessenen Genauigkeit je ungenauer die Einstellung ist. Im Gegensatz zu dem Nahverkehrstest zeigt sich, dass das Betreten der Geofences genauer erfasst wird.

Der Fernverkehrstest mit der [App](#) im Background bestätigte die Vermutung, dass der [App](#) Zustand einen enormen Einfluss auf das [Geofencing](#) hat. Selbst auf der genauesten Einstellung `BestForNavigation` wurde die Hälfte der Ereignisse nicht erkannt. Die gemessenen Genauigkeiten für das Betreten der Geofences sind sehr weit von 0 entfernt und damit sehr ungenau. Erstaunlicher Weise ist das Verlassen der Geofences sehr genau erfasst worden. Die Ursache dafür könnte in der Positionsbestimmung liegen, die genauer wird je geringer die Geschwindigkeit ist. So ist vor dem Betreten eines der Geofences die Geschwindigkeit hoch. Da die Geofences an den Haltestellen gesetzt wurden, hält das Fahrzeug nach dem Betreten des Geofences, welches der Positionsbestimmung entgegenkommt. Somit könnte die Position vor dem Verlassen des Geofences genauer bestimmt werden als vor dem Betreten.

Alle dies Ergebnisse führen zu folgenden Antworten auf die Fragen:

Q.G.3⁶⁶ Geofences werden asymmetrisch erkannt. Die Genauigkeit ist von der eingestellten gewünschten Genauigkeit abhängig. Allerdings sind die genauesten Messungen mit der drittgenauesten Einstellung entstanden. Von dort an wurden sie mit jeder geringeren Einstellung auch ungenauer. Der Zustand der [App](#) hat einen enormen Einfluss auf die Genauigkeit und das Erkennen der Geofences.

O.G.3.1⁶⁷ Die Entfernung ist in den Genauigkeiten wiedergegeben. Im Fernverkehr und im aktiven Zustand der [App](#), mit der genauesten Einstellung war man beim Betreten durchschnittlich 22 Meter vom Rand des Geofences entfernt, beim Verlassen waren es 133 Meter. Befindet sich die [App](#) im Background, war man beim Betreten durchschnittlich 5.476 Meter, beim Verlassen jedoch 61 Meter vom Rand des Geofences entfernt. Beim Verlassen befand man sich noch im [Geofence](#), durchschnittlich 39 Meter vom Zentrum entfernt.

⁶⁶Wie genau wird das Betreten, Verlassen eines Geofences erkannt? Symmetrisch?

⁶⁷Wie weit ist der Nutzer vom Rand des Geofences entfernt, wenn das System meldet, dass er betreten / verlassen wurde?

QG.6⁶⁸ Geofences können nicht erkannt werden, gerade im Background ist die Technologie sehr unzuverlässig.

QG.8⁶⁹ Die Genauigkeit ist abhängig davon, ob im Nahverkehr oder Fernverkehr gereist wird, dabei werden Geofences im Fernverkehr genauer erkannt.

6.7 Beantwortung der Fragen Q₁ und Q₂

Auf Grund der schlechten Ergebnisse der Technologien kann mit ihnen zur Zeit noch kein Umsetzungskonzept erstellt werden. Weniger als die Hälfte der versendeten **Silent-Push**-Nachrichten wurden empfangen, damit kann eine aktuelle Referenzverbindung nicht sichergestellt werden. Die **Motion-Sensorik** ist nicht in der Lage die Fahrzeuge oder Umstiege verlässlich zu erfassen. **Geofencing** kann nur im aktiven Zustand verwendet werden, in einer Navigation würde sie jedoch hauptsächlich im Background-Zustand der **App** verwendet werden. Somit ist Frage **Q₂**⁷⁰ für iOS mit Nein zu beantworten. Mit den Technologien, wie sie vom System bereit gestellt werden, kann kein Umsetzungskonzept erstellt werden. Für das Konzept sollten weitere Untersuchungen der Technologien durchgeführt werden. So könnte eine selbst entwickelte Positionsüberwachung bessere Ergebnisse liefern, gerade hinsichtlich der Geschwindigkeit. Zuletzt ist die Antwort auf **Q₁**⁷¹: Die Technologien, die vom System zur Verfügung gestellt werden, erfüllen die Anforderungen an ein Umsetzungskonzept nicht.

⁶⁸Kann es sein, dass ein **Geofence** nicht anspricht, weil z.B. schnell durchfahren. Wie verlässlich ist die Technologie?

⁶⁹Wie stark ist der Einfluss des Fahrgast Use Case (Nahverkehr, Fernverkehr)?

⁷⁰Kann mit den verwendeten Technologien ein Umsetzungskonzept erstellt werden?

⁷¹Können die Anforderungen von den Technologien erfüllt werden?

Tabelle 6.12: Festgehaltene Bewegungsarten während in der U-Bahn gegangen wurde

Zeit	activity	confidence	applicationState
12:27:28	USERINPUT _{geheinbahn}		active
12:27:40	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:27:43	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:27:45	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:27:58	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:28:00	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:28:04	USERINPUT _{haltestelle}		active
12:28:30	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:28:40	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:28:58	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:29:03	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:29:09	USERINPUT _{haltestelle}		active
12:29:17	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:17	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:29:28	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:29	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:29:36	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:36	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:29:38	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:46	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
12:29:47	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:50	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:54	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:29:58	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:30:00	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:30:01	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:30:04	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:30:06	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
12:30:23	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:30:26	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:30:28	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:30:33	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:30:48	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:30:51	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:31:00	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:31:01	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
12:31:03	USERINPUT _{haltestelle}		active
12:31:05	USERBUTTON _{no move}		active
12:31:06	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:31:16	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	inactive
12:31:17	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:31:17	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
12:31:34	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:31:35	USERINPUT _{kroepke umstig}		active

Tabelle 6.13: Festgehaltene Bewegungsarten während in der U-Bahn gesessen wurde

Zeit	activity	confidence	applicationState
12:34:05	USER _{INPUT} _{bahn} betreten		active
12:34:15	USER _{INPUT} _{sitze}		active
12:34:17	USER _{BUTTON} _{no} move		active
12:34:49	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:34:51	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:34:55	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:03	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:07	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:08	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:10	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:12	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:13	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:19	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:24	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:27	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:31	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:33	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:35:35	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:19	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:36	USER _{BUTTON} _{walk}		active
12:36:37	USER _{INPUT} _{ausstig}		active
12:36:43	USER _{BUTTON} _{walk}		active
12:36:45	USER _{BUTTON} _{no} move		active
12:36:47	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:49	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:49	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:51	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:36:59	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:37:01	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
12:37:03	USER _{INPUT} _{ende} ubahntest		active
12:37:06	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	inactive

Tabelle 6.14: Festgehaltene Bewegungsarten während im Bus gegangen wurde(1)

	activity	confidence	applicationState
14:00:39	USER _{INPUT} einstieg		active
14:00:41	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:00:46	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:00:47	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:00:59	USER _{INPUT} gehe in bus		active
14:01:00	USER _{BUTTON} walk		active
14:01:16	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:01:16	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:01:18	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:01:33	AUTO _{automotive}	ConfidenceMedium	active
14:01:41	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:01:43	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:01:51	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:01:56	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:01:58	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:02:31	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:01	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:03:06	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:16	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:03:21	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:24	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:03:36	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:44	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active

Tabelle 6.15: Festgehaltene Bewegungsarten während im Bus gegangen wurde(2)

14:03:46	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:49	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:03:51	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:03:57	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:03:59	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:04:12	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:04:24	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:04:29	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:04:37	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:04:39	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:04:42	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:04:54	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:04:59	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:05:00	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:05:02	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:05:03	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:05:14	AUTO _{automotive}	ConfidenceMedium	active
14:05:19	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:05:39	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:05:42	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:05:45	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:05:47	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:05:51	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:05:52	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:05:55	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:05:55	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:05:57	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:06:00	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:06:01	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:06:02	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active

Tabelle 6.16: Festgehaltene Bewegungsarten während im Bus gesessen wurde(1)

Zeit	activity	confidence	applicationState
14:06:28	USER _{INPUT} sitze im bus		active
14:06:29	USER _{BUTTON} no move		active
14:06:37	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:06:42	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:06:46	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:02	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:07	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:08	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:14	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:15	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:15	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:16	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:17	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:17	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:17	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:18	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:19	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:20	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:26	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:26	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:33	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:34	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:07:36	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:39	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:07:39	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:07:42	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:16	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:17	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:21	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:21	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:22	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:24	USER _{BUTTON} no move		active
14:08:24	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:25	USER _{BUTTON} Bus		active

Tabelle 6.17: Festgehaltene Bewegungsarten während im Bus gegessen wurde(2)

14:08:25	USER _{BUTTON} _{no} move		active
14:08:27	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:28	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:28	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:30	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:31	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:31	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:32	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:36	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:39	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:39	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:41	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:41	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:42	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:43	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:43	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:45	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:08:47	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:08:48	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:10:34	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:10:37	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:10:38	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:10:40	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:10:42	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:11:03	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:17	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:20	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:21	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:12:23	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active

Tabelle 6.18: Festgehaltene Bewegungsarten während im Bus gesessen wurde(3)

14:12:23	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:23	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:43	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:43	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:44	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:49	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:50	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:50	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:53	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:54	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:54	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:55	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:12:56	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:12:58	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:14:12	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:14:12	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:14:16	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:14:19	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:14:19	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:14:23	AUTO _{stationary}	ConfidenceHigh	active
14:14:23	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:15:21	USER _{INPUT} _{ausstig}		active
14:15:31	USER _{BUTTON} _{walk}		active
14:15:33	USER _{BUTTON} _{no move}		active
14:15:37	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:15:40	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:15:44	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:15:45	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:15:45	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:15:45	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:15:47	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:15:49	USER _{INPUT} _{endebustest}		active

Tabelle 6.19: Festgehaltene Bewegungsarten während in der Tram gegangen wurde

Zeitlich	activity	confidence	applicationState
14:23:04	USER _{INPUT} beginnetramgehetest ueberirdisch		active
14:23:04	USER _{BUTTON} walk		active
14:23:07	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	background
14:23:39	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:23:42	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:23:44	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:23:47	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:24:09	AUTO _{automotive}	ConfidenceMedium	active
14:24:19	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:24:30	AUTO _{automotive}	ConfidenceMedium	active
14:24:35	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:25:00	AUTO _{walking}	ConfidenceMedium	active
14:25:05	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:25:06	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:25:07	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:27:10	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	inactive
14:27:11	AUTO _{walking}	ConfidenceHigh	active
14:27:12	USER _{BUTTON} nomove		active
14:27:18	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:27:20	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:27:24	USER _{INPUT} ausstig		active

Tabelle 6.20: Festgehaltene Bewegungsarten während in der Tram gesessen wurde

Zeit	activity	confidence	applicationState
14:42:40	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:42:41	USER _{INPUT} _{einstig}		active
14:42:50	USER _{BUTTON} _{nomove}		active
14:43:00	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:43:03	USER _{INPUT} _{sitzeintram}		active
14:43:54	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	inactive
14:47:32	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	inactive
14:47:34	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:47:38	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:47:41	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:48:30	USER _{BUTTON} _{walk}		active
14:48:32	USER _{BUTTON} _{nomove}		active
14:48:36	USER _{INPUT} _{ausstig}		active
14:48:39	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:48:41	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:48:41	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:48:42	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:48:42	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:48:44	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:48:47	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:48:47	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active
14:48:49	USER _{INPUT} _{Tende test}		active
14:48:50	AUTO _{stationary}	ConfidenceLow	active
14:48:50	AUTO _{automotive}	ConfidenceHigh	active

Tabelle 6.21: Silent-Push Ergebnisse

Testgeräte	gesendet	empfangen	prozentual empfangen
Gesendet	15122	6092	40.29
Gesendet(Empfang möglich)	13822	6092	44.07
iPhone6sNr2	3783	612	16.18
iPhone6sNr2(eingeschaltet)	2483	612	24.65
ihe	3780	1175	31.08
sbax	3779	3505	92.75
skok	3780	800	21.16

Tabelle 6.22: Silent-Push-Nachrichten übertragen in weniger als 60 Sekunden

Testgeräte	gesamt übertragen	übertragen in unter 60s	übertragen in über 60s	Prozentualer Anteil
Alle Testgeräte	6092	6090	2	0.0003
iPhone6sNr2	612	612	0	0.0000
iPhone6sNr2(eingeschaltet)	612	612	0	0.0000
ihe	1175	1175	0	0.0000
sbax	3505	3503	2	0.0006
skok	800	800	0	0.0000

Tabelle 6.23: Silent-Push-Nachrichten übertragen in weniger als 10 Sekunden

Testgeräte	gesamt übertragen	übertragen in unter 10s	übertragen in über 10s	Prozentualer Anteil
Alle Testgeräte	6092	6034	68	0.0112
iPhone6sNr2	612	610	2	0.0033
iPhone6sNr2(eingeschaltet)	612	610	2	0.0033
ihe	1175	1050	25	0.0213
sbax	3505	3483	20	0.0057
skok	800	791	9	0.0112

Tabelle 6.24: Benötigten Sekunden der Ausführungszeittests

sekunden	Tests
13	1
22	1
26	1
28	1
29	117
30	514
33	1
34	1
40	3
120	2

Tabelle 6.25: aufgezeichnete Geofenceereignisse im Nahverkehr

Ereignis	All Geofences	U-Bahn Geofences	Tram Geofences	Bus Geofences
entered	15/19	3/7	5/6	6/8
Left	14/19	2/6	5/6	7/9

Tabelle 6.26: Gemessene Genauigkeiten der Geofenceerkennung im Nahverkehr

Verkehrsmittel	Durchschnittliche Genauigkeit beim Betreten	Durchschnittliche Genauigkeit beim Verlassen
All	3.5601212	2.3123235
Bus	3.3527099	1.1276186
U-Bahn	3.8727676	3.3344663
Tram	3.6214270	0.32068374

Tabelle 6.27: Verhältnis erkannter Ereignisse und ihre gemessenen Genauigkeiten während des Fernverkehrstestes

desiredAccuracy	Betretene Geofences	Verlassene Geofences	Durchschnittliche Genauigkeit beim Betreten	Durchschnittliche Genauigkeit beim Verlassen
BestForNavigation(active)	6/6	7/7	0.22942997	1.3321756
Best(active)	4/4	5/5	0.065042410	1.3226820
NearestTenMeters(active)	5/5	3/3	-0.0020632804	1.2020442
HundredMeters(active)	5/5	2/2	-0.37742374	1.4167361
Kilometers	4/5	4/5	-0.71460822	3.543296
ThreeKilometers	6/7	6/7	6.2408662	15.109736

Tabelle 6.28: Verhältnis erkannter Ereignisse und ihre gemessenen Genauigkeiten während des Fernverkehrstestes mit der App im Background

desiredAccuracy	Betretene Geofences	Verlassene Geofences	Durchschnittliche Genauigkeit beim Betreten	Durchschnittliche Genauigkeit beim Verlassen
BestForNavigation	3/5	2/5	54.767027	-0.61883348
Best	2/5	2/5	60.158790	-0.37213845
NearestTenMeters	1/5	1/5	182.59393	-0.68135831
HundredMeters	1/5	2/5	105.75684	-0.49432547
Kilometers	3/6	2/5	119.20345	-0.70690383
ThreeKilometers	2/7	2/7	81.224347	-0.34753076

Kapitel 7

Diskussion und Ausblick

7.1 Umsetzungskonzept

Für die Abweichungsanalyse ist es essenziell, dass die Referenzverbindung aktuell ist. Die Aktualität könnte über [Silent-Push](#)-Nachrichten, mit einer Push-To-Pull Strategie, sichergestellt werden. Dazu muss die Empfangsrate der Nachrichten hoch genug sein. Neben der Aktualisierung der Referenzverbindung muss eine Abweichungsanalyse in der Lage sein, den aktuellen Verbindungsabschnitt zu identifizieren. Dafür muss geprüft werden, ob der Nutzer sich an der Position bzw. auf dem Verbindungsteil befindet, den die Referenzverbindung für die aktuelle Zeit vorsieht. Dies kann mit Geofences, die genau genug erkannt werden können und einer Motion-Sensorik, die Fahrzeuge und Übergänge erkennt, umgesetzt werden. Über Geofences an den Haltestellen kann sichergestellt werden, dass der Nutzer die Haltestellen der aktuellen Verbindungsabschnitt durchfährt oder sich an ihnen aufhält. Zusätzlich könnte die Position des Nutzers direkt überwacht werden, wenn der Nutzer sich in dem [Geofence](#) einer Station befindet, an der er aus-, ein- oder umsteigen muss. Ist [Motion-Sensorik](#) in der Lage die Fahrzeuge und die Ein- und Ausstiege zu erkennen, kann sie genutzt werden. Zu der vom [Geofencing](#) bestimmten geographischen Route des aktuellen Verbindungsabschnitts ist zu prüfen, ob das aktuelle Fahrzeug zum Verbindungsabschnitt passt. Können Ein-, Aus- und Umstiege mit der [Motion-Sensorik](#) erkannt werden, ist es auch möglich festzustellen, ob der Nutzer an der falschen Stelle ausgestiegen ist oder seinen Ausstieg verpasst hat. Damit kann eine Abweichungsanalyse umgesetzt werden, wenn die verwendeten Technologien geeignet sind. Mit den erstellten Metriken kann eine Eignung überprüft werden. Um umgesetzt werden zu können, müssen die Techniken nicht die besten Werte der Metriken erreichen. Für das [Geofencing](#) könnte eine Genauigkeit von 0.2 oder 0.1 ausreichen um für eine Abweichungsanalyse genutzt zu werden.

Die gemessenen Übertragungsraten der [Silent-Push](#)-Nachrichten, des

APN-Diensts von Apple, sind zu gering um sicherzustellen, dass die Referenzverbindung aktuell ist. Apple weist in der Dokumentation des APN-Dienstes explizit darauf hin, dass **Silent-Push**-Nachrichten nicht dafür genutzt werden sollten, um regelmäßig wichtige Aktualisierungen durchzuführen.

*“Silent notifications are not meant as a way to keep your **app** awake in the background, nor are they meant for high priority updates. APNs treats silent notifications as low priority and may throttle their delivery altogether if the total number becomes excessive. The actual limits are dynamic and can change based on conditions, but try not to send more than a few notifications per hour.”⁷²*

In dem **Silent-Push**-Test wurden 60 Nachrichten in einer Stunde gesendet. Hätte der APN-Dienst die Übertragung gedrosselt, wären für alle Testgeräte die übertragenen Nachrichten gleichzeitig zurückgegangen. Dennoch sollte an der Genauigkeit der Testergebnisse des **Silent-Push**-Tests gezweifelt werden. Ein Modell des Änderungsverhaltens der Verbindungen, welches zu einer realistischen zeitlichen Verteilung der Sendezeitpunkte genutzt werden könnte, würde realistischere Ergebnisse bringen. Vermutlich würden mit einem derartigen Model nur wenige Nachrichten in der Stunde gesendet. Ein weiterer Umstand, der die Übertragungsrate beeinflusste, ist, dass die privat genutzten Testgeräte teilweise vom Internet getrennt wurden. Diese Zeiten wurden nicht dokumentiert, damit können die in diesen Zeit an die Testgeräte gesendeten Nachrichten nicht bestimmt werden und verfälschen die Ergebnisse. Das dies nicht die einzigen Gründe für die geringen Übertragungsraten sind, zeigen die Ergebnisse des Batterieverbrauchstest. Hier war die Übertragungsrate sehr gering, obwohl die Internetverbindung sichergestellt war.

Neben der Aktualisierung der Referenzverbindung muss eine Abweichungsanalyse in der Lage sein den aktuellen Verbindungsabschnitt zu identifizieren. Um dieses über Geofences an den Haltestellen zu verwirklichen, ist die Ungenauigkeit zu hoch, wenn sich die **App** nur im Background-Zustand befindet. Der Nutzer müsste die **App** die gesamte Fahrt über aktiv nutzen. Die Ungenauigkeit im Background könnte auf Energiesparmaßnahmen des Systems zurückzuführen sein. Eine dauerhafte Überwachung der aktuellen Position könnte besser geeignet sein als das **Geofencing**.

Die **Motion-Sensorik** des Systems zu nutzen, um Fahrzeuge zu erkennen, ist nicht möglich. Das Ein- und Aussteigen in bzw. aus einem Fahrzeug konnte ebenfalls nicht identifiziert werden. Dass die vom System gemessene Geschwindigkeit nicht genutzt werden konnte, um kombiniert mit den Messungen der **Motion-Sensorik** Fahrzeuge zu identifizieren, ist ein weiteres großes Problem. Dieses könnte ebenfalls durch eine aktive Überwachung

⁷²<https://developer.apple.com/library/content/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/CreatingtheNotificationPayload.html>

der Position gelöst werden. Die meisten Lösungen, die gefunden wurden, um eine genauere Geschwindigkeit zu verwenden, berechnen diese aus der überwachten Position.

Das Beacon Monitoring bietet sich als eine weitere Technik für die Abweichungsanalyse an. Beim Beacon Monitoring müssen alle Fahrzeuge und Haltestellen mit Bluetooth Beacons versehen werden. Diese werden dann vom Gerät erkannt, wenn es sich ihnen nähert.

7.2 Android

Es wurden Prototypen für Android erstellt, deren Implementationstests nicht vollendet werden konnten. Während dieser Arbeit konnten die Android-Prototypen nicht in Tests eingesetzt werden. Aufgrund der Ergebnisse der Test mit den iOS-Prototypen sollte Android nicht ausgeschlossen werden. Die geringeren Einschränkungen von Android könnten starke Auswirkungen auf die Tests haben. So werden die [Silent-Push](#)-Nachrichten des Apple Diensts mit geringer Priorität behandelt. Für Androids Firebase Dienst ist es möglich die Priorität einzustellen, was in höheren Übertragungsraten resultieren kann. Eine Verwendung des Firebase Dienstes auf iOS ist ebenfalls möglich, damit könnten bessere Ergebnisse erzielt werden.

7.3 Machbarkeitsanalyse mit GQM

Rückblickend war die GQM-Methode für eine Machbarkeitsanalyse geeignet. Die Besonderheiten einer Machbarkeitsanalyse bewirken Unterschiede in den Schritten der GQM-Methode. Es wäre besser gewesen die Ziele des Konzeptes zu überarbeiten, um sie genauer und kürzer festzulegen. Dieses wird für ähnliche Arbeiten angeraten. Die Fragen, die mit dem Team von HaCon festgehalten wurden, sind komplex und umfangreich. Das Team stellte sie in hierarchischer Form auf. Oft entstanden zu einer Frage viele untergeordnete Fragen, die oft die übergeordnete beantwortete. Zusätzlich wurden generelle Fragen gestellt, die für alle Technologien beantwortet werden sollten. Es wurde versucht jede Antwort mit einer Quellenangabe zu belegen. Dieses Vorgehen war für einige der technischen Fragen zum Scheitern verurteilt. So können die Fragen, welche Daten der Server benötigt damit die Technologie eingesetzt werden kann, so wie die, welche Last auf dem Server durch die Technologie entsteht, für Technologien die keinen Server benötigen nicht belegt werden. Derartige Fragen wissenschaftlich zu beantworten und zu belegen ist sinnlos. Es wurde Wert darauf gelegt sie für alle Technologien zu stellen. Daher wurden sie nicht entfernt. Es entstanden viele Fragen, die nach kurzer Recherche oder der Implementation des Prototypen beantwortet werden konnten. Im Vergleich dazu haben nur wenige Fragen Auswirkungen auf die Metriken. Nach den Erfahrungen, die während dieser Arbeit bezüglich

des Einsatzes der GQM-Methode für Machbarkeitsanalysen, gesammelt wurden, könnte ein iteratives Vorgehen die Methode für diese Anwendung verbessern. Nach der initialen Zieldefinition und Sammlung der Fragen, sollten Fragen formuliert werden, um die Zieldefinition zu verfeinern. Es gab Annahmen über Technologien und ihre Fähigkeiten die, nicht zutrafen. Für diese Technologien musste geklärt werden, wozu sie im Stande bzw. für welchen Einsatz sie gedacht sind. Nachdem die ersten Fragen geklärt wurden, sollte die Zieldefinition, wenn nötig, überarbeitet werden. Dadurch wird die nächste Iteration eingeleitet. Es zeigte sich, dass oft schon wenige Antworten zu einem besseren Verständnis der Techniken führten. Damit zu besseren und genaueren Fragen, so wie neuen Anforderungen bzw. noch nicht geklärten Anforderungen.

Kapitel 8

Glossar

-A-

App kurz für Applikation, hier verwendet für Smartphone-Applikationen.

-G-

Geofence Ein virtueller Zaun um eine geographische Region siehe auch [Geofencing](#) auf Seite 3

*-I-

IMU Eine Internal Measurement Unit bezeichnet eine Sammlung an Sensoren für gewöhnlich Beschleunigungssensoren ein 3D-Gyroskop und ein Magnetometer.

-M-

Motion-Sensorik siehe Seite 3

-O-

ÖPNV Abkürzung für Öffentlicher Personennahverkehr.

-S-

Silent-Push siehe Seite 4

-T-

Timestamp Ein Zeitpunkt der zu einem Ereignis festgehalten wird, in dieser Arbeit wurde die Unixzeit in Sekunden verwendet Timestamps wurden als Gleitkommazahlen angegeben.

Kapitel 9

Anhang

9.1 Zweite Suche

Die für die einzelnen Suchmaschinen benutzten Such Phrasen:

IEEE 3 Ergebnisse

```
( "feasibility" OR
  "feasible"
)
AND
( "public transport" OR
  "public transportation" OR
  "local public transport" OR
  "short-range transit" OR
  "short-range public transportation" OR
  "short distance public transport" OR
  "short-distance public transport"
)
AND
( "navigation" OR
  "navigation system"
)
```

Scopus 57 Ergebnisse

```

( ALL
  ( "feasibility" OR
    "feasible"
  )
  AND ALL
    ( "public transport" OR
      "public transportation" OR
      "local public transport" OR
      "short-range transit" OR
      "short-range public transportation" OR
      "short distance public transport" OR
      "short-distance public transport"
    )
  AND ALL
    ( "navigation" OR
      "navigation system"
    )
)
AND
( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2016 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2015 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2014 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2013 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2012 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2011 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2010 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2009 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2008 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2007 ) OR
  LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2006 )
)
AND
( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" )
)

```


ACM 17 Ergebnisse

```
+("navigation"  
  "navigation system"  
)  
+("public transport"  
  "public transportation"  
  "local public transport"  
  "short-range transit"  
  "short-range public transportation"  
  "short distance public transport"  
  "short-distance public transport"  
)  
+("feasibility"  
  "feasible"  
)
```

Alle gefundenen Paper und die beantworteten Fragen:

9.2 Inhalt der DVD

- iOS-Prototypen
- Android-Prototypen
- Daten der Masterarbeit
 - Messdaten
 - Auswertungsprogramme
 - Ausarbeitungsdokumente

Tabelle 9.1: Ergebnisse der zweiten Suche der SLR mit beantworteten Fragen

	Result	pdf	fundort	Paper _{Q1}	Paper _{Q2}	Paper _{Q3}
1	[57]	ja	ieee		ja	
2	[36]	ja	ieee	ja		
3	[70]	ja	ieee			
4	[20]	ja	acm			ja
5	[46]	ja	acm			ja
6	[33]	ja	acm			ja
7	[30]	ja	acm			ja
8	[48]	ja	acm			
9	[82]	ja	acm			ja
10	[67]	ja	acm	ja		
11	[16]	ja	acm			
12	[18]	ja	acm			
13	[60]	ja	acm			
14	[43]	ja	acm	ja		ja
15	[71]	ja	acm			
16	[34]	nein	acm			
17	[23]	ja	acm			
18	[85]	ja	acm			
19	[47]	ja	scopus			
20	[6]	ja	scopus			
21	[75]	ja	scopus			
22	[1]	ja	scopus			
23	[73]	ja	scopus			
24	[69]	ja	scopus			
25	[76]	ja	scopus			
26	[56]	ja	scopus			
27	[19]	ja	scopus			
28	[3]	ja	scopus			
29	[53]	nein	scopus			
30	[27]	ja	scopus	ja		
32	[10]	nein	scopus			
33	[66]	ja	scopus			
34	[77]	ja	scopus			
35	[51]	ja	scopus			
36	[63]	ja	scopus			
37	[8]	ja	scopus			
38	[14]	ja	scopus			
39	[42]	ja	scopus			

Tabelle 9.2: 2

	Result	pdf	fundort	Paper _{Q1}	Paper _{Q2}	Paper _{Q3}
40	[25]	ja	scopus			
41	[9]	nein	scopus	ja		
42	[64]	ja	scopus			
43	[83]	ja	scopus			
44	[26]	ja	scopus	ja		
45	[41]	nein	scopus			
46	[38]	ja	scopus			
47	[29]	ja	scopus			
48	[84]	ja	scopus			
49	[78]	ja	scopus			
50	[21]	ja	scopus			
51	[28]	ja	scopus			
52	[4]	nein	scopus			
53	[40]	nein	scopus			
54	[80]	ja	scopus			
55	[62]	ja	scopus			
56	[7]	ja	scopus			
57	[37]	ja	scopus			
58	[81]	ja	scopus			
59	[58]	ja	scopus			
60	[61]	ja	scopus			
61	[54]	ja	scopus			
62	[11]	ja	scopus			
63	[79]	ja	scopus			
64	[2]	ja	scopus			
65	[68]	ja	scopus			
66	[59]	ja	scopus			
67	[52]	ja	scopus			
68	[24]	ja	scopus			
69	[39]	nein	scopus			
70	[31]	ja	scopus			
71	[15]	ja	scopus	ja		
72	[32]	ja	scopus			
73	[45]	nein	scopus			
74	[74]	ja	scopus			
75	[44]	ja	scopus			
76	[22]	ja	scopus			

Literaturverzeichnis

- [1] I. K. Abir, M. T. Rashid, H. Zaman, M. Hassan, R. Rafique, and M. K. Rhaman. Development and feasibility evaluation of a low cost smart voyage data recorder: Marine black box. In *2015 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, pages 347–352, 11 2015. cited By 0.
- [2] D. Ajwani and H. Meyerhenke. *Chapter 5. Realistic Computer Models*, volume 5971 of *Algorithm Engineering*, pages 194–236. Springer Nature, 2010. cited By 1.
- [3] M. Amirgholy, H. Rezaeestakhruie, and H. Poorzahedy. Multi-objective cordon price design to control long run adverse traffic effects in large urban areas. *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, 16(1-2):1–52, 2015. cited By 2.
- [4] M. Balcilar, M. Burunkaya, and O. Ozkaraca. Design and construction of a pc based microcontroller controlled vehicle tracking system (vts) used gps and gsm technology. *International Review on Computers and Software*, 7(4):1486–1492, 2012. cited By 0, no pdf.
- [5] V. R. Basili and H. D. Rombach. The tame project: towards improvement-oriented software environments. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(6):758–773, Jun 1988.
- [6] H. Bast, D. Delling, A. Goldberg, M. Müller-Hannemann, T. Pajor, P. Sanders, D. Wagner, and R. F. Werneck. *Route Planning in Transportation Networks*, volume 9220 of *Algorithm Engineering*, pages 19–80. Springer Nature, 2016. cited By 0.
- [7] A. I. Bejan and R. J. Gibbens. Evaluation of velocity fields via sparse bus probe data in urban areas. In *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 746–753, 10 2011. cited By 9.
- [8] S. Beul-Leusmann, C. Samsel, M. Wiederhold, K.-H. Krempels, E.-M. Jakobs, and M. Ziefle. *Usability Evaluation of Mobile Passenger*

Information Systems, volume 8517 LNCS of *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience*, pages 217–228. Springer Nature, 2014. cited By 2.

- [9] P. Brida and J. Machaj. Mobile positioning solution suitable for intelligent transportation system based on ieee802.11a. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 265:327–336, 2014. cited By 1 no pdf.
- [10] X. Cai. A bio-inspired optimization algorithm for the maximum flow problem. *ICIC Express Letters*, 9(11):3031–3038, 2015. cited By 0, no pdf.
- [11] F. Castanedo, J. García, M. A. Patricio, and J. M. Molina. Data fusion to improve trajectory tracking in a cooperative surveillance multi-agent architecture. *Information Fusion*, 11(3):243–255, 2010. cited By 33.
- [12] K. B. Chen, H.-L. Tsui, C.-T. Yang, L. H. Ting, and H. Houng. A living lab model for user driven innovation in urban communities. In *2010 IEEE International Technology Management Conference (ICE)*, page nil, 6 2010.
- [13] G. Cheng and W. Yan. Study on the model of service quality gap in urban rail transit. In *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, volume 2, pages 2598–2603, Oct 2008.
- [14] B. Chidlovskii and E. C. Sanchez. Traffic delay detection by mining ticket validation transactions. In *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 1701–1706, 10 2014. cited By 0.
- [15] N. Deblauwe and P. Ruppel. Combining gps and gsm cell-id positioning for proactive location-based services. In *2007 Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services (MobiQuitous)*, page nil, - 2007. cited By 4.
- [16] D. Delling, B. Katz, and T. Pajor. Parallel computation of best connections in public transportation networks. *Journal of Experimental Algorithmics*, 17(1):4.4:4.1–4.4:4.26, oct 2012.
- [17] S. Edwards, G. Evans, P. Blythe, D. Brennan, and K. Selvarajah. Wireless technology applications to enhance traveller safety. *IET Intelligent Transport Systems*, 6(3):328–335, September 2012.
- [18] V. Egger, H. Schrom-Feiertag, L. Ehrenstrasser, and G. Telepak. Creating a richer data source for 3d pedestrian flow simulations in

- public transport. In *Proceedings of the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research - MB '10*, MB '10, pages 20:1–20:4, New York, NY, USA, - 2010. ACM.
- [19] M. Elbanhawi, M. Simic, and R. Jazar. In the passenger seat: Investigating ride comfort measures in autonomous cars. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 7(3):4–17, 2015. cited By 7.
- [20] S. Foell, G. Kortuem, R. Rawassizadeh, M. Handte, U. Iqbal, and P. Marrón. Micro-navigation for urban bus passengers: Using the internet of things to improve the public transport experience. In *Proceedings of the The First International Conference on IoT in Urban Space*, URB-IOT '14, page nil, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, - 2014. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [21] P. Fröhlich, M. Baldauf, S. Suetter, D. Schabus, U. Lehner, M. Jandrisits, and A. Paier. "get off your car!". In *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '12*, pages 123–130, - 2012. cited By 2.
- [22] A. García-Ortiz, S. Amin, and J. Wootton. Intelligent transportation systems-enabling technologies. *Mathematical and Computer Modelling*, 22(4-7):11–81, 1995. cited By 20.
- [23] M. Gerla, B. Zhou, Y.-Z. Lee, F. Soldo, U. Lee, and G. Marfia. Vehicular grid communications. In *Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet - WICON '06*, ICWET '11, pages 1366–1366, New York, NY, USA, - 2011. ACM.
- [24] G. Ghiani, B. Leporini, and F. Paternò. Vibrotactile feedback as an orientation aid for blind users of mobile guides. In *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI '08*, pages 431–434, - 2008. cited By 15.
- [25] S. Gim, L. Adouane, S. Lee, and J.-P. Derutin. Smooth trajectory generation with 4d space analysis for dynamic obstacle avoidance. In -, volume 2, pages 802–809, 2014. cited By 0.
- [26] K. Hara, J. E. Froehlich, S. Azenkot, M. Campbell, C. L. Bennett, V. Le, S. Pannella, R. Moore, K. Minckler, and R. H. Ng. Improving public transit accessibility for blind riders by crowdsourcing bus stop landmark locations with google street view. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13*, page nil, - 2013. cited By 4.

- [27] K. Hara, J. E. Froehlich, S. Azenkot, M. Campbell, C. L. Bennett, V. Le, S. Pannella, R. Moore, K. Minckler, and R. H. Ng. Improving public transit accessibility for blind riders by crowdsourcing bus stop landmark locations with google street view: An extended analysis. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 6(2):1–23, 2015. cited By 8.
- [28] M. Hartong, R. Goel, and D. Wijesekera. *Transportation*, pages 330–355. Critical Infrastructure Protection. Springer Nature, 2012.
- [29] C.-M. Huang, C.-C. Yang, and C.-Y. Tseng. A telematics service discovery platform using the distributed peer-to-peer networking system. *Software: Practice and Experience*, 43(6):641–662, 2013. cited By 0.
- [30] T. Hurtig. A mobile multimodal dialogue system for public transportation navigation evaluated. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI '06*, MobileHCI '06, pages 251–254, New York, NY, USA, - 2006. ACM.
- [31] T. Ito. Simulation-based approaches towards congestion problems. In *2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS)*, pages 648–653, 5 2008. cited By 0.
- [32] T. Ito and T. Hiramoto. A general simulator approach to etc toll traffic congestion. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(5):597–607, 2006. cited By 4.
- [33] A. Iwainsky. Navigation support for old and handicapped persons in urban regions. In *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech '15*, CompSysTech '15, pages 128–135, New York, NY, USA, - 2015. ACM.
- [34] A. Jayakumar and A. Durafe. Spread spectrum radar using rake receiver. In *Proceedings of the International Conference & Workshop on Emerging Trends in Technology - ICWET '11*, ICWET '11, pages 1366–1366, New York, NY, USA, - 2011. ACM. no pdf.
- [35] R. A. Junaibi and A. M. Farid. A method for the technical feasibility assessment of electrical vehicle penetration. In *2013 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, page nil, 4 2013.
- [36] J. Kim, M. Ji, J. il Jeon, S. Park, and Y. Cho. K-nn based positioning performance estimation for fingerprinting localization. In *2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pages 468–470, 7 2016.

- [37] C. Koch and I. Brilakis. Pothole detection in asphalt pavement images. *Advanced Engineering Informatics*, 25(3):507–515, 2011. cited By 80.
- [38] C. Koch, G. M. Jog, and I. Brilakis. Automated pothole distress assessment using asphalt pavement video data. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(4):370–378, 2013. cited By 26.
- [39] S. Kolyaie, M. Delavar, and M. Malekc. A framework of spatial decision support system for trip planning using activity-based modeling. In -, volume 2, pages 1053–1058, 2008. cited By 0, no pdf.
- [40] N. Li and S. Wang. Safety evaluation of road traffic on grey theory. *Journal of Information and Computational Science*, 9(7):1983–1990, 2012. cited By 0, no pdf.
- [41] X. Li, Z. Sun, Q. Chen, and J. Wang. A novel path tracking controller for ackerman steering vehicles. In -, pages 4177–4182, 2013. cited By 0, no pdf.
- [42] X. Li, Z. Sun, A. Kurt, and Q. Zhu. A sampling-based local trajectory planner for autonomous driving along a reference path. In *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pages 376–381, 6 2014. cited By 4.
- [43] Z. Li, M. Rahman, R. Robucci, and N. Banerjee. Laststep. In *Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments - BuildSys '16*, BuildSys '16, pages 257–258, New York, NY, USA, - 2016. ACM.
- [44] C.-L. Liu. Best-path planning for public transportation systems. In *Proceedings. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, volume 2002-January, pages 834–839, - 2002. cited By 16.
- [45] C.-L. Liu and T.-W. Pai. Methods for path and service planning under route constraints. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 25(1):40–49, 2006. cited By 3, no pdf.
- [46] B. Ludwig, M. Hacker, R. Schaller, B. Zenker, A. V. Ivanov, and G. Riccardi. Tell me your needs. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '11*, EICS '11, pages 157–160, New York, NY, USA, - 2011. ACM.
- [47] A. Maimaris and G. Papageorgiou. A review of intelligent transportation systems from a communications technology perspective. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 54–59, 11 2016. cited By 0.

- [48] M. D. Marchi, J. Eriksson, and A. G. Forbes. Transitrace. In *Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems - GIS '15*, SIGSPATIAL '15, pages 67:1–67:4, New York, NY, USA, - 2015. ACM.
- [49] A. Mardani, E. K. Zavadskas, Z. Khalifah, A. Jusoh, and K. M. Nor. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: a systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 31(3):359–385, 2015.
- [50] L. H. P. M. Mobile. Abweichungserkennung für navigate, navigate stufe4n äbweichungsanalyse".
- [51] J. Montoya, S. Rathinam, and Z. Wood. Multiobjective departure runway scheduling using dynamic programming. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(1):399–413, 2014. cited By 4.
- [52] T. Morenz and R. Meier. An estimation-based automatic vehicle location system for public transport vehicles. In *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 850–856, 10 2008. cited By 0.
- [53] C. Morris, J. Easton, and C. Roberts. Position paper: Ontology in the rail domain - the railway core ontologies. In -, volume 2, pages 285–290, 2015. cited By 0, no pdf.
- [54] M. Müller-Hannemann and S. Schirra. *Chapter 10. Challenges in Algorithm Engineering*, volume 5971 LNCS of *Algorithm Engineering*, pages 446–453. Springer Nature, 2010. cited By 0.
- [55] V. D. Pyrialakou, K. Gkritza, and J. D. Fricker. Accessibility, mobility, and realized travel behavior: Assessing transport disadvantage from a policy perspective. *Journal of Transport Geography*, 51(nil):252–269, 2016.
- [56] R. Rawassizadeh, E. Momeni, C. Dobbins, J. Gharibshah, and M. Pazzani. Scalable daily human behavioral pattern mining from multivariate temporal data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 28(11):3098–3112, 2016. cited By 0.
- [57] G. Retscher and T. Hecht. Investigation of location capabilities of four different smartphones for lbs navigation applications. In *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pages 1–6, 11 2012. cited By 0.
- [58] A. Riener, A. Ferscha, P. Frech, M. Hackl, and M. Kaltenberger. Subliminal vibro-tactile based notification of co2economy while driving.

- In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '10*, pages 92–101, - 2010. cited By 8.
- [59] H. Salehinejad, F. Pouladi, and S. Talebi. A new route selection system: Multiparameter ant algorithm based vehicle navigation approach. In *2008 International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control & Automation*, pages 1089–1094, - 2008. cited By 8.
- [60] J. Sánchez, M. de Borba Campos, M. Espinoza, and L. B. Merabet. Accessibility for people who are blind in public transportation systems. In *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication - UbiComp '13 Adjunct*, UbiComp '13 Adjunct, pages 753–756, New York, NY, USA, - 2013. ACM.
- [61] J. Sánchez and M. Sáenz. Metro navigation for the blind. *Computers & Education*, 55(3):970–981, 2010. cited By 12.
- [62] J. Schaap, S. Zlatanova, and P. Van Oosterom. Towards a 3d geo-data model to support pedestrian routing in multimodal public transport travel advices. In -, pages 63–78, 2012. cited By 3, no pdf.
- [63] R. Schaller. Mobile tourist guides. In *Proceedings of the 5th Information Interaction in Context Symposium on - IIX '14*, pages 320–323, - 2014. cited By 2.
- [64] B. T. Sharef, R. A. Alsaqour, and M. Ismail. Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 40(1):363–396, 2014. cited By 64.
- [65] S. Soderi, H. Viittala, J. Saloranta, A. Mancini, M. Hämäläinen, and J. Iinatti. Emulation of secure wi-fi communication: A performance gap analysis against a virtual test-bed. In *2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, pages 226–231, Nov 2013. Last accessed Mon Feb 13 13:58:56 2017.
- [66] F. Song, R. Li, and H. Zhou. Feasibility and issues for establishing network-based carpooling scheme. *Pervasive and Mobile Computing*, 24(nil):4–15, 2015. cited By 14.
- [67] T. Stockx, B. Hecht, and J. Schöning. Subwayps. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems - SIGSPATIAL '14*, SIGSPATIAL '14, pages 93–102, New York, NY, USA, - 2014. ACM.

- [68] M. Swobodzinski and M. Raubal. An indoor routing algorithm for the blind: Development and comparison to a routing algorithm for the sighted. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(10):1315–1343, 2009. cited By 19.
- [69] J. Tang, Y. Song, H. J. Miller, and X. Zhou. Estimating the most likely space-time paths, dwell times and path uncertainties from vehicle trajectory data: A time geographic method. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 66(176-194):176–194, 2016. cited By 4.
- [70] J. Teutsch and B. Stegeman. Virtual stop bars: From block control towards low visibility automation support. In *2016 Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS)*, pages 6E2–1–6E2–18, 4 2016.
- [71] S.-K. TSAI. Wader. In *Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '07*, Assets '07, pages 267–268, New York, NY, USA, - 2007. ACM.
- [72] R. van Solingen and E. Berghout. *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999.
- [73] P. Verma and M. Verma. Techniques for smart amp; innovative parking, critical observations and future directions: A review. pages 431–437, 2016.
- [74] D. Wagner. Algorithms and models for railway optimization. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2748:198–206, 2003. cited By 2.
- [75] X. Wang, X. Zheng, Q. Zhang, T. Wang, and D. Shen. Crowdsourcing in its: The state of the work and the networking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(6):1596–1605, 2016. cited By 2.
- [76] M. Yang, C. Chen, L. Wang, X. Yan, and L. Zhou. Bus arrival time prediction using support vector machine with genetic algorithm. *Neural Network World*, 26(3):205–217, 2016. cited By 1, no pdf.
- [77] J. Yousaf, J. Li, L. Chen, J. Tang, and X. Dai. Generalized multipath planning model for ride-sharing systems. *Frontiers of Computer Science*, 8(1):100–118, 2013. cited By 5.
- [78] J. Yousaf, J. Li, L. Chen, J. Tang, X. Dai, and J. Du. *Ride-Sharing: A Multi Source-Destination Path Planning Approach*, volume 7691 LNAI

- of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 815–826. Springer Nature, 2012. cited By 2.
- [79] H. Yu and F. Lu. A multi-modal route planning approach with an improved genetic algorithm. In -, volume 38, pages 343–348, 2010. cited By 4.
- [80] H. Yu and F. Lu. Advanced multi-modal routing approach for pedestrians. In *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, pages 2349–2352, 4 2012. cited By 7.
- [81] W. Yuan and M. Schneider. Supporting 3d route planning in indoor space based on the lego representation. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness - ISA '10*, pages 16–23, - 2010. cited By 8.
- [82] B. Zenker and B. Ludwig. Rose. In *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application & Systems - Mobility '09*, Mobility '09, pages 16:1–16:5, New York, NY, USA, - 2009. ACM.
- [83] J. Zhou, C. L. P. Chen, and L. Chen. A small-scale traffic monitoring system in urban wireless sensor networks. In *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pages 4929–4934, 10 2013. cited By 2.
- [84] J. Zhou, C. L. P. Chen, L. Chen, and W. Zhao. A user-customizable urban traffic information collection method based on wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3):1119–1128, 2013. cited By 13.
- [85] G. Zodik. Cognitive and contextual enterprise mobile computing. In *Proceedings of the 9th India Software Engineering Conference on - ISEC '16*, ISEC '16, pages 11–12, New York, NY, USA, - 2016. ACM.

