



# **Evaluation digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität am Beispiel der Smart City Bamberg**

## **Masterarbeit**

*Im Studiengang Wirtschaftsinformatik  
der Fakultät Wirtschaftsinformatik  
und Angewandte Informatik  
der Otto-Friedrich-Universität Bamberg*

Themenstellerin: Prof. Dr. Daniela Nicklas

vorgelegt von: Felicitas Vivien Borkes  
2003899  
Erlichstraße 47  
96050 Bamberg  
+49 151 64532424  
felicitas-vivien.borkes@stud.uni-bamberg.de

Abgabetermin: 30. September 2024

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	iii
Abbildungsverzeichnis .....	iv
Tabellenverzeichnis .....	v
1 Über die Bedeutung von digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität .....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziele der Arbeit.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit .....	3
2 Theoretischer Hintergrund.....	4
2.1 Kurzer Überblick zum Begriff der barrierefreien Mobilität .....	4
2.2 Design Science Research .....	5
2.3 Bewertungsmöglichkeiten für digitale Unterstützungssysteme.....	7
2.3.1 Technologieakzeptanz .....	7
2.3.2 Benutzerfreundlichkeit .....	9
2.3.3 Softwarequalität .....	9
3 Anforderungsanalyse zur Erfassung des Status Quo .....	12
3.1 Vorgehen.....	12
3.2 Involvierte Akteure .....	13
3.3 Organisationale Strukturen .....	17
3.4 Technologische Strukturen .....	18
4 Entwicklung des Prüfkataloges.....	22
4.1 Anforderungskatalog .....	22
4.2 Evaluation von Tools .....	24
4.3 Evaluation von Datenquellen.....	27
5 Evaluation des Prüfkataloges.....	29
5.1 Erhebung des Prüfkataloges am Beispiel der Smart City Bamberg .....	29
5.1.1 Vorgehen zur Evaluation von Tools.....	30
5.1.2 Vorgehen zur Evaluation von Datenquellen .....	31
5.1.3 Ergebnisse .....	35
5.2 Feedback durch Experten .....	38
6 Diskussion.....	42
7 Zusammenfassung und Ausblick .....	50
Literaturverzeichnis .....	53
Anhangsverzeichnis.....	59

## **Abkürzungsverzeichnis**

Apps	Mobile Applikationen
DSR	Design Science Research
MARS	Mobile App Rating Scale
OSM	OpenStreetMap
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
SUS	System Usability Scale
TAM	Technology Acceptance Model

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hevner et al. (2004) .....	6
Abb. 2.2: TAM nach Davis (1986).....	8
Abb. 2.3: Eigene Darstellung in Anlehnung an Grady und Caswell (1987).....	10
Abb. 2.4: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stoyanov et al. (2015).....	11
Abb. 3.1: Ausschnitt von der Anwendung Wheelmap (Sozialhelden e.V., 2024).....	19
Abb. 5.1: Tagging der Wegoberfläche Option 1 .....	32
Abb. 5.2: Tagging der Wegoberfläche Option 2 .....	32
Abb. 5.3: Ausschnitt der Auswertung .....	35
Abb. 5.4: Generierte Route im Openrouteservice .....	37

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Ergebniszusammenfassung der Zielgruppeninterviews .....	17
Tab. 3.2: Überblick der aktuellen technologischen Strukturen.....	21
Tab. 4.1: Anforderungskatalog .....	24
Tab. 5.1: Anwendungen für Bamberg .....	30
Tab. 5.2: Verwendetes OSM Schema.....	34
Tab. 6.1: Handlungsempfehlungen.....	45

# **1 Über die Bedeutung von digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität**

## **1.1 Motivation**

Einschränkungen der Barrierefreiheit sind für nicht-mobilitätseingeschränkte Menschen oft unsichtbar. Auf dem Weg zum Arzttermin kann eine Treppe in Kombination mit einem defektem Aufzug jedoch für einen Menschen im Rollstuhl schnell ein unüberwindbares Hindernis darstellen und die Exklusion vom gesellschaftlichen Leben begründen. Die digitale Verfügbarkeit der korrekten Informationen über in diesem Fall, zum einen, das Vorhandensein von Treppe & Aufzug und, zum anderen, der aktuellen Funktionsunfähigkeit des Aufzuges, ist für Betroffene von erheblichem Nutzen und demnach ein entscheidender Aspekt inklusiver und barrierefreier städtischer Umgebungen. Darüber hinaus sind Informationssysteme im modernen gesellschaftlichen Umfeld allgegenwärtig geworden (Yoo, 2010). Damit bildet das Vorhandensein adäquater digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität eine wichtige Grundlage barrierefreier Mobilität, indem sie für deren Anwender relevante und aktuelle Daten bereithält und so eine logistische Navigation im Alltag und Urlaub ermöglicht, die frei von Barrieren – wie zum Beispiel defekten Aufzügen – ist. Die Gruppe der Anwender und Beteiligten solcher digitalen Unterstützungssysteme ist dabei nicht nur auf mobilitätseingeschränkte Menschen beschränkt: Neben Rollstuhlfahrern und Familien mit Kinderwagen sind beispielsweise auch die Entwickler solcher Systeme sowie Entscheidungsträger städtischer Planung – da diese letztendlich die Verantwortung für den Abbau von Barrieren tragen – involviert.

Die aktuelle Literatur bietet hier derzeit weder einen einheitlichen Überblick über die Anforderungen an die digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität noch Möglichkeiten deren Qualität und Effektivität standardisiert und problemorientiert zu erfassen. Gleichzeitig hat die Wissenschaft aber auch die ethische Verantwortung im Dienste des Menschen zu stehen (Deutscher Hochschulverband, 2010) und somit zu erforschen, wie soziale Inklusion und Gleichberechtigung erreicht werden können und Werkzeuge dafür bereitzustellen. Weiterhin prägt die digitale Ubiquität unsere Gesellschaft zunehmend (Baskerville et al., 2019) und digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität stellt immer mehr einen wesentlichen Bestandteil inklusiver Teilhabe dar. Deshalb ist es unerlässlich, die Wirksamkeit von digitalen Instrumenten zur Förderung barrierefreier Mobilität zu bewerten, um somit gezielte und konstruktive Verbesserungen zu ermöglichen. Nur eine objektive Bewertung kann einen Vergleich zwischen verschiedenen Systemen ermöglichen und eine Entscheidungsgrundlage für Verbesserungen (z.B. welche Funktionen werden noch benötigt, damit Betroffene die

App nutzen? An welchen Stellen fehlen welche Daten und in welchem Format?) bieten.

## **1.2 Ziele der Arbeit**

Um solch einen Überblick zu ermöglichen und Forschung und Praxis eine Möglichkeit zu geben, die vorhandenen Anwendungen objektiv bewerten zu können, steht daher im Zentrum der Masterarbeit folgende Forschungsfrage:

*Wie kann digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität evaluiert werden?*

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein Design-Science-Research-Ansatz nach Hevner et al. (2004) verfolgt, der Theorie und Praxis integriert, mit dem Ziel iterativ einen Bewertungskatalog zu entwickeln und zu evaluieren. Der Prüfkatalog soll dabei das Artefakt der Masterarbeit darstellen und Antwort auf die Forschungsfrage liefern.

Aus diesem Ansatz ergeben sich weitere Teilziele: Zum einen ist es erforderlich, Klarheit über das Themenumfeld zu schaffen. Das bedeutet insbesondere zu analysieren, welche Akteure involviert sind, welche technologischen Anwendungen es gibt, wie diese Anwendung bewertet werden können und welche Anforderungen an barrierefreie Mobilität gestellt werden. Hierfür umfasst die Methodik Literaturrecherche & problemorientierte Interviews mit Anwendern aus den Zielgruppen, um zunächst basierend auf Hevner et al. (2004) einen Überblick über das Themenfeld und darüber hinaus einen allgemeinen Anforderungskatalog zu erarbeiten.

Zum anderen muss nach Entwicklung des Bewertungskataloges, dieser hinsichtlich seiner Effektivität evaluiert werden. Dafür wurden eine Fallstudie, bei der der Prüfkatalog für die Smart City Bamberg erhoben wurde, und Experteninterviews durchgeführt.

Insgesamt soll die Masterarbeit am Ende nicht nur eine einheitliche und standardisierte Möglichkeit liefern, die digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität zu evaluieren, sondern damit auch wertvolle Erkenntnisse für Stadtplaner, politische Entscheidungsträger und Technologieentwickler bieten, um bestehende Systeme zu verbessern und zu zukünftigen Designs beizutragen. Weiterhin leistet diese Forschungsarbeit damit einen Beitrag zur akademischen Gemeinschaft, indem ein strukturierter Ansatz zur Bewertung digitaler Tools im Kontext barrierefreier Mobilität bereitgestellt wird – welcher so jetzt noch nicht existiert.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Basierend auf den vorherigen Ausführungen gestaltet sich der Aufbau der Arbeit wie folgt: Nach der Einführung in das Thema folgt ein Überblick über die theoretischen Hintergründe. Hier fließen Ergebnisse der Literaturrecherche ein, um zunächst den Begriff der barrierefreien Mobilität abzugrenzen sowie einen Überblick darüber zu geben, welche Ansätze existieren um digitale Unterstützung zu bewerten und den Design Science Research Ansatz nach Hevner et al. (2004) zu erläutern. Danach folgen die Ergebnisse der Anforderungsanalyse mit einem Überblick über das Themenumfeld. Basierend darauf wird in Kapitel 4 der Anforderungskatalog zusammengestellt, auf Basis dessen der Prüfkatalog entwickelt und beschrieben wird. Im nachfolgenden Kapitel 5 wird die Evaluation des Prüfkataloges beschrieben und welche Änderungen und Erkenntnisse sich daraus ergeben haben. Daran anschließend werden in Kapitel 6 die Ergebnisse diskutiert und sich daraus ergebende Handlungsempfehlungen erläutert. Zusätzlich werden hier Limitationen der Arbeit hervorgehoben und weitere Forschungsmöglichkeit eruiert. Den Abschluss der Arbeit bildet dann ein kurzes Fazit.



## **2 Theoretischer Hintergrund**

### **2.1 Kurzer Überblick zum Begriff der barrierefreien Mobilität**

Um digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität evaluieren zu können, ist es zu Beginn notwendig, den Begriff der barrierefreien Mobilität zu charakterisieren. Dieser besteht zum einen aus dem Begriff der Mobilität. Schopf (2001) stellt heraus, dass sich, basierend auf der lateinischen Wortherkunft des Wortes – es bedeutet Beweglichkeit – drei unterschiedliche Definitionen ergeben. Da im Zentrum der Arbeit betrachtet wird, wie sich mobilitätseingeschränkte Menschen in der Öffentlichkeit bewegen, kann sich Mobilität im Kontext der Arbeit folglich als „ein Prozess der räumlichen Bewegung von Personen und Gütern“ (Schopf, 2001, S. 5) definieren lassen.

Hierbei ist insbesondere anzumerken, dass sich der Begriff der Mobilität in Praxis und Forschung häufig allein auf den Verkehrskontext beschränkt. Bei Bewertungen der Barrierefreiheit in der Mobilität wird infolgedessen häufig nur der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) betrachtet, wie beispielsweise das Inklusionsbarometer zur Mobilität von Bolz et al. (2022) demonstriert. Dieses Verständnis erweist sich jedoch als zu kurz gegriffen. Denn für einen Menschen, der durch seinen Rollstuhl insoweit eingeschränkt ist, dass er keine Stufen bewältigen kann, besteht Mobilität nicht nur aus der Fahrt mit dem ÖPNV und dem Aufenthalt an der Haltestelle. Stattdessen stellt die mit dem ÖPNV bewältigte Strecke oft nur eine Teilstrecke in dem Prozess seiner räumlichen Bewegung dar, denn er muss von seinem eigentlichen Startpunkt, beispielsweise der eigenen Wohnung, zunächst barrierefrei zur Haltestelle kommen und nach Ankunft mit dem ÖPNV von der Haltestelle zu seinem eigentlichen Ziel, beispielsweise einer Arztpraxis, kommen. Bei dem Ziel ergibt sich darüber hinaus auch die Herausforderung, dass das Gebäude selbst die Mobilität behindern kann, indem zum Beispiel kein Aufzug vorhanden ist.

Inwieweit im Allgemeinen Barrierefreiheit besteht, erläutert das Behindertengleichstellungsgesetz indem es den Begriff der Barrierefreiheit wie folgt charakterisiert:

„Barrierefrei sind bauliche und sonstige Anlagen, Verkehrsmittel, technische Gebrauchsgegenstände, Systeme der Informationsverarbeitung, akustische und visuelle Informationsquellen und Kommunikationseinrichtungen sowie andere gestaltete Lebensbereiche, wenn sie für Menschen mit Behinderungen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe auffindbar, zugänglich und nutzbar sind. Hierbei ist die Nutzung behinderungsbedingt notwendiger Hilfsmittel zulässig.“ (BGG, 2002, §4)

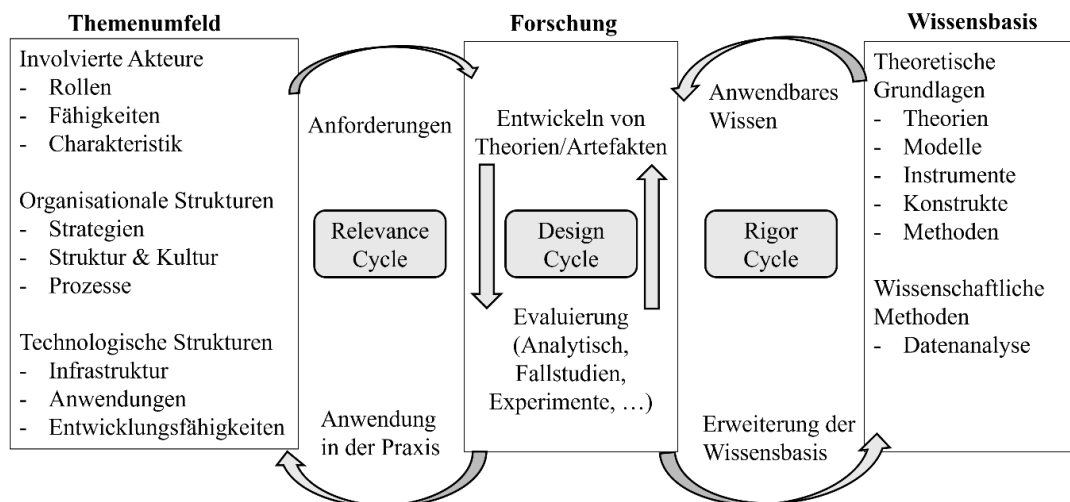
Aus diesen Gründen erfordert der Begriff der barrierefreien Mobilität eine Betrachtung möglicher Mobilitätseinschränkungen und welche Barrieren dann Einschränkungen in der Mobilität verursachen. Diese Betrachtung wird im Kapitel 3.2 näher erläutert.

## **2.2 Design Science Research**

Um einen Prüfkatalog zur Evaluation digitaler Unterstützung von barrierefreier Mobilität zu entwickeln, bietet sich insbesondere der Forschungsansatz des Design Science Research (DSR) an. Denn während die Verhaltensforschung versucht Modelle und Theorien zu finden, die erklären oder vorhersagen, wie und warum Menschen und Organisationen sich verhalten, steht im Fokus des DSR das Lösen praxisrelevanter Probleme (March & Smith, 1995). Im DSR gibt es inzwischen einige Modelle, die eine Orientierung darüber bieten, wie ein Forschungsprojekt im Bereich des DSR durchgeführt werden kann. Eines der bekanntesten Modelle ist hierbei das Modell von Hevner et al. (2004) ergänzt um sieben Leitlinien und einer erläuternden 3-Zyklen-Sicht (Hevner, 2007).

Das Modell basiert auf der Überzeugung, dass Forschungsarbeiten in diesem Bereich sowohl rigorose theoretische Ansätze als auch praktische Relevanz bieten müssen. Wie Abbildung 2.1 verdeutlicht, wird das Modell durch die drei Bereiche Themenumfeld, Informationssystemsforschung und Wissensbasis charakterisiert. Die Wissensbasis stellt mit seinen bestehenden Theorien, Methoden und Wissensbeständen das Fundament der durchgeführten Forschung dar. Durch Anwendung wissenschaftlicher Methoden und Erkenntnisse wird sichergestellt, dass die Forschungsergebnisse solide bleiben und wissenschaftlich stringent sind. Dadurch, dass nach Abschluss die gewonnenen Forschungserkenntnisse die Wissensbasis wiederum erweitern, entsteht ein Kreislauf, den Hevner et al. (2004) als „Rigor Cycle“ bezeichnen. Im Zentrum der Forschung selbst steht ein iterativer Prozess aus gestalten und evaluieren. Forscher entwickeln neue Lösungen, implementieren sie und bewerten, wie gut sie die identifizierten Probleme lösen. Dies wird als „Design Cycle“ betitelt. Um sicherzustellen, dass die Forschung relevante Probleme aus der Praxis korrekt aufgreift und dafür nützliche und praktikable Lösungen bereitstellt, wird im „Relevance Cycle“ zunächst das Themenumfeld charakterisiert. Hierbei werden sowohl die involvierten Akteure und ihre individuellen Anforderungen näher betrachtet, als auch organisationale und technologische Strukturen herausgearbeitet. Die identifizierten Bedürfnisse werden dann in die Forschung integriert. In der Forschung werden die Zyklen dabei immer wieder durchlaufen, mit dem Ziel solange ein Artefakt zu entwickeln und durch Evaluation zu überprüfen, bis es das Problem lösen kann. Artefakt können im Sinne des DSR Konstrukte, Modelle, Methoden oder Instanziierungen sein (March & Smith, 1995).

Die explizite Betrachtung und Unterteilung des Umfelds ist hilfreich, da insbesondere Informationssysteme komplexe soziotechnische Systeme sind, welche ein Zusammenspiel aus Menschen, Aufgaben und Technik bilden (Ardelt et al., 2011). Hevners Modell hilft hierbei die unterschiedlichen Anforderungen, Probleme und Möglichkeiten der involvierten Bestandteile deutlicher herauszuarbeiten und darzustellen.



**Abb. 2.1: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hevner et al. (2004)**

Um für die Durchführung von DSR Orientierung zu geben und wissenschaftliche Stringenz zu fördern, haben Hevner et al. (2004) weiterhin sieben Leitlinien formuliert. Die erste Leitlinie fordert, dass die Forschung ein nützliches Artefakt entwickelt, welches ein relevantes Problem in der Praxis löst. Die zweite Leitlinie betont die Problemrelevanz. So muss das Forschungsproblem von praktischer Bedeutung sein und nicht nur theoretische Relevanz aufweisen. Die dritte Leitlinie betont die Notwendigkeit einer Evaluierung des Artefakts. Es muss sorgfältig getestet und bewertet werden, um sicherzustellen, dass es das Problem effektiv löst. Die vierte Leitlinie fordert eine wissenschaftliche Fundierung, indem die Forschung auf existierenden Theorien und Methoden aufbaut. Die fünfte beschreibt, dass Forschung im DSR iterativ erfolgen muss, indem mehrere Zyklen von Entwicklung und Evaluation durchlaufen werden. Die sechste Leitlinie betont die Relevanz für die Forschungsgemeinschaft, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse auch einen Beitrag zur Wissensbasis leisten. Schlussendlich betont die siebte Leitlinie eine Kommunikation der Ergebnisse sowohl an weitere Forscher als auch an Praktiker.

Neben dem Ansatz von Hevner et al. (2004) gibt es im DSR weitere Forschungsansätze, wie etwa das sechs Phasen Modell von Peffers et al. (2007) oder der vierstufige Erkenntnisprozess von Österle (2010). Ihnen allen ist gemein, dass zunächst eine Anforderungsanalyse erfolgt, dann ein Artefakt entworfen, anschließend evaluiert und weiter verbreitet wird. Dabei weisen alle Ansätze einen iterativen Charakter auf, um das Artefakt kontinuierlich verbessern zu können. Das Modell von Peffers et al. (2007)

zeichnet sich dabei durch sein starkes prozedurales Vorgehen und seinen Schwerpunkt auf die klare Trennung der einzelnen Phasen im DSR-Prozess aus. Hevners Ansatz bietet mit seiner methodologischen Offenheit hingegen eine größere Flexibilität (Woo et al., 2014), da manchmal interaktive Prozesse durchlaufen werden, die nicht immer einer linearen Struktur laufen. Darüber hinaus bieten Hevner et al. (2004) mit ihrem Modell die Möglichkeit eine detaillierte Übersicht über das Themenumfeld und zugehöriger Forschung zu erhalten.

Die weiteren Ansätze wurden entworfen, da das Modell von Hevner et al. (2004) teilweise in Kritik steht. So merken beispielsweise Peffers et al. (2008) an, dass es Hevners Modell an Methodik mangelt. Auch Gregor und Hevner (2013) selbst kritisieren, dass der Übergang zwischen wissenschaftlicher Theorie und praktischer Artefaktentwicklung fließend ist, was zu Verwirrung darüber führen kann, was tatsächlich als wissenschaftlicher Beitrag gilt. Nichtsdestotrotz hat sich Hevners Modell zu einem weit verbreiteten Standard für die Erarbeitung innovativer Lösungen entwickelt, da es unter Einhaltung wissenschaftlicher Strenge, eine größtmögliche Flexibilität bietet (Woo et al., 2014). Da das Thema dieser Arbeit ebenfalls innovativen Charakter vorweist und das Ergebnis als Ganzes insbesondere in der wissenschaftlichen Forschung ein Novum darstellt, bietet sich Hevners Modell trotz der Kritik an. Es bietet die Chance erstmalig, mithilfe wissenschaftlicher Methoden und aufbauend auf wissenschaftliche Erkenntnisse, einen Bewertungskatalog zu entwickeln. Eine Verbesserung kann dann in der weitergehenden Forschung erfolgen und sich beispielsweise auf die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse und weitere theoretische Erkenntnisgewinne fokussieren.

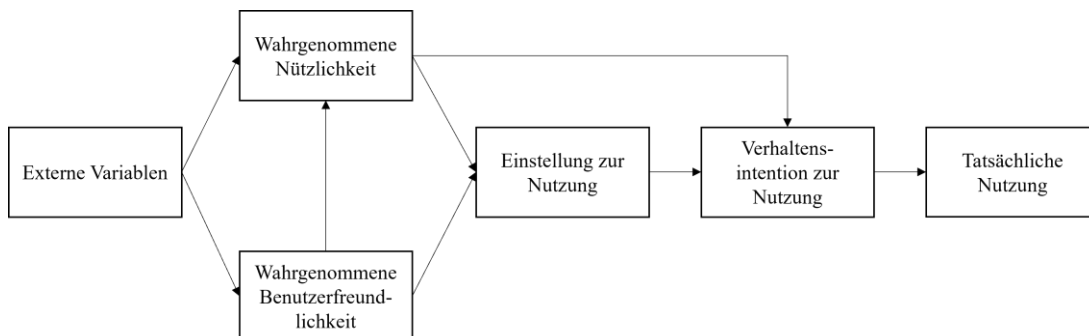
## **2.3 Bewertungsmöglichkeiten für digitale Unterstützungssysteme**

### **2.3.1 Technologieakzeptanz**

Um einen Prüfkatalog zur Evaluation digitaler Unterstützung zu entwerfen, ist es zunächst notwendig, sich einen Überblick darüber zu verschaffen, wie digitale Unterstützung im Allgemeinen bewertet werden kann. Hierzu existieren einige Modelle, die Informationssysteme und Software als Ganzes evaluieren beziehungsweise hervorheben, wann eine Technologie so qualitativ hochwertig entworfen ist, dass sie genutzt wird. Im Folgenden wird ein Überblick über die für diese Arbeit relevantesten Modelle gegeben. Weitere Modelle zur Bewertung von digitalen Unterstützungssystemen umfassen beispielsweise die McCall (1977) und Boehms (Boehm et al., 1978) Modelle zur Softwarequalität sowie der internationale Standard ISO 25010 (International Organization for Standardization, 2023). Diese wurden jedoch nicht näher betrachtet, da

sie ihren Fokus mehr auf den Produktlebenszyklus einer Software legen oder den erklärten Modellen stark ähneln, sodass weitere Beschreibungen redundant wären.

Eine Theorie, die sich konkret mit der Entscheidung über die Nutzung einer Technologie beschäftigt, ist das „Technology Acceptance Model“ (TAM), welches 1986 von Davis veröffentlicht wurde. Davis hat das TAM basierend auf der Theorie des überlegten Handelns nach Fishbein und Ajzen (1975) weiterentwickelt, um spezifisch die Nutzerakzeptanz von Informationssystemen zu modellieren. Weiterhin betonte King (2006) neben der guten Verständlichkeit auch die Tatsache, dass das TAM verlässliche Eingangsvariablen aufweist, welche die Nutzung einer Technologie erklären können. Davis wollte ein Modell entwickeln, dass theoretisch fundiert und kompakt ist; gleichzeitig aber auch fähig genug, das Nutzungsverhalten von einer großen Bandbreite an verschiedensten Technologien erklären zu können. Das TAM bietet eine gute Möglichkeit nicht nur Punkte zu identifizieren, warum ein System von Nutzern eher nicht akzeptiert wird, sondern darüber hinaus auch zu erfahren, in welchen Punkten Verbesserungsbedarf besteht (Davis et al., 1989). Eine Übersicht über das Modell findet sich in Abbildung 2.2. Im Zentrum des Modells stehen die wahrgenommene Nützlichkeit und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit, welche die Einstellung zur Nutzung einer Technologie und dadurch folglich auch die tatsächliche Nutzung beeinflussen. Die wahrgenommene Nützlichkeit ist dabei definiert als „der Grad, in dem ein Individuum glaubt, dass die Verwendung eines bestimmten Systems seine Arbeitsleistung verbessern würde.“ (Davis, 1986, S. 26) und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit ist definiert als „der Grad, in dem ein Einzelner glaubt, dass die Verwendung eines bestimmten Systems frei von physischer und geistiger Anstrengung ist.“ (Davis, 1986, S. 26). Das TAM zeigt auf, dass, wenn man digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität evaluieren möchte, es von besonderer Bedeutung ist, sowohl Benutzerfreundlichkeit als auch Nützlichkeit zu evaluieren. Um die Nützlichkeit einer digitalen Unterstützung für barrierefreie Mobilität zu evaluieren, steht in erster Linie der Funktionsumfang der Anwendung im Fokus. Welche Anforderungen an diesen bestehen, wird in der Anforderungsanalyse in Kapitel 3 näher untersucht.



**Abb. 2.2: TAM nach Davis (1986)**

### 2.3.2 Benutzerfreundlichkeit

Um die Benutzerfreundlichkeit eines digitalen Unterstützungssystems zu evaluieren, hat sich insbesondere die „System Usability Scale“ (SUS) von Brooke (1996) bewährt. Bangor et al. (2009) beschreiben die SUS als vielseitige und äußerst robuste Methode, um die Benutzerfreundlichkeit eines Systems zu erfassen, da sie unabhängig von der Art des Systems verwendet werden kann und mit geringem Aufwand zügig Erkenntnisse über die Benutzerfreundlichkeit liefert. Nach der Anwendung eines Systems bewerten die Nutzer die folgenden zehn Aussagen:

- Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.
- Ich empfinde das System als unnötig komplex.
- Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.
- Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.
- Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.
- Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.
- Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.
- Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.
- Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.
- Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.

Jede Aussage wird auf einer Likert-Skala von 1 bis 5 bewertet, wobei 1 "stimme überhaupt nicht zu" und 5 "stimme völlig zu" bedeutet. Dabei wechseln die Aussagen zwischen positiv und negativ formulierten Fragen, um Verzerrungen zu minimieren.

### 2.3.3 Softwarequalität

Neben der Nützlichkeit, in Form eines relevanten Funktionsumfanges, und der Benutzerfreundlichkeit einer Anwendung, existieren in der Literatur weitere Modelle, welche die Qualität einer Software in Gänze charakterisieren. Das FURPS-Modell ist zur Evaluation digitaler Anwendung dabei besonders geeignet, da es neben funktionalen Anforderungen – also die eigentlichen Aufgaben einer Anwendung – auch nicht-funk-

tionale Anforderungen, wie beispielsweise Verlässlichkeit, betrachtet (Grady & Caswell, 1987). Es hat sich über die Jahre als verlässliche, flexible und praxisnahe Methodik erwiesen (Samadhiya et al., 2010). Insofern ist es in der Lage die Qualität einer Anwendung sowohl aus Nutzersicht als auch aus technischer Sicht zu evaluieren und stellt durch seine klare Struktur sicher, dass alle relevanten Aspekte in der Softwareentwicklung berücksichtigt werden. Der Modellname FURPS stellt ein Akronym aus den Anfangsbuchstaben der englischen Begriffe für die fünf Bewertungskategorien Funktionalität (englisch: functionality), Benutzerfreundlichkeit (englisch: usability), Zuverlässigkeit (englisch: reliability), Leistungsfähigkeit (englisch: Performance) und Wartbarkeit (englisch: supportability) dar. Den Kategorien werden unterschiedliche Aspekte von digitalen Anwendungen, die es in der Softwareentwicklung zu beachten gilt, zugeordnet. Die Kategorie Funktionalität bezieht sich auf jene Funktionen, die die Anforderungen der Benutzer erfüllen. Dies umfasst in erster Linie die Vollständigkeit an relevanten Aufgaben aber auch die Sicherheit der Software. Die Benutzerfreundlichkeit erfasst wie einfach und intuitiv die Software letztendlich für den Nutzer zu bedienen ist. Neben der Ästhetik und humanen Faktoren werden hier auch die Konsistenz und die Dokumentation betrachtet. Bei der Zuverlässigkeit steht vor allem im Fokus, dass die Software konstant und fehlerfrei funktioniert. Neben der Korrektheit der Anwendung involviert dies unter anderem auch die Häufigkeit von Störungen. Die Leistungsfähigkeit wird neben anderen Punkten insbesondere durch die Antwortzeit charakterisiert. Innerhalb der Wartbarkeit werden beispielsweise Kompatibilität zu anderen Systemen und Konfigurierbarkeit betrachtet. Abbildung 2.3 bietet eine vollständige Übersicht aller Merkmale.

Funktionalität (Functionality)	Benutzerfreundlichkeit (Usability)	Zuverlässigkeit (Reliability)	Leistungsfähigkeit (Performance)	Wartbarkeit (Supportability)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feature Set</li> <li>• Möglichkeiten</li> <li>• Vollständigkeit</li> <li>• Sicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humane Faktoren</li> <li>• Ästhetik</li> <li>• Konsistenz</li> <li>• Dokumentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Häufigkeiten von Störungen</li> <li>• Wiederherstellbarkeit</li> <li>• Vorhersehbarkeit</li> <li>• Korrektheit</li> <li>• Mittlere Zeit bis zum Ausfall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeit</li> <li>• Effizienz</li> <li>• Ressourcenverbrauch</li> <li>• Durchsatz</li> <li>• Antwortzeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testbarkeit</li> <li>• Erweiterbarkeit</li> <li>• Adaptierbarkeit</li> <li>• Wartbarkeit</li> <li>• Kompatibilität</li> <li>• Konfigurierbarkeit</li> <li>• Betriebsfähigkeit</li> <li>• Installierbarkeit</li> <li>• Lokalisierbarkeit</li> </ul>

**Abb. 2.3: Eigene Darstellung in Anlehnung an Grady und Caswell (1987)**

Da die Nutzung von mobilen Applikationen (Apps) in den letzten Jahren prävalent geworden ist, ist über die Betrachtung von Softwarequalität im Allgemeinen hinaus auch von Bedeutung, wie sich Apps evaluieren lassen (Li et al., 2021). Wie Qualität von mobilen Anwendungen insbesondere in einem Anwendungskontext beurteilt werden kann, demonstriert hierbei die „Mobile App Rating Scale (MARS)“ von Stoyanov

et al. (2015). Diese Skala erweist sich als besonders reliabel und zeichnet sich als valide und objektive sowie einfach anzuwendende Evaluationsmethode aus (Mani et al., 2015). Sie wurde entwickelt, um eine standardisierte Methode zur Bewertung der Qualität mobiler Gesundheits-Apps bereitzustellen und erleichtert eine systematische Evaluation der vielfältigen Anwendungen im Bereich digitaler Gesundheit. Sie ist für diese Arbeit von Bedeutung indem sie erste Einblicke in die Evaluation von Anwendungen in einem spezifischen Anwendungskontext, hier Gesundheit, liefert.

Die Skala bewertet die Qualität einer Gesundheitsapp in vier Dimensionen mit insgesamt 23 Items. In der ersten Dimension Engagement wird bewertet, wie unterhaltsam und interessant eine App zu nutzen ist. Außerdem wird in dieser Dimension überprüft, ob die Anwendung interaktiv ist, sie eine individuelle Anpassbarkeit aufweist und wie spezifisch die Zielgruppe angesprochen wird. Innerhalb der Dimension Funktionalität werden die Funktionen der App, die Benutzerfreundlichkeit, die Navigation sowie der logische Aufbau und die motorische Handhabung der App bewertet. Bei der Ästhetik werden das graphische Design, visuelle Anreize, die farbliche Gestaltung und stilistische Einheit bewertet. Im Bereich Informationen stehen Merkmale zur Zielerfüllung, Qualität und Quantität der Informationen sowie deren Glaubwürdigkeit im Mittelpunkt. Schlussendlich enthält die Skala auch noch Merkmale zur Psychotherapie, die an dieser Stelle aufgrund fehlender Relevanz nicht näher aufgeführt werden und Merkmale zur subjektiven App-Qualität. Neben Fragen zur Nutzung und Weiterempfehlung steht hier auch im Raum, ob eine Nutzung bei kostenpflichtigem Angebot erfolgen würde. Abbildung 2.4 bietet eine zusammenfassende Übersicht. Die einzelnen Aspekte werden dabei auf 5-stufigen Skalen bewertet, indem eingeschätzt werden soll, inwieweit die Anwendung die Aussage erfüllt.

Engagement	Funktionalität	Ästhetik	Informationen	Subjektive App-Qualität
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spaß</li> <li>• Interesse</li> <li>• Individualität</li> <li>• Zielgruppenspezifität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsumfang</li> <li>• Benutzerfreundlichkeit</li> <li>• Navigation</li> <li>• Logischer Aufbau</li> <li>• Motorische Handhabung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graphisches Design</li> <li>• Visuelle Anreize</li> <li>• Farbliche Gestaltung</li> <li>• Stilistische Einheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständigkeit</li> <li>• Zielerfüllung</li> <li>• Informationsqualität</li> <li>• Informationsquantität</li> <li>• Glaubwürdigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Häufigkeit der Nutzung</li> <li>• Weiterempfehlung</li> <li>• Nutzung bei Kosten</li> </ul>

**Abb. 2.4: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stoyanov et al. (2015)**



### 3 Anforderungsanalyse zur Erfassung des Status Quo

#### 3.1 Vorgehen

Wenn man von digitalen Unterstützungssystemen spricht, handelt es sich insbesondere um Informationssysteme. Diese haben die Aufgabe, ihre Anwender mit Informationen zu versorgen (Eller & Riedl, 2010). Möchte man nun evaluieren, wie gut einzelne Systeme sind, ist demnach ein zentraler Aspekt die Bewertung der Informationsbereitstellung. Dies involviert zum einen die Fülle an Information und zum anderen die Qualität der bereitgestellten Informationen. Um bewerten zu können, wie gut Informationen zur barrierefreien Mobilität sind, ist es folglich notwendig zu betrachten, wie Barrierefreiheit im Mobilitätskontext charakterisiert wird. Um hier Informationen zu gewinnen wird zunächst das Themenumfeld in Anlehnung an das Modell von Hevner et al. (2004) erarbeitet. Zu Beginn wird ein Überblick über die involvierten Akteure gegeben und ihre unterschiedlichen Anforderungen an barrierefreie Mobilität werden charakterisiert. Um die Anforderungen und Charakteristika von mobilitätseingeschränkten Menschen im Bezug auf digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität besser erfassen zu können, werden leitfragengestützte Interviews mit Teilnehmern der Zielgruppe durchgeführt und die Ergebnisse im folgenden Kapitel näher erläutert. Die Leitfragen erfassen zum einen welche Barrieren bei mobilitätseingeschränkten Menschen bestehen. Denn um eine digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität bestmöglich evaluieren zu können, muss auch Klarheit darüber bestehen, über welche Barrieren diese Anwendungen informieren müssen. Um darüber hinaus besser beurteilen zu können, in welchen Anwendungsfällen eine digitale Unterstützung zu Trage kommen könnte, wird zum anderen nach typischen Szenarien für die persönliche Mobilität gefragt. Des Weiteren werden Einblicke über die Nutzung von digitaler Unterstützung gesammelt, indem nach deren Verwendung und Bewertung gefragt wird. Daraus ergeben sich folgende fünf Leitfragen:

1. Was sind für Sie Barrieren, die Sie in Ihrer Mobilität einschränken?
2. Was sind im Allgemeinen typische Überlegungen und Szenarien für Ihre Mobilität? (Zum Beispiel: Wie komme ich barrierefrei zu meinem Arzttermin? Gibt es eine barrierefreie Toilette?)
3. Nutzen Sie digitale Unterstützung für Ihre Mobilität? (Zum Beispiel um sich vorab über Routen und Zugangsinfos zu informieren)
  - Wenn ja:
    - Welche Systeme/Tools nutzen Sie?
    - Wofür?

- Was sind Funktionen, die Ihnen gut gefallen?
- Was sind essentielle Funktionen?
- Was gefällt Ihnen nicht so gut? (Zum Beispiel hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit, Funktionalität, Datenverfügbarkeit)
- Wenn nein:
  - Warum nutzen Sie keine digitale Unterstützung?
  - Wann bzw. wofür würden Sie digitale Unterstützung verwenden?
  - Was wären essentielle Funktionen für Sie?
- 4. Wann ist eine digitale Unterstützung für Ihre barrierefreie Mobilität unbrauchbar für Sie?
- 5. In welchem Format sollte digitale Unterstützung verfügbar sein? (Zum Beispiel: mobil als App oder Webanwendung)

Um einen Überblick über organisationale und technologische Strukturen zu erhalten, erfolgt eine Literaturrecherche mit Google Scholar. Dabei wurden insbesondere folgende Suchbegriffe verwendet: „Evaluation digital tools“, „Evaluation barrier free mobility“, „Tools for barrier free mobility“ und „Requirements for barrier free mobility“. Zusätzlich wurde mit der Google-Suchmaschine in einer offenen Recherche und im Google Playstore nach weiteren Anwendungen gesucht.

### **3.2 Involvierte Akteure**

Neben Forschern stehen mit dem Thema „digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität“ noch weitere Akteure in Verbindung. Dies sind zum einen die Entwickler solcher Systeme, da für sie von Bedeutung ist, welche Funktionen erforderlich sind für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen und an welchen Stellen Optimierungsbedarf besteht. Zum anderen sind auch städtische Akteure mit dem Thema involviert. Für Behindertenbeauftragte zum Beispiel ist ebenfalls relevant an welchen Stellen Defizite bestehen, denn sie können unter Umständen Budget dafür bereitstellen, diese Defizite zu beseitigen. Außerdem vertreten sie nicht nur die Bedürfnisse ihrer Bürger, sondern möchten ihnen auch Informationen bereitstellen, um so ihren Alltag zu entlasten. Weitere städtische Akteure finden sich in der Verkehrsplanung, da sie Kenntnisse über die Straßenverkehrsinfrastruktur bereitstellen können, als auch in Planungen zu technologischen Bereichen, wie beispielsweise Smart City Projekten. Für Projektmanager sind

hier Erkenntnisse von Relevanz, die aufzeigen, in welchen Bereichen Verbesserungen benötigt werden und mit welchen weiteren digitalen Lösungen am besten Abhilfe geschaffen werden kann. Zu guter Letzt sind selbstverständlich die Nutzer solcher Anwendungen involviert. Diese Personengruppe kennzeichnet sich durch ihre Mobilitätseinschränkungen aus und steht besonders im Fokus der Arbeit, da ihre Anforderungen eine wesentliche Grundlage dafür bilden, was es bei Anwendungen im Bereich barrierefreier Mobilität zu beachten gilt. Die Zielgruppe umfasst hierbei Menschen, denen aufgrund körperlicher Einschränkungen auch Einschränkungen in der Mobilität entstehen. Dazu gehören insbesondere Rollstuhlfahrer sowie Blinde und Sehbehinderte. Aber ebenso Familien mit Kinderwagen, Menschen die auf Hilfsmittel wie Prothesen, Krücken oder einen Rollator angewiesen sind. Mobilitätseinschränkungen können darüber hinaus auch bei Krankheiten wie beispielsweise Parkinson auftreten, indem sie als Symptom eine Bewegungsarmut in den Beinen hervorrufen, die es erschwert Treppen zu laufen.

Auf Basis der im vorherigen Kapitel erwähnten Interviews konnten einige Charakteristiken identifiziert werden. Dabei wurden Teilnehmer mit unterschiedlichsten Mobilitätseinschränkungen interviewt. Details können im digitalen Anhang 8 eingesehen werden. Das Durchschnittsalter belief sich hierbei auf 58,4 Jahre. 57 Prozent waren weiblich, 43 Prozent waren männlich.

Zunächst konnten typische Barrieren für diese Personengruppen identifiziert werden. Hierbei wurden insbesondere Treppen und darauf aufbauend Orte öffentlichen Interesses, wie beispielsweise Arztpraxen, Geschäfte, Physiotherapiepraxen oder Parkhäuser ohne Aufzug genannt. Zusätzlich wird das Aufsuchen von Toiletten erschwert, indem keine Informationen über deren Rollstuhlgerechtigkeit oder Ausstattung, wie beispielsweise Sitzaufsätze, bekannt sind. Bezüglich der Wege wurde hervorgehoben, dass zum Beispiel „eine Steigung mit mehr als 6 % ist Katastrophe zum schieben“ (digitaler Anhang 8, Zeile 28). Auch schlechte Wege durch hohe Bordsteine und unebenes Kopfsteinpflaster stellen Barrieren dar. Ein Teilnehmer berichtete hierzu: „Da stehen Steine vor, es sind zu hohe Bordsteine, der Bordstein ist abgesenkt auf der einen Seite und dann kommt man auf der anderen Seite nicht hoch, weil er eben dort nicht abgesenkt ist“ (digitaler Anhang 8, Zeile 11). Diese unbedachte Gehwegführung bildet folglich auch eine Barriere. Bei den Bordsteinen stellt bereits eine Höhe von einem Zentimeter eine Barriere dar. Sowohl für den Rollstuhlfahrer selbst, als auch die Begleitperson. Der Rollstuhlfahrer beispielsweise bekommt dann beim hinüberfahren „auch einen Schlag auf die Wirbelsäule, weil er halt komplett gebremst wird und fällt noch raus“ (digitaler Anhang 8, Zeile 18). Für blinde Menschen wiederum sind komplett abgesenkte Bordsteine auch ein Hindernis. „Also ich stehe dann manchmal auf der Straße und weiß es gar nicht“ (digitaler Anhang 8, Zeile 53) schilderte hierzu eine

Teilnehmerin. Für sie bestehen weitere Schwierigkeiten bei der Überquerung von Straßen, in dem zum Beispiel „die meisten Ampeln leider nicht barrierefrei sind. Also nicht akustisch ausgestattet sind“ (digitaler Anhang 8, Zeile 18). Als weitere Barrieren wurden temporäre Hindernisse wie auf dem Gehsteig parkende Autos oder Mülleimer genannt. Des Weiteren wurden mehrfach besetzte Behindertenparkplätze als Herausforderung genannt. Besetzte Plätze in Bussen sind ebenfalls ein Problem: „Oder dann sind Kinderwagen drin. Ja. Wo stellt sich meine Frau dann hin? Im Gang? Dafür ist nicht genug Platz. Es sind zwei Frauen mit Kinderwagen drin. Du hast einen Rollstuhl.“ (digitaler Anhang 8, Zeile 27). Im Bereich ÖPNV bestehen darüber hinaus weitere Hindernisse durch ungeschultes Buspersonal, nicht funktionierende Sprachansagen im Bus oder zu hohe Aufwände den Mobilitätsservice für mobilitätseingeschränkte Menschen bei der Bahn zu buchen.

Hinsichtlich der Mobilitätsszenarien nannten die Teilnehmer in erster Linie, dass sie sich häufig damit beschäftigen, wo es barrierefreie Restaurants, Toiletten, Geschäfte, Banken und Arztpraxen gibt beziehungsweise welche barrierefreien Orte generell, zum Beispiel auch touristischen Interesses, es im näheren Umkreis gibt. Damit verbunden sind auch Überlegungen, ob es in den Gebäuden funktionierende Aufzüge gibt. Familie weiter weg mit ÖPNV zu besuchen, stellt auch eine Überlegung dar. Auch hinsichtlich der Fortbewegung im ÖPNV machen sich die Teilnehmer Gedanken, ob genug Plätze für sie vorhanden sind oder wie die Busrouten verlaufen. Auch wichtig für die Befragten sind Überlegungen hinsichtlich der Routenplanung. Hier bestehen Überlegungen „wie der Boden ist und der Bodenbelag ist, ob Steigung ist oder ob die Distanz zu groß wird“ (digitaler Anhang 8, Zeile 107). Eine Teilnehmerin berichtete hierzu: „Also es ist bei mir jetzt nicht so, dass ich spontan loslaufe, sondern dass ich mir immer genau überlege: Wie läuft der Weg, Worauf muss ich achten?“ (digitaler Anhang 8, Zeile 115). In die Überlegungen zur Routenplanung fällt öfters auch die Überlegung danach, wo sich der nächste Parkplatz befindet, um Distanzen kurz zu halten.

Bei der Nutzung digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität wurden sowohl Anforderungswünsche als auch reale Nutzung abgefragt. Hinsichtlich der realen Nutzung wurde deutlich, dass Apps bevorzugt werden und bei Blinden insbesondere das iPhone favorisiert genutzt wird. Eine Nicht-Nutzung digitaler Unterstützung findet in erster Linie aufgrund erhöhten Planungsaufwänden durch zu viele verteilte Systeme statt. Infolgedessen wurde auch der Wunsch geäußert: „Ja, einfach so ein gebündeltes System als App wäre ein Traum für ganz Deutschland.“ (digitaler Anhang 8, Zeile 122). Bezüglich der Anforderungen wurden vermehrt Wünsche über das Vorhandensein von Informationen über Wegbeschaffenheit geäußert, sodass für Nutzer ersichtlich wird, welcher Weg ist für sie geeignet ist. Hierzu wurden ebenfalls grafische In-

formationen gewünscht, um beispielsweise den Straßenbelag besser erkennen zu können. Zusätzlich sollte bei einer Routenplanung ersichtlich werden, auf welcher Seite der Straße man laufen muss. Eine Anwendung sollte des weiteren Informationen darüber bereitstellen, wo Behindertenparkplätze, barrierefreie Toiletten, Restaurants und Sightseeing-Orte zu finden sind. Außerdem äußerten die Befragten, dass es Informationen über den Betriebszustand von Aufzügen sinnvoll wären. Da sehr unterschiedliche Mobilitätseinschränkungen bestehen können, wäre es für die Befragten außerdem „schön, dass man auf diese einzelnen Einschränkungen vielleicht eingeht“ (digitaler Anhang 8, Zeile 138).

Zur Bewertung digitaler Unterstützung wurde genannt, dass solche Anwendungen oft schwer zu finden sind, was insbesondere auch an zu komplizierten Namen liegen würde. Ebenfalls bemängelt wurde, dass manche Apps nicht aktualisiert werden und infolgedessen nicht mehr nutzbar sind. Zusätzlich standen Fehler in der App oder zu Daten, die nicht behoben werden, sowie schlechtes Kartenmaterial negativ heraus. Wenn Informationen nicht korrekt sind, wurden die Anwendungen oft für unbrauchbar befunden. Sollte eine Anwendung eine Bilateralität ermöglichen, indem Nutzer beispielsweise eigene Infos einbringen können, wurde befunden, dass diese oft zu kompliziert gestaltet ist. Das Vorhandensein von Bilateralität wurde jedoch für gut befunden. Teilweise wurde ein Mangel an Informationen und Definitionen genannt. So war für die Teilnehmer beispielsweise oft nicht klar, was genau als barrierefrei deklariert ist. Hinsichtlich der Menge an Informationen besteht jedoch auch ein Konflikt, da blinde Menschen weniger Informationen bevorzugen. Ebenfalls sind zu viele Audio-signale für sie hinderlich, da sie auch ihre Umgebung ständig im Blick behalten möchten. Als negatives Merkmal wurde von der blinden Teilnehmerin ebenfalls das Design der Abfragen nach Cookies bei Websites genannt.

Tabelle 3.1 veranschaulicht eine Zusammenfassung der gewonnen Erkenntnisse. Die Kodierungen aus den Interviews, die die Grundlage hierfür gebildet haben, können im digitalen Anhang 8 eingesehen werden.

<b>Barrieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treppen</li> <li>• Orte öffentlichen Interesses ohne Aufzüge</li> <li>• Keine passende Toilettenausstattung</li> <li>• Steigungen</li> <li>• Gehwegführung (dabei insbesondere Straßenüberquerungen)</li> <li>• Temporäre Hindernisse wie Autos oder Mülleimer</li> <li>• Unebenes Kopfsteinpflaster</li> <li>• Bordsteinkanten</li> <li>• Ampeln ohne taktile Bodenbeläge oder akustische Signale</li> <li>• Belegte Behindertenparkplätze</li> <li>• Belegte barrierefreie Plätze im ÖPNV</li> <li>• Ungeschultes Buspersonal</li> <li>• Fehlende Sprachansagen im ÖPNV</li> </ul>
------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwand Bahnservice zu buchen</li> </ul>
<b>Mobilitätsszenarien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orte öffentliches Interesses aufsuchen (insbesondere: Restaurants, Toiletten, Geschäfte, Banken, Arztpraxen)</li> <li>• Routen planen hinsichtlich Bodenbelägen, Steigungen, Distanzen</li> <li>• Parkplätze heraussuchen</li> <li>• ÖPNV nutzen</li> </ul>
<b>Nutzung digitaler Unterstützung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevorzugt werden Apps; bei Blinden insbesondere das iPhone</li> <li>• Nicht-Nutzung aufgrund zu viel Planungsaufwand</li> <li>• Ein gebündeltes System wäre ideal</li> <li>• Anforderungswünsche: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Filteroptionen</li> <li>- Informationen über Wegbeschaffenheit</li> <li>- Für Blinde: Nicht zu viele Informationen und freie Ohren</li> <li>- Lokalisation von Behindertenparkplätzen, barrierefreie Toiletten, Restaurants, Sightseeing-Orten</li> <li>- Informationen über Aufzüge</li> <li>- Bilder anbieten</li> </ul> </li> </ul>
<b>Bewertung digitaler Unterstützung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positiv: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bilateralität</li> </ul> </li> <li>• Negativ: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fehlender langfristiger Support</li> <li>- Anwendungen sind schwer zu finden</li> <li>- Fehler in der App, die nicht behoben werden</li> <li>- Inkorrekte Informationen</li> <li>- Schlechtes Kartenmaterial</li> <li>- Bilateralität zu kompliziert gestaltet</li> <li>- Design von Cookie-Abfragen bei Websites</li> </ul> </li> </ul>

**Tab. 3.1: Ergebniszusammenfassung der Zielgruppeninterviews**

### 3.3 Organisationale Strukturen

Barrierefreiheit ist ein zentrales Anliegen moderner Gesellschaften um sicherzustellen, dass Menschen mit Behinderungen gleichberechtigt am öffentlichen und privaten Leben teilhaben können. Dabei existieren verschiedene Gesetze und Normen sowohl auf internationaler als auch auf nationaler und technischer Ebene. Einige wichtige Regelungen umfassen dabei die UN-Behindertenrechtskonvention, das Personenbeförderungsgesetz und die DIN 18040 für barrierefreies Bauen.

Die UN-Behindertenrechtskonvention wurde 2006 von den Vereinten Nationen verabschiedet und stellt einen wichtigen Meilenstein für die Rechte von Menschen mit Behinderungen dar. Darin fordert insbesondere Artikel 9, dass Staaten geeignete Maßnahmen ergreifen sollten, um Menschen mit Behinderungen den Zugang zu Transportmitteln, Einrichtungen und Diensten zu gewährleisten. Ebenso unterstreicht die Konvention, dass es nicht nur um die Anpassung der physischen Infrastruktur geht, sondern auch um barrierefreie Informations- und Kommunikationssysteme, da diese eine selbstbestimmte Mobilität ermöglichen. Hierbei betont insbesondere Artikel 21 a) das

Recht auf kostenlose digitale Informationen (Beauftragter der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen, 2018).

Das Personenbeförderungsgesetz regelt den öffentlichen Personennah- und Fernverkehr in Deutschland und schreibt eine vollständige Barrierefreiheit im Personenverkehr seit 2022 vor (PBefG, 2024). Dies betrifft sowohl die bauliche Gestaltung von Infrastruktur, wie Bahnhöfen oder Bushaltestellen, als auch die Verfügbarkeit von barrierefreien Fahrzeugen, wobei unter Umständen Ausnahmen bestehen können. Artikel 3 regelt darüber hinaus, dass Mobilitätsdaten, zum Beispiel über Haltestellen und deren Barrierefreiheit, bereitgestellt werden sollten.

Eine weitere Regelung die die Barrierefreiheit von Infrastruktur betrifft, ist die DIN18040 für barrierefreies Bauen. In dem sie beschreibt, welche baulichen Vorgaben konkret bestehen, gibt sie auch Auskunft darüber, welche Informationen für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen relevant sind. Die wichtigsten Anforderungen, die die Norm abdeckt sind stufenlose Zugänge, ausreichend breite Türen, das Vorhandensein von Leitsystemen für blinde und sehbehinderte Menschen sowie Vorgaben zur Oberflächenbeschaffenheit von Straßen & Wegen, Gefälle und Wegbreite (Deutsches Institut für Normung, 2010).

### **3.4 Technologische Strukturen**

Bei der Recherche darüber, welche Anwendungen zu barrierefreier Mobilität bereits existieren, fallen insbesondere fünf wesentliche Strukturen auf. Dies sind zum einen klassisch Mobile Applikationen, wie beispielsweise die App Wheelmap (Sozialhelden e.V., 2023). Diese ist ebenfalls als Webportal, eine weitere klassische technologische Struktur, verfügbar. Wheelmap bietet eine Karte, auf der Orte öffentlichen Interesses eingetragen sind und anhand ihrer Barrierefreiheit farblich bewertet dargestellt werden. Zusätzlich können Informationen über die Barrierefreiheit, wie beispielsweise das Vorhandensein von Stufen bei Gebäudeeingängen, dargestellt werden, wie Abbildung 3.1 veranschaulicht.

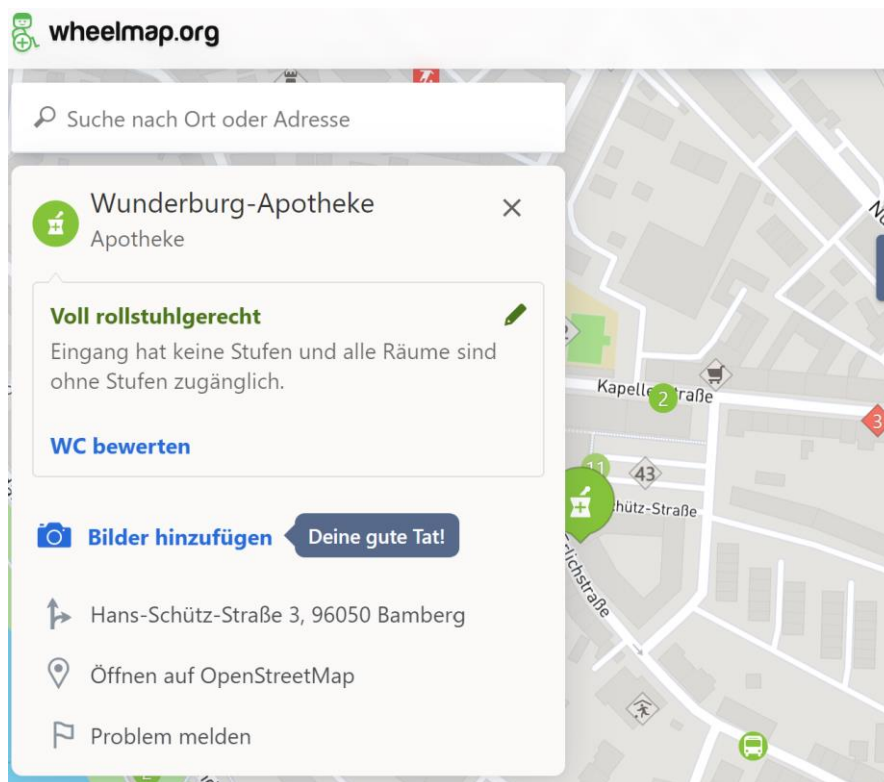


Abb. 3.1: Ausschnitt von der Anwendung Wheelmap (Sozialhelden e.V., 2024)

Darüber hinaus bestehen erste Routingsysteme, die sich speziell auch an die Bedürfnisse mobilitätseingeschränkter Menschen richten. Dazu gehört beispielsweise der vom Lehrstuhl für Geoinformatik der Universität Heidelberg betriebene Openroute-service, der in erster Linie einen über Schnittstellen verfügbaren Routingalgorithmus aber auch ein Webportal zur Routengenerierung bereitstellt. Der Routenplaner ermöglicht, bei der Generierung von Routen, ein Rollstuhlprofil auszuwählen und dort verschiedene individuelle Anpassungen vorzunehmen. So lässt sich beispielsweise die maximal bewältigbare Steigung oder Bordsteinhöhe festlegen.

Es gibt des Weiteren auch zunehmend OpenData-Portale. Hierbei werden Daten frei und öffentlich verfügbar gemacht, sodass sie ohne Einschränkungen weiterverwendet und genutzt werden können. So bietet beispielsweise die Stadt Berlin ihre kartierten Gehwegbreiten in ihrem Opendata-Portal ODIS an (ODIS Berlin, 2020).

Vermehrt lässt sich auch die Verbindung von Hardware mit Apps beobachten. So stellt Solingen seinen Bürgern zum Beispiel Informationen über die Auslastung von Behindertenparkplätzen über eine App zur Verfügung (SolingenDigital, o.J.). Hierzu wurden auf den Parkplätzen Sensoren installiert.

Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht aller identifizierten Anwendungen inklusiver kurzer Beschreibungen über den Anwendungsbereich im Bezug auf barrierefreie Mobilität.



<b>Anwendung</b>	<b>Beschreibung</b>
Wheelmap (Sozialhelden e.V., 2023)	Bietet eine App und ein Webportal über das weltweit rollstuhlgerechte Orte gefunden und ergänzt werden können.
Openstreetmap (Openstreetmap, o. J.)	OpenSource Kartierung der Welt. Bildet in der Datenbasis auch Informationen zu Barrierefreiheit ab.
DB Bahnhof live (Deutsche Bahn, 2024)	In der App lassen sich Informationen zur Barrierefreiheit von Bahnhöfen sowie die aktuellen Betriebszustände der Aufzüge in der Bahnhöfen einsehen.
DB Navigator (Deutsche Bahn, 2024)	Reiseassistenzsystem der Deutschen Bahn, indem auch die Standorte der barrierefreien Plätze in den einzelnen Züge einsehbar sind.
Toiletten für alle (Stiftung Leben Pur, o. J.)	Webportal des Projektes „Toiletten für Alle“. Hier sind alle Toiletten verzeichnet, die über umfangreiche Ausstattung für Menschen mit speziellen Bedürfnissen verfügen.
HandicapX (Will, 2024)	App mit Freemium-Modell, welches ermöglicht weltweit barrierefreie Toiletten zu finden.
Openrouteservice (Openrouteservice, 2024)	Routingsystem mit Rollstuhlfahrerprofil und der Möglichkeit individuelle Parameter festzulegen. Als Algorithmus erreichbar über Schnittstellen oder über ein Webportal.
Open Data Informationsstelle Berlin (ODIS Berlin, 2020)	Open Data Portal der Stadt Berlin, welches auch Informationen zu den Gehwegbreiten bereitstellt.
Mensch Solingen (SolingenDigital, o. J.)	App der Smart City Solingen, in der die Auslastung von Behindertenparkplätzen eingesehen werden kann.
Brokenlifts.org (BrokenLifts, o. J.)	Stellt für den Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg Informationen über den Betriebszustand von Aufzügen an Haltestellen des ÖPNV bereit.
Toiletten und WC Finder (Positive Infinity, 2024)	App mit Freemium-Modell, die es ermöglicht weltweit Toiletten zu finden und auch Informationen über die Barrierefreiheit der Toiletten anbietet.
Webportal Barrierefrei in Bamberg (Stadt Bamberg, o. J.)	Webportal der Stadt Bamberg in dem Behindertenparkplätze und barrierefreie Toiletten verzeichnet sind.
Campus Navigator TU Dresden (TU Dresden, o. J.)	Orientierungs- und Leitsystem der TU Dresden. Bietet neben der Gebäude- und Raumsuche die Möglichkeit ein Routing zu generieren und Informationen zur Barrierefreiheit einzusehen.
ASSISTIVetravel (Init, o. J.)	Reiseassistenzsystem für den ÖPNV als App. Wurde vorerst nur in Singapur getestet. Nutzer erhalten Echtzeit-Informationen über Fahrzeuge und können via der App Unterstützung der Fahrer anfordern. Bietet auch Augmented-Reality- und Vorlesefunktionen.

BlindSquare (MIPsoft Oy, 2024)	Routingapp für das iPhone speziell für Blinde Menschen. Bietet auch einen Erkundungsmodus an.
Seeing Assistant Move (Transition Technologies, 2024)	Routingapp speziell für Blinde Menschen. Bietet auch einen Erkundungsmodus an.
waveOut (Dreamwaves, 2023)	App, die blinden Menschen ein Routing mit Tönen anstelle von Ansagen ermöglicht.
AriadneGPS (Ciaffoni, 2023)	Routingapp für das iPhone speziell für Blinde Menschen.
PaderSprinter Kompass App (PaderSprinter GmbH, 2024)	Reiseassistentensystem als App für den ÖPNV der Stadt Paderborn mit spezieller Unterstützung für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen. Bietet auch eine Reisebegleitung von Tür zu Tür mit Vibration oder Akustiksignalen sowie Konfigurationsmöglichkeiten zur Barrierefreiheit und Möglichkeiten zur Fahrzeuginteraktion.
VAG_Lotse (VAG, 2023)	Akustisches Fahrgastinformationssystem der Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg als App, welches blinden und sehbehinderten Menschen ermöglicht per Bluetooth Ansagen und Vibrationen über ihr Smartphone zu erhalten.
Accessibility Cloud (Sozialhelden e.V., o. J.)	Sammlung von weltweiten standortbezogenen Daten zur Barrierefreiheit aus 198 Datenquellen.

**Tab. 3.2: Überblick der aktuellen technologischen Strukturen**

## 4 Entwicklung des Prüfkataloges

### 4.1 Anforderungskatalog

Auf Basis der im vorherigen Kapitel gewonnenen Erkenntnisse kann nun ein Anforderungskatalog zusammengestellt werden. Auffallend war, dass barrierefreie Mobilität unterschiedlichste Bereiche betrifft. So betreffen Überlegungen zur Mobilität nicht nur die Fahrt mit dem ÖPNV sondern neben der Routenplanung auch die Suche nach Parkplätzen und barrierefreien Orten. Darüber hinaus hat die Suche nach Toiletten einen besonderen Stellenwert in der Fortbewegung mobilitätseingeschränkter Menschen, da sie oft auf eine besondere Ausstattung angewiesen sind, oder beispielsweise, aufgrund von Medikamenteneinnahme, Toilettenbesuche fest mit einplanen müssen in ihre Wege. Aufgrund dessen ergibt sich zunächst die Anforderung, dass bei einer Evaluation diese fünf Bereiche betrachtet werden sollten. Darüber hinaus zeigen die technologischen Strukturen, dass neben Tools, wie Apps oder Webportalen, auch Datenquellen mit Informationen zur barrierefreien Mobilität existieren. Da sich deren Handhabung und Charakteristiken unterscheiden, ist eine getrennte Evaluation sinnvoll.

Auf Basis der dargestellten Modelle und Methoden zur Bewertung von digitaler Unterstützung im Allgemeinen, lässt sich ableiten, dass neben des spezifischen Funktionsumfanges insbesondere die Benutzerfreundlichkeit, Verfügbarkeit sowie die Vollständigkeit und Korrektheit der bereitgestellten Informationen evaluiert werden sollte. Diese Punkte finden in den in Kapitel zwei erläuterten Modellen besondere Betrachtung. Zusätzlich betrachtet die MARS, ob Nutzer in der evaluierten App die Möglichkeit haben individuelle Einstellungen vorzunehmen (Stoyanov et al., 2015). Dieser Punkt wurde ebenfalls in den Zielgruppeninterviews aus Kapitel 3 gesagt. Die Teilnehmer hatten sich insbesondere Filteroptionen gewünscht, sodass auf Basis ihrer individuellen Einschränkungen Ergebnisse zurückgeliefert werden. Deshalb sollte ein Prüfkatalog auch die Möglichkeiten zur Parametrisierung beurteilen. In den Interviews wurde weiterhin angemerkt, dass die Option eigene Informationen beizutragen auch favorisiert wird. Dies ist darüber hinaus auch eine sinnvolle Option, da die Realität sich in einem ständigen Wandel befindet. Änderungen die sich durch Baustellen oder Umwelteinwirkungen ergeben, könnten so schneller im System angepasst werden. Infolgedessen sollte auch die Möglichkeit zur Interaktion evaluiert werden.

Hinsichtlich des relevanten Funktionsumfanges, den eine digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität bieten sollte, steht laut den organisationalen Strukturen und den Interviews insbesondere die Informationsbereitstellung im Fokus. Deshalb wird hierauf bei der Evaluation ein Schwerpunkt gelegt. Die Interviews und organisationalen Strukturen geben dabei auch Aufschluss darüber, welche Informationen von besonderer Bedeutung sind und deshalb abgefragt werden sollten. So betrachtet beispielsweise

die DIN 18040 sowohl die Punkte Steigung, Oberflächenbeschaffenheit, Bordsteinabsenkungen- und -höhen, Türbreite, als auch die Barrierefreiheit von Ampeln und Straßenüberquerungen (durch taktile Leitsysteme & Verwenden von akustischen Signalen) sowie die Barrierefreiheit von Gebäudezugängen und Haltestellen (Deutsches Institut für Normung, 2010). Dies sind alles auch Punkte die in den Interviews genannt wurden. Hinsichtlich des ÖPNV liefert vor allem auch das Personenbeförderungsgesetz noch Anregung indem die Barrierefreiheit von Aufzügen sowie Mobilitätsdaten von Bedeutung sind. Da es in den Interviews besonders hervorgehoben wurde, könnte man hinsichtlich der Mobilitätsdaten, betrachten, inwieweit Angaben zur Anzahl barrierefreier Plätze an Bord der Fahrzeuge vorhanden sind. Als weitere relevante Barrieren wurden in den Interviews nicht funktionierende Aufzüge, das Vorhandensein von Treppen sowie temporären Hindernissen genannt, weshalb diese Punkte auch in eine Evaluation einfließen sollten. Bei Betrachtung der bereits existierenden technologischen Strukturen fiel auf, dass neben der Rollstuhlgerichtigkeit von Toiletten auch Informationen über die Ausstattung und einen möglichen Zugang mit dem Euroschlüssel von Bedeutung sind. Gerade hinsichtlich der Ausstattung verdeutlicht das Projekt „Toiletten für Alle“ der Stiftung Leben Pur (o. J.), dass für unterschiedlichste Arten der Einschränkungen unterschiedlichste Ausstattung benötigt wird. Die Begleitperson eines pflegebedürftigen Seniors, der nicht mehr alleine auf die Toilette gehen kann, benötigt beispielsweise eine Pflegeliege. Schlussendlich ermöglicht besonders die Bewegung mit dem eigenen Kraftfahrzeug individuelle Freiheit. Berechtigte Personen interessieren sich hierbei sowohl für Standorte von Behindertenparkplätzen als auch für Informationen darüber, ob der gewünschte Platz aktuell verfügbar oder besetzt ist. Als Zusammenfassung der erläuterten Anforderungen an den Prüfkatalog veranschaulicht Tabelle 4.1 den vollständigen Anforderungskatalog noch einmal und ergänzt auch auf Basis welcher Hintergründe sich die jeweilige Anforderung ergab.

<b>Anforderung</b>	<b>Anforderungsherkunft</b>
Abdeckung der fünf Bereiche: Routing, Orte öffentliches Interesses, Toiletten, Parken, ÖPNV	Interviews
Unterscheidung von Tools und Datenquellen	Technologische Strukturen
Beurteilt die Möglichkeit zur Parametrisierung	Interviews, MARS
Beurteilt die Möglichkeit zur Interaktion	Interviews
Beurteilt die Benutzerfreundlichkeit von Anwendungen	TAM, FURPS, MARS, SUS
Überprüft wie Anwendungen verfügbar sind	FURPS, MARS, Interviews, UN Behindertenrechtskonvention
Evaluiert die Korrektheit der bereitgestellten Informationen	FURPS, MARS, Interviews

Evaluiert wie vollständig relevante Informationen bereitgestellt werden		FURPS, MARS
Überprüft auf relevante Informationen zur Barrierefreiheit angeboten werden. Dazu gehören:	Steigung	Interviews, DIN 18040
	Oberflächenbeschaffenheit	Interviews, DIN 18040
	Bordsteinabsenkungen & höhen	Interviews, DIN 18040
	Betriebszustand von Aufzügen	Interviews, UN Behindertenrechtskonvention
	Treppen	Interviews
	Temporäre Hindernisse	Interviews
	Barrierefreie Ampeln und Straßenüberquerungen (taktile Leitsysteme & akustische Signale)	Interviews, UN Behindertenrechtskonvention, DIN 18040
	Rollstuhlgerichtigkeit von Orten öffentlichen Interesses	Interviews, UN Behindertenrechtskonvention
	Barrierefreiheit von Gebäudezugängen	Interviews, DIN 18040, UN Behindertenrechtskonvention
	Türbreite	DIN 18040
	Rollstuhlgerichtigkeit und Ausstattung von Toiletten	Interviews, UN Behindertenrechtskonvention
	Notwendigkeit eines Euroschlüssels	Technologische Strukturen
	Standorte von behindertenparkplätzen und deren Auslastung	Interviews, UN Behindertenrechtskonvention
	Barrierefreiheit der Haltestellen	Interviews, DIN 18040, Personenbeförderungsgesetz, UN Behindertenrechtskonvention
	Barrierefreiheit der Fahrzeuge	Interviews, Personenbeförderungsgesetz, Barrierefreiheitsstärkungsgesetz, UN Behindertenrechtskonvention
	Anzahl an barrierefreien Plätzen an Bord	Interviews, Personenbeförderungsgesetz

**Tab. 4.1: Anforderungskatalog**

## 4.2 Evaluation von Tools

Bei der Untersuchung der technologischen Strukturen fiel auf, dass einige Anwendungen nur für bestimmte Städte verfügbar sind. Zusätzlich ist für involvierte städtische

Akteure besonders von Interesse, welche Anwendungen für ihre Stadt verfügbar sind und wie sie im Vergleich zueinander abschneiden. Deshalb wird der Prüfkatalog so entworfen, dass eine Evaluation sowohl für einzelne Anwendungen als auch in Summe für einen bestimmten geografischen Raum, zum Beispiel eine Stadt, durchführbar ist. Da der Prüfkatalog für Tools und Datenquellen getrennt erhoben wird, werden an dieser Stelle nun die Metriken zur Evaluation von Apps und Tools erläutert.

Um zunächst die Benutzerfreundlichkeit zu erfassen, bietet sich die im Theoriekapitel erläuterte SUS an, da die Benutzerfreundlichkeit einen erheblichen Einfluss auf die Akzeptanz von Technologien hat. Sie ist insbesondere auch relevant, da sich das Bedienverhalten von blinden und sehbehinderten Menschen stark von nicht sehbeeinträchtigten Menschen unterscheidet. Detailliertere Betrachtungen der Benutzerfreundlichkeit werden jedoch nicht in Betracht gezogen, um den Fokus auf barrierefreie Mobilität zu belassen. Jedem Anwendungsentwickler steht es frei erweiterte Tests zur Benutzerfreundlichkeit durchzuführen, um detaillierteres Feedback zu erhalten. Bei der Erhebung der Benutzerfreundlichkeit für ein Tool sollte darauf geachtet werden, wenn möglich, ausschließlich Teilnehmer mit Mobilitätseinschränkungen zu befragen. Nach Abfrage der in Kapitel 2.3 dargestellten zehn Aussagen, errechnet sich der Gesamtwert wie folgt: Man subtrahiert, für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9, einen Punkt von der ermittelten Skalenposition. Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10 errechnet sich die Punktzahl mit: 5 minus die Skalenposition. Die Summe der Punkte aller zehn Aussagen wird dann mit 2,5 multipliziert, um den Gesamtwert (0-100) zu erhalten. Dabei gilt, dass je höher der Wert ist, desto besser. Bangor et al. (2009) fanden dazu heraus, dass ein ermittelter SUS-Gesamtwert ab 70 als gut und ab 85 als exzellent zu betrachten ist.

Für die Bewertung der weiteren Metriken wurden zunächst Skalen in Betracht gezogen. So bewertet beispielsweise auch die MARS auf einer fünfstufigen Skala (Stoyanov et al., 2015). Die Skalen lassen sich dadurch oft als ein Maß an Reifemessung betrachten. Dies würde jedoch bedeuten, dass ein hierarchischer Aufbau zugrunde liegt. Dies würde wiederum bedingen, dass einzelne Aspekte nicht positiv bewertet werden können, wenn in der Hierarchie darunter stehende Aspekte nicht erfüllt wären. Deshalb wird für den weiteren Prüfkatalog ein Punktesystem verwendet, um jeden erfüllten Aspekt positiv in die Gesamtbewertung einfließen lassen zu können. Durch Summierung der jeweils erreichten Punkte kann am Ende außerdem auch ein Gesamtwert je Anwendung ermittelt werden.

Um zu überprüfen, ob Nutzer die Möglichkeit haben das Tool auf ihre eigenen Bedürfnisse anzupassen, wird die Parametrisierbarkeit erfasst. Hierzu wird evaluiert, ob Nutzer überhaupt die Möglichkeit haben, anzugeben, ob sie eine Mobilitätseinschränkung haben und so die Chance haben beispielsweise auf barrierefreie Orte zu filtern.

Zusätzlich wird evaluiert, ob sie dazu relevante Daten angeben können und so die bereitgestellte Auswahl noch mehr auf ihre individuellen Bedürfnisse anpassen können. Darüber hinaus sollten nicht nur Möglichkeiten zur Parametrisierung bestehen, sondern die Software sollte die Eingaben auch tatsächlich berücksichtigen.

Bezüglich der Beurteilung der Interaktion, bestehen unterschiedliche Wege mit einem Tool zu interagieren. So könnten Nutzer eigene Informationen beitragen, wie bei der Wheelmap, oder ganz allgemeine Verbesserungsvorschläge an die Entwickler der Anwendung geben. Weiterhin sollte immer die Option bestehen Fehler zu melden, weshalb dieser Punkt ebenfalls in der Evaluation berücksichtigt wird.

Bei der Verfügbarkeit handelt es sich um erster Linie um die Frage, auf welchen Plattform das Tool verfügbar ist. Also kann es über den AppStore, PlayStore oder über eine Webanwendung bezogen werden. Da insbesondere die UN Behindertenrechtskonvention einen kostenlosen Zugang hervorhebt, findet die Abfrage auf die Kosten der Nutzung ebenfalls Eingang in die Bewertung.

Um zu erfassen, ob ein Tool den Nutzern für seinen Bereich alle relevanten Informationen bereitstellt, werden hier die im Anforderungskatalog ermittelten Informationen den einzelnen Bereichen zugeordnet. So muss ein Routingsystem idealerweise Informationen über die Steigung, den Oberflächenbelag, die Bordsteinkanten und -höhen, Treppen, taktile Leitsysteme, Signale an Ampeln sowie temporäre Hindernisse bereitstellen. Bei Orten öffentlichen Interesses stehen Informationen über die Barrierefreiheit von Gebäudezugängen, den Betriebszustand von Aufzügen und zur Türbreite im Fokus der Bewertung. Im Bereich Toiletten ist nicht nur die Rollstuhlgerichtigkeit von Bedeutung, sondern, wie in den vorigen Kapiteln ermittelt werden konnte, auch die vorhandene Ausstattung und ob man einen Euroschlüssel zum Zugang benötigt. Für Tools die eine Unterstützung beim Parken leisten wollen, wird evaluiert, ob sie den Nutzern den Standort von Behindertenparkplätzen anzeigen können und ob ein Parkplatz aktuell belegt ist. Um bei der Nutzung des ÖPNV effektiv zu unterstützen, sollten Anwendungen hier Informationen zur Barrierefreiheit von Haltestellen und Fahrzeugen bereitstellen. Wie in den Interviews hervorgehoben, sind auch Informationen über die Anzahl an barrierefreien Plätzen innerhalb eines Fahrzeuges von Interesse.

Um zu beurteilen, ob Informationen nicht nur bereitgestellt werden sondern darüber hinaus aus der Wahrheit entsprechen, ist eine Überprüfung der Korrektheit unabdingbar. Da eine vollständige Überprüfung aller vorhandenen Informationen in der Praxis mit zu viel Aufwand einhergeht, werden im Prüfkatalog deshalb Stichproben verwendet, die frei gewählt werden können. Zur Bewertung erfolgt eine Punktevergabe in Abhängigkeit der ermittelten Abweichungen. Die Abweichungen werden hierbei auf Basis des bereitgestellten Funktionsumfanges ermittelt. Werden beispielsweise bei einer Route Steigung und Oberflächenbeschaffenheit angegeben und die Steigung weist

in der Realität an zwei Stellen andere Werte auf, dann bestehen in Gänze zwei Abweichungen. Auf Basis typischer Mobilitätsszenarien wurden dabei für den Bereich Routing drei generische Beispielrouten vorgeschlagen und für den Bereich Orte wird vorgeschlagen vier Orte aus den häufig genannten Kategorien Apotheke, Arztpraxis, Kirche und Supermarkt zu überprüfen. Ebenso wie bei der SUS sollte bei der Durchführung der Bewertungen zur Korrektheit darauf geachtet werden mobilitätseingeschränkte Menschen in die Prüfung zu involvieren, da diese durch ihre persönliche Betroffenheit eine adäquate Beurteilung ermöglichen.

### **4.3 Evaluation von Datenquellen**

Bei Datenquellen steht ebenfalls die Frage nach der Verfügbarkeit im Raum. Konkreter ist hierbei jedoch für Anwendungsentwickler relevant, wie die Daten bereitgestellt, also verfügbar gemacht, werden. Deshalb wird hierzu ebenfalls mit einem Punktesystem bewertet, ob die Daten zum Einen überhaupt in einem maschinenlesbaren Format zur Verfügung stehen und ob sie zum Anderen via einer API bereitgestellt werden. Die Bereitstellung per API ermöglicht Entwicklern Automatisierungen bei der Datenbeschaffung und ist deshalb gesondert positiv zu bewerten. Um die Datenabfragen einfach zu halten, ist dabei weiterhin als positiv zu bewerten, wenn die Daten hinsichtlich ihres Schemas konsistent sind. Je mehr Inkonsistenz hier herrscht, umso mehr Abfragen müssen erstellt werden, weshalb eine Konsistenz positiv zu bewerten ist.

Bei der Evaluierung von Datenquellen kann hinsichtlich des Informationsumfanges genauso vorgegangen werden, wie bei der Evaluation von Tools. Die Vollständigkeit relevanter Daten baut auf diesem Informationsumfang auf, indem hier geprüft wird, bei wie vielen der hinterlegten Datenobjekte die Information tatsächlich verfügbar ist. Denn nur weil die Barrierefreiheit für manche Orte angegeben ist, muss das in der Praxis nicht bedeuten, dass für alle Orte hinterlegt ist, ob sie barrierefrei sind. Dabei ist zu beachten, dass hierbei nur von Relevanz ist, ob eine Information hinterlegt ist. Irrelevant ist, ob der Ort tatsächlich barrierefrei ist, da die Bewertung, wie barrierefrei beispielsweise eine Stadt ist, nicht Teil der Forschungsfrage ist. Daraus ergibt sich dann jeweils ein Prozentwert der für die Metrik noch einmal gemittelt werden kann, je nachdem ob für mehrere Punkte evaluiert wird. Da die Metrik auf dem Informationsumfang aufbaut, werden die dort erläuterten Angaben bewertet. Nicht bewertbar sind dabei jedoch Treppen, da hier zum Zeitpunkt der Durchführung der Forschung keine geeigneten Angaben über eine mögliche Grundgesamtheit gefunden werden konnten. Entweder gibt es Treppen oder nicht. Dies betrifft auch temporäre Hindernisse, Auf-



züge und die Auslastung von Behindertenparkplätzen. Ebenso konnten keine verfügbaren Datenquellen über Fahrzeuge des ÖPNV identifiziert werden, weswegen im Bereich ÖPNV nur die Vollständigkeit von Haltestellen abgeprüft wird.

Der vollständige Prüfkatalog befindet sich aus Gründen der verbesserten Übersicht und Darstellung im digitalen Anhang 9.

## 5 Evaluation des Prüfkataloges

Hevner et al. (2004) betonen in ihrer dritten Leitlinie zu seinem DSR-Modell, dass Nutzen, Qualität und Wirksamkeit jedes entwickelten Artefaktes demonstriert werden müssen mittels geeigneter Evaluationsmethoden. Die Überprüfung, ob das entwickelte Artefakt seinen Anforderungen gerecht wird, ist notwendig, um sicherzustellen, dass es einen Nutzen generiert, die Wissensbasis erweitert und das zugrunde liegende Problem löst (Hevner et al. 2004; Venable et al., 2016). In der Literatur bestehen hierfür unterschiedlichste Methoden wie beispielsweise Experteninterviews, Simulationen, Fallstudien oder Experimente (Hevner et al., 2004; Venable et al., 2012). In diesem Fall bietet sich zunächst das Anwenden des Prüfkatalogs innerhalb einer Fallstudie an, da es die Flexibilität bietet den Prüfkatalog aus unterschiedlichen Perspektiven zu analysieren. So können beispielsweise Zeit und Aufwand für eine Anwendung des Prüfkatalogs beurteilt werden, aber es lassen sich darüber hinaus auch Aussagen über den generierten Erkenntnisgewinn nach einer Auswertung treffen. Weiterhin kann ebenso eruiert werden, wie eine mögliche Ergebnisdarstellung aussehen kann. Dies sorgt für realitätsnahe Forschung, denn nur wenn der Prüfkatalog in der Praxis auch angemessen einsetzbar ist und einen Erkenntnisgewinn für Anwender bietet, stellt das Artefakt am Ende einen Nutzen dar.

### 5.1 Erhebung des Prüfkataloges am Beispiel der Smart City Bamberg

Für die Fallstudie wurde als Forschungsumfeld die Smart City Bamberg ausgewählt. Als Smart City ist eine Stadt bestrebt moderne Informations- und Kommunikationstechnologie in einem Maße einzusetzen, welches eine verbesserte Teilhabe und eine erhöhte Lebensqualität seiner Bürger ermöglicht (Caragliu et al., 2011). Die Stadt Bamberg hat dabei insbesondere das Interesse das Leben von Menschen mit Mobilitätseinschränkungen mit Hilfe von Technologie zu verbessern und verfolgt hierfür erste Projekte zur Entwicklung passender Technologien (Smart City Bamberg, 2021). Eine Anwendung des Prüfkatalogs auf Bamberg ermöglicht demnach einen weiteren Evaluationszyklus, mit dem sich Nutzen, Qualität und Wirksamkeit auch aus Sicht der Zielgruppe ermitteln lässt. Mehr dazu erfolgt im Kapitel 5.2.

Zur Auswahl des Forschungsumfeldes zählt weiterhin die Auswahl zu betrachtender Tools und Datenquellen. Hierzu wurden aus den in Kapitel 3.4 ermittelten technologischen Strukturen all jene Anwendungen ausgewählt, die für Bürger in Bamberg nutzbar sind und im Rahmen der Masterarbeit evaluierbar sind. So wurden beispielsweise die Apps „BlindSquare“ und „Ariadne“ aus Kosten- und Ressourcengründen nicht betrachtet und Anwendungen wie „MenschSolingen“ nicht, da diese nicht im Stadtgebiet

Bamberg nutzbar sind. Die Anwendung „accessibility.cloud“ wurde, trotz vorhandener Daten für Bamberg, ebenfalls nicht betrachtet, da sie nur eine Zusammenstellung von 198 Datenquellen darstellt und Rückschlüsse auf die Qualität einzelner Datenquellen im Rahmen der Arbeit nicht möglich ist. Nichtsdestotrotz bietet sich es sich für weitere Forschungsprojekte, vorzugsweise in Kooperation mit den Bereitstellern Sozialhelden e.V., an, den Prüfkatalog auch dafür anzuwenden. Basierend auf den zuvor aufgeführten Aspekten ergibt sich eine Liste von zehn Tools und einer Datenquelle. Tabelle 5.1 bietet hierzu eine Übersicht.

	<b>Bezeichnung</b>	<b>Verfügbar als</b>
<b>Tools</b>	Wheelmap	Webportal, App für iPhone und Android
	DB Bahnhof live	App für iPhone und Android
	DB Navigator	Webportal, App für iPhone und Android
	Toiletten für alle	Webportal
	HandicapX	App für iPhone und Android
	Toiletten & WC Finder	App für iPhone und Android
	Webportal Bamberg Barrierefrei	Webportal
	Openrouteservice	Webportal
	Seeing Assistant Move	App für iPhone und Android
	waveOut	App für iPhone und Android
<b>Datenquellen</b>	OpenStreetMap	Webportal, Datenzugriff über API & zahlreiche Bibliotheken

**Tab. 5.1: Anwendungen für Bamberg**

### **5.1.1 Vorgehen zur Evaluation von Tools**

Nach der Auswahl der zu evaluierenden Tools folgte die Analyse und das Testen der einzelnen Tools. Darauf basierend wurden dann die Aussagen für die Metriken Parametrisierbarkeit, Interaktivität, Informationsumfang und Verfügbarkeit bewertet.

Um den SUS zu erheben wurden im Zeitraum Mai bis August 2024 gezielt Menschen mit Mobilitätseinschränkungen angesprochen und um Bewertung gebeten. Auf das Erreichen einer statistisch relevanten Stichprobengröße von mindestens 30 Teilnehmern, wie in der Literatur oft vorgeschlagen wird für Forschung die mit zentralen Grenzwertsätzen arbeitet (Clark et al., 2021), wurde aus Ressourcengründen verzichtet, da eine akkurate Ermittlung des SUS nicht im Fokus steht, sondern die Evaluation des Prüfkataloges. Darüber hinaus kann auch bereits eine kleinere Stichprobengröße von mindestens neun Teilnehmern repräsentative Ergebnisse liefern, sodass versucht wurde, dieses Kriterium zu erfüllen, um eine bessere Datengrundlage für die geplante

Folgeevaluation bereitstellen zu können (Clark et al., 2021). Für die Bewertung konnten elf Teilnehmer akquiriert werden. Dies gilt jedoch nicht für die Tools „Seeing Assistant Move“ und „waveOut“. Hier konnten nur drei Teilnehmer befragt werden. Dies liegt darin begründet, dass diese Tools blinde und sehbehinderte Menschen als Zielgruppe ansprechen. Diese Zielgruppe wiederum verwendet Apps fast ausschließlich über akustische Signale, was folglich zu einer anderen Wahrnehmung und Bewertung von Apps führt. Diese Apps wurden deshalb nicht von den anderen Teilnehmern bewertet.

Zur Erfassung der Korrektheit wurden die Orte und Routen für die Stichproben per Zufall ausgewählt und im August 2024 inspiziert und analysiert. Um zusätzliche Erkenntnisse für die Bewertung zu gewinnen, wurde weiterhin Unterstützung aus der Zielgruppe organisiert: Die Begehung der ausgewählten Stichproben erfolgte zusammen mit einer mobilitätseingeschränkten Person im Rollstuhl sowie deren Begleitperson.

Da nicht jedes Tool alle fünf definierten Bereiche der barrierefreien Mobilität abdeckt, wurden jeweils nur jene Aussagen bewertet, deren Bereich das entsprechende Tool abdeckt. So enthält beispielsweise die App „DB Navigator“ nur Informationen im Bereich ÖPNV. Die maximal erreichbaren Punkte wurden dabei auch angepasst.

### **5.1.2 Vorgehen zur Evaluation von Datenquellen**

Für die Evaluation der Datenquelle „OpenStreetMap“ (OSM) erfolgte keine Einbeziehung der Zielgruppe. Tests und Analysen, sowie die anschließende Bewertung der Metriken Bereitstellungsform und Informationsumfang, wurden durch die Autorin durchgeführt. Da die Datenquelle alle fünf definierten Bereiche der barrierefreien Mobilität abdeckt, wurden sämtliche Aussagen für die zuvor genannten Metriken erhoben mit Ausnahme der Vollständigkeit. Aufgrund des Datenschemas war es nicht möglich bei Toiletten die Angaben zur Ausstattung und Notwendigkeit eines Euroschlüssels korrekt auszuwerten.

Die im Prüfkatalog formulierten Metriken sind allgemein formuliert. Da aber jede Datenquelle unterschiedliche Schemata aufweisen kann, war es zunächst notwendig zur Bewertung der Vollständigkeit das Datenschema von OpenStreetMap zu analysieren.

OSM Datenelemente sind entweder Knoten (Node), Linien (Way), Beziehungen (Relation) oder Flächen (Area). Jedes Datenelement kann mit Attributen versehen werden. Dabei besteht jedes Attribut aus einem Paar bestehend aus Schlüsselbegriff und Werteintrag. Im OSM Wiki (o. J.) werden typische Objekte beschrieben und welches Attributen sie kennzeichnet beziehungsweise welches sie idealerweise kennzeichnen

sollte. OSM ist ein Open Source Projekt zur Kartierung der Welt und basiert auf der Mithilfe tausender von Einzelpersonen. Dass die Daten von unterschiedlichsten Mitwirkenden jederzeit bearbeitet werden können, führt dazu, dass Objekte unterschiedlich getaggt werden können. In den Abbildungen 5.1 und 5.2 wird beispielsweise sichtbar, dass es sich zwar bei den zwei dargestellten Objekten jeweils um Bürgersteige handelt, doch deren Attribute unterschiedlich erfasst wurden. So wurden Angaben zur Oberfläche beispielsweise bei Abbildung 5.1 über das Attribut „footway:surface“ erfasst und bei dem anderen Weg als „surface“. Darüber hinaus unterscheidet sich auch die Erfassung innerhalb des Wertes selbst, da einmal ein Unterstrich und einmal ein Doppelpunkt verwendet wird.

Weg: 151079148

Version #12

diverse Aktualisierungen

Bearbeitet vor über 3 Jahren von Marc Schütz

Änderungssatz #101734253

Tags

bicycle	designated
cycleway:surface	asphalt
foot	designated
footway	sidewalk
footway:surface	concrete_plates
highway	path
lit	yes
oneway	yes
segregated	yes
traffic_sign	DE:241

Abb. 5.1: Tagging der Wegoberfläche Option 1

Weg: 72200113

Version #14

Add path surfaces

Bearbeitet vor fast 4 Jahren von Marc Schütz

Änderungssatz #93742095

Tags

bicycle	designated
cycleway:surface	paving_stones
foot	designated
footway	sidewalk
footway:surface	paving_stones
highway	path
lit	yes
mofo	yes
oneway	yes
segregated	yes
surface	concrete:plates
traffic_sign	DE:241

Abb. 5.2: Tagging der Wegoberfläche Option 2

Diese Unterschiede beeinträchtigen somit die Validität der Auswertung. Für die Auswertung der Metriken zur Vollständigkeit wurde sich an den Vorgaben im OSM Wiki orientiert. Tabelle 5.2 liefert hierzu eine Übersicht, auf welchem Schema die in der Auswertung verwendeten Skripte basieren. Für jeden definierten Bereich barrierefreier Mobilität wurde zunächst heraus gesucht, welche Datenelemente ermittelt werden müssen und wie die zu bewertenden Informationen getaggt sind. So kann beispielsweise eine Toilette als Knoten oder Fläche mit dem Attribut „amenity=toilet“ dargestellt werden. Informationen zur Rollstuhlgerichtigkeit können über das Attribut „wheelchair“ angegeben werden. Ob ein Euroschlüssel notwendig ist, wird mit dem Attribut „centralkey=eurokey“ angegeben. Jedoch können Toiletten, für die man keinen Euroschlüssel benötigt, ohne dieses Attribut getaggt werden. Auch eine mögliche Ausstattung könnte über das Attribut „description“ angegeben werden. Jedoch kann auch hier nicht allein durch das Vorhandensein des Attributes auf das Vorhandensein von Angaben zur Ausstattung geschlossen werden. Deshalb erfolgte keine Auswertung über die Vollständigkeit dieser Angaben.

Um Orte öffentlichen Interesses zu analysieren, wurden alle Knoten und Flächen, die ein Attribut mit dem Schlüsselbegriff „amenity“ beinhalten herausgesucht. Dies begründet sich darin, dass die alleinige Betrachtung von Gebäuden auch Wohngebäude beinhalten würde. Eine „amenity“ kennzeichnet hingegen Einrichtungen, die für Anwohner und Besucher sowohl nützlich als auch wichtig sind. Dies können beispielsweise Schulen, Arztpraxen und Geschäfte sein, aber auch Märkte.

Für die Auswertung wurden Python Skripte und das OSMnx Modul verwendet, da sie sich aufgrund ihrer Simplität und schnellen Auswertung anbieten. Auf dem Rechner müssen nur Python, das OSMnx Modul und eine Entwicklungsumgebung der Wahl, hier Visual Studio Code, installiert werden. Der Code ist so aufgebaut, dass zunächst definiert wird, für welchen Ort Daten extrahiert werden sollen. Dann werden anhand der Tags alle relevanten Datenelemente ermittelt. Anschließend wird berechnet, wie viele Datenelemente die gewünschte Angabe aufweisen im Vergleich zur kompletten Anzahl. Um die Vollständigkeit über die Angaben der Rollstuhlgerichtigkeit bei Toiletten zu ermitteln, sieht der Code beispielsweise wie folgt aus:

```
import osmnx as ox

# Untersuchungsgegenstand festlegen
placeName = "Bamberg, Germany"

# Toiletten extrahieren & kategorisieren
tags = {'amenity': 'toilets'}
toilets = ox.features_from_place(placeName, tags)

# Metrik berechnen
totalToilets = len(toilets)
toiletsWithoutWheelchairTag = toilets[toilets['wheelchair'].isna()]
kpiToilets = 1- (len(toiletsWithoutWheelchairTag)/totalToilets)
```

Bereich barriere- freier Mobilität	Datenschema zur Darstellung notwendiger Attribute	
Routing	Mögliche Datenelemente:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Straßen und Fußgängerwege → Node, Area, Way</li> <li>•Straßenüberquerung → Node, Way</li> </ul>
	Kennzeichnung als relevantes Routingobjekt:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Straßen → highway=*</li> <li>•Straßenüberquerung → highway=crossing</li> </ul>
	Angaben zur Bordsteinhöhe:	kerb=*
	Angaben zu Bordsteinkanten:	kerb:height
	Angaben zur Oberfläche:	surface=*
	Angaben zur Steigung:	incline=*
	Angaben zum taktilen Leitsystem:	tactile_paving=*
	Angaben zu Signalen an Ampeln:	traffic_signals:sound
Orte	Mögliche Datenelemente:	Node oder Area
	Kennzeichnung als relevantes Ortsobjekt:	amenity=*
	Angaben zur Rollstuhlgerichtigkeit:	wheelchair=*
	Angaben zur Türbreite:	wheelchair:entrance_width=*
Toiletten	Mögliche Datenelemente:	Node, Area
	Kennzeichnung als relevantes Toilettenobjekt:	amenity=toilet
	Angaben zur Rollstuhlgerichtigkeit:	wheelchair=*
Parken	Mögliche Datenelemente:	Node, Area
	Kennzeichnung als Parkfläche:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•amenity=parking</li> <li>•capacity:disabled=yes/no/number</li> </ul>
	Kennzeichnung als einzelner Parkplatz:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•amenity=parking_space</li> <li>•disabled=* oder parking_space=disabled</li> </ul>
	Kennzeichnung als Parkplatz entlang einer Straße:	<ul style="list-style-type: none"> <li>•amenity=parking</li> <li>•parking:side:disabled=designated/number</li> </ul>
ÖPNV	Mögliche Datenelemente:	Node, Way, Area
	Kennzeichnung des Datenelements als ÖPNV-relevantes Objekt:	public_transport=platform/stop_position/station oder highway=bus_stop
	Angaben zur Rollstuhlgerichtigkeit:	wheelchair=yes/no/limited

**Tab. 5.2: Verwendetes OSM Schema**

Der vollständige Code für alle Berechnungen kann dem digitalen Anhang 10 entnommen werden.

### 5.1.3 Ergebnisse

Bei der Durchführung der Auswertung ist insbesondere die Masse an generierten Informationen auffällig. Die Erkenntnisse wurden in einem ersten Entwurf in Exceldateien festgehalten. Um hier eine bessere Übersicht zu gewährleisten, empfiehlt sich zur Auswertung eine Übersichtsseite. Wie der Ausschnitt in Abbildung 5.3 veranschaulicht, lassen sich mit einer Übersicht einfache Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Anwendungen ziehen. Zusätzlich sollte die Auswertung aber die Detailseiten für jede bewertete Anwendung enthalten, denn gerade bei der Bewertung des Informationsumfanges lassen sich Rückschlüsse für Entwickler nur durch Details darüber, welche Informationen fehlen, ziehen. Die komplette Auswertung befindet sich zugunsten einer besseren Darstellung im digitalen Anhang 11. Ebenfalls wurde bei der Übersichtsseite noch eine Farbmarkierung eingeführt: ab einem Wert von 80% wird der Gesamtscore in der Farbe Grün hervorgehoben. Dies ermöglicht eine schnellere Identifikation von Defiziten.

BAMBERG - Tools		Bereiche barrierefreier Mobilität				
Tool	Metrik	Routing	Orte	Toiletten	Parken	ÖPNV
Wheelmap	SUS	77 von 100				
	Parametrisierbarkeit	0 von 3				
	Interaktivität	3 von 3				
	Informationsumfang	n/a	2 von 3	3 von 3	1 von 2	n/a
	Verfügbarkeit	4 von 4				
	Korrektheit	n/a	3 von 4	2 von 4	4 von 4	n/a
	<b>Gesamtscore</b>	<b>76%</b>				
DB Bahnhof live	SUS	69 von 100				
	Parametrisierbarkeit	0 von 3				
	Interaktivität	1 von 3				
	Informationsumfang	n/a	n/a	n/a	n/a	2 von 3
	Verfügbarkeit	4 von 4				
	Korrektheit	n/a	n/a	n/a	n/a	4 von 4
	<b>Gesamtscore</b>	<b>68%</b>				
DB Navigator	SUS	78 von 100				
	Parametrisierbarkeit	0 von 3				
	Interaktivität	1 von 3				
	Informationsumfang	n/a	n/a	n/a	n/a	2 von 3
	Verfügbarkeit	4 von 4				
	Korrektheit	n/a	n/a	n/a	n/a	4 von 4
	<b>Gesamtscore</b>	<b>76%</b>				
Toiletten für alle	SUS	90 von 100				
	Parametrisierbarkeit	0 von 3				
	Interaktivität	3 von 3				
	Informationsumfang	n/a	n/a	1 von 3	n/a	n/a
	Verfügbarkeit	2 von 4				
Auswertung Bamberg		OpenStreetMap	Wheelmap	DB Bahnhof live	DB Navigator	

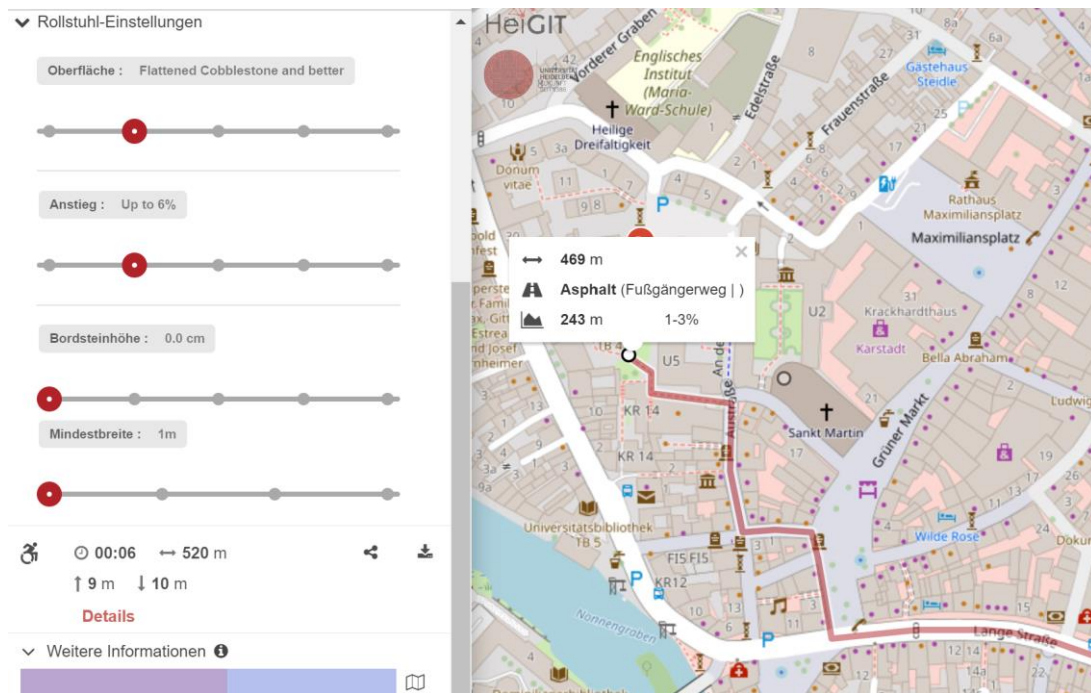
Abb. 5.3: Ausschnitt der Auswertung



Darüber hinaus sind von Teilnehmern der SUS Bewertung einige Hinweise und Verbesserungsvorschläge über die einzelnen Anwendungen genannt worden. Da der Prüfkatalog auch Hinweise für die Ersteller solcher Anwendungen geben soll, ist es unerlässlich diese Ergänzungen mit in die Auswertung zu nehmen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Auswertung, stechen bei den Gesamtbewertungen insbesondere die Tools Openrouteservice und Seeing Assistant Move durch niedrige Werte heraus. Dabei sind auch sehr niedrige SUS Werte zu erkennen. So weist der Openrouteservice einen SUS Wert 40 von insgesamt 100 möglichen Punkten auf und einen Gesamtscore von 41%. Die App Seeing Assistant Move weist einen Gesamtscore von 21% auf und einen SUS Wert von 13. Das wirft auch die Frage auf, ob das Ergebnis der SUS nicht zu starken Einfluss auf den Gesamtscore hat.

Im Bereich Routing zeigt die Auswertung, dass für Bamberg die drei Anwendungen Openrouteservice, Seeing Assistant Move und waveOut bestehen. Die letzteren zwei sind dabei speziell für blinde und sehbehinderte Menschen entwickelt worden, was insbesondere durch die niedrigen Punkte in der Kategorie Informationsumfang deutlich wird. Für beispielsweise Rollstuhlfahrer und deren Bedürfnisse bleibt dann nur der Openrouteservice, welcher aber auch Defizite in der Korrektheit und im Informationsumfang aufweist. Bei der Begehung der Route „Lange Straße zur Teilbibliothek 4“ wird beispielsweise zweimal ein falscher Oberflächenbelag angegeben. Weiterhin wurde an einer Stelle, die laut Openrouteservice eine Steigung von unter 3% aufweisen sollte (siehe Abbildung 5.4), bei der Begehung mittels einer Wasserwaagenapp und dem Gerätesensors des Smartphones eine Steigung von circa 13° beziehungsweise 23% nachgewiesen. Dies stellt nach Aussagen der Zielgruppe ein Problem dar, da der Aufstieg alleine nicht geschafft werden könnte. Ebenso wurde als Parameter angegeben, dass nur Wege mit flachem Kopfsteinpflaster oder besser berücksichtigt werden sollen. Bei der Begehung fielen jedoch Stellen mit unebenem Kopfsteinpflaster auf. Weiterhin wurde seitens der Zielgruppe angemerkt, dass basierend auf dem Routing selbst, nicht absehbar ist, auf welcher Seite einer Straße man sich befindet und wo dann gegebenenfalls die Straße zu überqueren wäre.



**Abb. 5.4: Generierte Route im Openrouteservice**

Auch im Bereich Orte ist erkennbar, dass nur eine Anwendung, Wheelmap, diesen Bereich abdeckt. Jedoch bestehen hier insbesondere Defizite bei der Korrektheit. Die zur Stichprobe ausgewählte Arztpraxis „Dr. Florian Rohm“ existiert beispielsweise in der Realität nicht am verzeichneten Ort „Obstmarkt 1“.

Im Bereich Toiletten ist zunächst ersichtlich, dass 50% der betrachteten Anwendungen diesen Bereich abdecken und in fast allen Metriken hohe Punktzahlen aufweisen. Einzig bei der Parametrisierbarkeit konnte keine Anwendung Punkte aufweisen. Demnach besteht hier noch Verbesserungspotenzial.

Den Bereich Parken decken zwei Anwendungen ab: Wheelmap und das Webportal „Barrierefrei in Bamberg“. Dabei weist keine der Anwendungen Infos zur Auslastung aus, was daran liegt, dass die Stadt Bamberg die Auslastung momentan noch nicht erfasst. Es besteht aber grundsätzlich auch keine Darstellungsoption über diese Information. Bei der Datenquelle OSM fiel dieser Bereich durch seinen Wert von 170% bei der Metrik Vollständigkeit auf. Bei eingehender Betrachtung der ausgewerteten Daten fiel auf, dass bei der Berechnung auch Parkplätze von beispielsweise Kaufhäusern in Betracht gezogen wurden. Hier ist demnach eine weitere Differenzierung erforderlich.

Den Bereich ÖPNV decken ebenfalls lediglich zwei Anwendungen ab und werden beide von der Deutschen Bahn zur Verfügung gestellt: DB Navigator und DB Bahnhof live. Dabei beschränkt sich jedoch der Informationsumfang auf Züge und Bahnhöfe der Deutschen Bahn. Demnach haben Bürger der Stadt Bamberg aktuell keine Möglichkeit sich digital über die Barrierefreiheit von Bussen und Bushaltestellen zu informieren. Den Apps der Deutschen Bahn mangelt es allerdings auch an Informationen

zur Anzahl der barrierefreien Plätze an Board. So kann man zwar nachschauen, in welchem Waggon sich diese Stellplätze befinden, aber es ist nicht ersichtlich, um wie viele es sich handelt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass der Prüfkatalog in der Realität anwendbar ist und in der Anwendung Erkenntnisgewinne liefern kann. Darüber hinaus ermöglicht insbesondere der Gesamtscore eine direkte Einschätzung darüber, wie gut eine Anwendung im Allgemeinen, und auch im Speziellen in welchen Bereichen barrierefreier Mobilität, unterstützen kann. Damit sind sowohl Wirksamkeit als auch Nutzen des Artefaktes sichergestellt.

## **5.2 Feedback durch Experten**

Um sicherzustellen, dass der Prüfkatalog mit seiner Auswertung für die Anwender aus der Zielgruppe einen Mehrwert darstellt, ist deren Beurteilung über Nutzen, Qualität und Wirksamkeit unabdingbar (Hevner et al., 2004). Hierzu bieten sich als Evaluationsmethode leitfragengestützte Experteninterviews an. Im offenen Gespräch lässt sich gezielt das Artefakt hinsichtlich Nutzen, Wirksamkeit und Qualität evaluieren, und es bleibt Raum für Ideen zur Verbesserung und um die Sichtweise der Anwender besser zu verstehen.

Als Experten wurde zum einen eine städtische Behindertenbeauftragte ausgewählt, da diese die Rechte und Ansprüche von Menschen mit Mobilitätseinschränkungen vertritt. Eine Evaluation von digitaler Unterstützung für barrierefreie Mobilität kann für eine Behindertenbeauftragte beispielsweise eine Übersicht bieten, die sie an die Menschen, die sie vertritt, weitergeben kann und die Evaluation kann Aufschluss darüber geben, wo noch Defizite bestehen. Als Behindertenbeauftragte kann man dann gegebenenfalls dazu beitragen, diese Defizite zu beseitigen. Um darüber hinaus die Sichtweise der technologischen Seite zu betrachten, wurde zum anderen ein Interview mit einem Smart City Projektmanager durchgeführt. Dieser betreut ein Projekt, in dem eine Anwendung für ein barrierefreies Routing aufgebaut werden soll. Die Interviews wurden beide im September 2024 durchgeführt.

Um Nutzen und Wirksamkeit zu evaluieren, wird zum einen nach dem Nutzen für den persönlichen Aufgabenbereich gefragt, um sicherzustellen, dass es konkrete Anwendungsmöglichkeiten gibt. Zum anderen wird nach Verbesserungsmöglichkeiten gefragt. Durch ihren Bezug zur barrierefreien Mobilität sind die Experten dazu in der Lage aufzudecken, ob gegebenenfalls noch weitere Funktionen und Informationen evaluiert werden müssen oder Einblicke zu geben, wie beispielsweise die Aussagekraft verbessert werden kann.

Weiterhin ist es wichtig, zu evaluieren inwieweit der Prüfkatalog sowohl an sich als auch dessen Handhabung und Auswertung einfach und verständlich sind. Dies sind insbesondere Aspekte die die Experten durch ihre Unvoreingenommenheit beurteilen können, da sie nicht bei der Entwicklung des Artefaktes involviert waren. Somit ergeben sich folgende drei Leitfragen für die Interviews:

- Wie verständlich und einfach ist die Anwendung des Prüfkatalogs für Sie?
- Sehen Sie weitere Verbesserungsmöglichkeiten?
- Welchen Nutzen erhalten Sie durch die Ergebnisse des Prüfkatalogs für Ihren persönlichen Aufgabenbereich?

Die Interviews wurden ebenfalls mit MAXQDA24 transkribiert und kodiert. Sowohl Transkripte als auch die codierten Segmente stehen im digitalen Anhang zur Verfügung. Zur Kodierung wurden relevante Aussagen den drei Kategorien „Persönlicher Nutzen“, „Verständlichkeit“ und „Verbesserungsvorschläge“ zugeordnet.

In der Kategorie „Persönlicher Nutzen“ wurde von beiden Experten hervorgehoben, dass das Aufdecken von Defiziten positiv ist. Insbesondere für die Behindertenbeauftragte stellt eine Auswertung einen konkreten Mehrwert dar. So arbeitet sie aktuell daran, die Einhaltung der UN Behindertenrechtskonvention zu überprüfen und basierend auf den Ergebnissen einen Aktionsplan zusammenzustellen, der Handlungsmaßnahmen aufzeigt. Dazu könnte sie die Ergebnisse laut ihrer Aussage „in diesen Aktionsplan mit integrieren und aus diesem Aktionsplan soll dann eben speziell auch ein Budget zur Verfügung gestellt werden, um diese Defizite, also Maßnahmen umzusetzen, um das auszugleichen“ (digitaler Anhang 15, Zeile 5). Auch für den Projektmanager ergeben sich konkrete Anwendungspotenziale: Neben dem Aufzeigen von Defiziten in der Auswertung zeigt der Prüfkatalog an sich auf, welche Erfordernisse an eine App gestellt werden. Für das aktuelle Projekt, der Aufbau einer Anwendung für barrierefreies Routing, stellt der Prüfkatalog somit einen Nutzen dar, indem er zum Beispiel aufzeigt „welche Vollständigkeit Daten haben müssten, um ein gutes Routing aufbauen zu können,, (digitaler Anhang 15, Zeile 8). Darüber hinaus verschafft er die Option „auch andere Entwicklungen dann prüfen [zu] können“ (digitaler Anhang 15, Zeile 10) und so Vergleichbarkeit zu generieren. Weiterhin besteht in Kooperationen oder Projekten anderer Organisationen dann die Möglichkeit „darauf basierend aufzubauen und vielleicht einen weltweiten Score für barrierefreie Städte sozusagen aufzubauen“ (digitaler Anhang 15, Zeile 11).

Hinsichtlich der Verständlichkeit wurde gelobt, dass die Darstellung der Auswertung sehr übersichtlich sei. Dabei wurde auch die Einteilung in eine farbliche Kennung als hilfreich hervor gehoben. Sowohl die Aufteilung in eine globale Gesamtübersicht als

auch die Option auf jedes Tool speziell eingehen zu können, wurden hervorgehoben (digitaler Anhang 15, Zeilen 37 und 39). Darüber hinaus sind „die Zusammenhänge gut ersichtlich und auch die Abgrenzung von Daten und dem Frontend ist wichtig“ (digitaler Anhang 15, Zeile 36). Ebenso befanden die Experten „wie bewertet wird, wie das Punktesystem ist, was dahinter steht, ist gut erklärt“ (digitaler Anhang 15, Zeile 35) und dass der Prüfkatalog überwiegend selbsterklärend sei. Jedoch wurde seitens der Behindertenbeauftragten angemerkt, dass weniger Fachbegriffe, wie beispielsweise SUS, verwendet werden sollten: „Weil ich persönlich jetzt auch mit diesen ganzen Begriffen vorne jetzt weniger anfangen hätte können, weil ich eben auch nicht so aus diesem ganzen IT Bereich bin“ (digitaler Anhang 15, Zeile 26). Außerdem wurden ein Management Summary, also eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Handlungsempfehlungen, sowie eine Hinweisseite (digitaler Anhang 15, Zeilen 13, 19, 31, 32, 21, 24, 25) gewünscht.

Weitere Verbesserungsvorschläge umfassen die Abfrage über taktile Leitsysteme innerhalb von Gebäuden sowie die Abfrage über das Vorhandensein von induktiven Höranlagen (digitaler Anhang 15, Zeilen 14, 15, 16). Auch wenn induktive Höranlagen auf den ersten Blick nicht Teil der barrierefreien Mobilität sind, gehören sie für schwerhörige Menschen auch dazu, da sie gerade im ÖPNV oft die Ansagen nicht verstehen. Wenn sie nicht wissen, wo sie sich befinden und nicht wissen, wo sie aussteigen müssen und keine visuelle Unterstützung bereitsteht, liegen für diese Personen dann Barrieren in ihrer Mobilität vor. Zusätzlich wurde die Verwendung einer Ampelfarbkodierung – also die Einteilung aller Werte in die Farben rot, gelb grün – inklusive einer Option, die Kodierungsgrenzen selbst festlegen zu können, befürwortet (digitaler Anhang 15, Zeile 22). Weiterhin wurde die Verbindung zwischen Tools und Daten hinsichtlich ihrer Korrektheit aufgezeigt, denn „die Korrektheit eines Tools wird sich immer darauf stützen, wie gut die Daten sind“ (digitaler Anhang 15, Zeile 23). Deshalb empfiehlt sich ebenfalls bei den Datenquellen die Korrektheit zu evaluieren.

Für das Artefakt ergeben sich basierend auf diesen Ergebnissen folgende Änderungen:

Das Artefakt dieser Arbeit umfasst neben dem Prüfkatalog ebenfalls eine Vorlage zur Auswertung des Prüfkatalogs (digitaler Anhang 12), um eine einheitliche Auswertung gewährleisten zu können. Weiterhin wurde die Vorlage zur Auswertung um einen Reiter „Management Summary“ ergänzt. Ebenso sollten Ampelfarbkodierungen bei den Ergebnissen ergänzt werden. Einstellbare Grenzen werden hingegen nicht befürwortet, da hierbei dann keine direkte Vergleichbarkeit mehr gegeben wäre.

Der Prüfkatalog selbst wurde um Verwendungshinweise ergänzt, die Informationen darüber geben, wie sich Werte zusammensetzen und was beispielsweise bei der Durchführung einer Auswertung zu beachten ist. Ebenfalls wurden in den Metriken „Informationsumfang“ für Tools und Datenquellen die Abfrage von taktilen Leitsystemen

im Bereich Orte sowie die Abfrage von induktiven Höranlagen in den Bereichen ÖPNV und Orte hinzugefügt. SUS wurde in Benutzerfreundlichkeit umbenannt, um die Verständlichkeit zu verbessern. Außerdem wurde im Prüfkatalog das Wort „Frage“ durch „Aussage“ ersetzt, um mehr Klarheit zu gewährleisten und die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit, ehemals SUS, wurde umformuliert, da das Wort „Bewertungsbeitrag“ für Unklarheiten sorgte. Zuletzt wurde die Metrik Korrektheit auch bei der Evaluation von Datenquellen ergänzt. Der verbesserte Prüfkatalog kann im digitalen Anhang 16 eingesehen werden.

## 6 Diskussion

Als mobilitätseingeschränkter Mensch steht man vor der Frage, welche Anwendungen bestehen, um eine digitale Unterstützung in seiner Mobilität zu erhalten und wie gut die einzelnen Anwendungen letztendlich sind. Als Entwickler und Auftraggeber solcher Systeme steht man vor der Frage, wie die eigene Anwendung konzipiert sein sollte, um den unterschiedlichen Bedürfnissen mobilitätseingeschränkter Menschen gerecht zu werden. Als städtischer Mitarbeiter steht man vor den Fragen, was die eigenen Bürger benötigen, inwieweit man ihren Anforderungen bereits gerecht wird und was man tun kann, um die derzeitige Situation zu verbessern. All diese Überlegungen liefen in der Forschungsfrage dieser Masterarbeit zusammen: *Wie lässt sich digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität bewerten?*

Aus Basis des DSR-Modells von Hevner et al. (2004) wurde zunächst eruiert, welche Informationen die derzeitige Literatur bereitstellen kann, um eine Wissensbasis zu bilden. Hierbei wurde herausgearbeitet, wie sich digitale Unterstützung im Allgemeinen evaluieren lässt. Dabei wurden die System Usability Scale von Brooke (1996), die „mobile app rating scale (MARS)“ von Stoyanov et al. (2015), FURPS von Grady und Caswell (1987) und das Technology Acceptance Model von Davis (1986) identifiziert. Danach wurde recherchiert, wodurch das Themenumfeld charakterisiert wird, um einen Überblick über Anforderungen an digitale Unterstützung im Speziellen für barrierefreie Mobilität zu erhalten. Basierend auf dem vorgeschlagenen Modell von Hevner et al. (2004) wurden die involvierten Akteure analysiert und mit leitfadengestützten Interviews konnte ermittelt werden, wo Barrieren in ihrer Mobilität bestehen und wie sie digitale Unterstützung in ihrer Mobilität nutzen und bewerten beziehungsweise nutzen und bewerten würden. Darüber hinaus konnten durch Recherche folgende organisationale Strukturen herausgearbeitet werden: die Behindertenrechtskonvention der Vereinten Nationen, das Personenbeförderungsgesetz und die DIN 18040 für barrierefreies Bauen. Diese bilden einen gesetzlichen und organisationalen Rahmen für digitale Unterstützung im Bereich barrierefreie Mobilität. Weiterhin wurden technologische Strukturen identifiziert, die aktuell im Bereich barrierefreie Mobilität genutzt werden. Neben zahlreichen Apps, die über behindertengerechte Orte, Toiletten und Parkplätze informieren, wurden auch Routingsysteme, wie der Openrouteservice, und OpenData-Portale, wie das Berliner ODIS, welches Informationen über Gehwegbreiten bereitstellt, sowie Datenquellen, wie Openstreetmap, aufgezeigt. Basierend auf diesen Ermittlungen wurde ein Anforderungskatalog zusammengestellt und dann ein erster Prüfkatalog entwickelt.

Zur Evaluation des entwickelten Artefaktes wurde eine Fallstudie durchgeführt: der Prüfkatalog wurde für die Stadt Bamberg erhoben. Dabei konnte zum einen festgestellt

werden, dass mithilfe des Prüfkataloges Erkenntnisgewinne für die involvierten Akteure geliefert werden können und der Prüfkatalog somit nützlich und wirksam ist. Zum anderen wurde aufgrund der Durchführung der Auswertung deutlich, dass es notwendig ist, einen Rahmen für die Auswertung vorzugeben. Durch Einführung einer Dokumentationsvorlage, die die einzelnen ausgewerteten Prüfkataloge für jede Anwendung enthält sowie eine Übersichtsseite, die die Ergebnisse aller evaluierten Tools zusammenfasst, lässt sich die Qualität verbessern.

Um eine objektive Betrachtung der Verständlichkeit sowie weitere Aussagen über konkrete Nutzungspotenziale durch die involvierten Akteure zu erhalten, wurden der Prüfkatalog und die Auswertung für die Stadt Bamberg mit zwei Experteninterviews untersucht. Hierzu wurden eine städtische Behindertenbeauftragte sowie ein Projektmanager, welcher ein Smart City Projekt zur Entwicklung einer Anwendung für barrierefreies Routing betreut, interviewt. Auch hier konnte demonstriert werden, dass die Artefakte nützlich und wirksam sind. Die Behindertenbeauftragte zeigte sich erfreut darüber, eine Übersicht über den Stand der digitalen Unterstützung für barrierefreie Mobilität in ihrer Stadt sowie Transparenz über bestehende Defizite zu erhalten. Für sie weisen die Ergebnisse darüber hinaus einen Nutzen auf, da sie sie direkt in ihrer Tätigkeit verwenden kann: Sie kann die Ergebnisse als Grundlage verwenden, um im Aktionsplan für die Umsetzung der Behindertenrechtskonvention Defizite aufzuzeigen und daraus resultierende erforderliche Handlungsmaßnahmen begründen. Auch für den Projektmanager ergab sich ein konkreter Nutzen: Er erhält durch die Evaluation eine Übersicht über die Anforderungen, die an seine zu entwickelnde Anwendung gestellt werden und Transparenz darüber, welche Gegebenheiten derzeit am Markt existieren. Dies gibt ihm auch eine Entscheidungsgrundlage zur Auswahl bestimmter Datenquellen oder Frontends sowie eine Möglichkeit seine Entwicklung selbst zu evaluieren.

Im Interview mit den Befragten wurde weiterhin deutlich, dass zwar eine solide Qualität besteht, hinsichtlich der Verständlichkeit und Wirksamkeit aber auch Verbesserungspotenzial besteht. So wurde die Einführung einer kurzen Zusammenfassung der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen, die sich aus einer Auswertung ergeben, in Form eines Management Summary empfohlen, um Entscheidungsträgern, und dabei insbesondere nicht-technischen Personen, eine bessere Übersicht zu bieten. Zusätzlich bietet sich die Ergänzung des Prüfkataloges um Hinweise zur Verwendung an, sodass verständlicher wird, wie eine Auswertung durchzuführen ist und wie sich die ermittelten Werte interpretieren lassen. Um die Wirksamkeit zu verbessern, wurde seitens der Behindertenbeauftragten angemerkt, dass erfasst werden sollte, ob auch Orte über sowohl taktile Leitsysteme als auch induktive Höranlagen verfügen. Die Abfrage über induktive Höranlagen ist darüber hinaus auch im Bereich ÖPNV von Bedeutung für schwerhörige Menschen, da diese sonst in ihrer Orientierung eingeschränkt werden.



In Deutschland weisen circa 16 Millionen Menschen eine Hörbeeinträchtigung auf (Deutscher Schwerhörigen Bund, 2024). Das stellt rund ein Viertel der deutschen Bevölkerung dar und insofern ist auch dies ein relevanter Aspekt, den es bei digitalen Unterstützungssystemen zur barrierefreien Mobilität zu bewerten gilt. Der Prüfkatalog und die Auswertungsvorlage wurden anschließend um diese Punkte sowie die zuvor genannten Erweiterungen ergänzt.

Durch die Evaluation in Form der Fallstudie konnten darüber hinaus konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Tabelle 6.1 liefert hierzu eine Übersicht. Für städtische Entscheidungsträger ist es empfehlenswert vorhandene Daten, beispielsweise zu behindertengerechten Toiletten und Parkplätzen oder zu Oberflächenbelägen, in einem OpenData-Portal bereitzustellen. Damit ermöglichen sie Anwendungsentwicklern eine einfachere Entwicklung. Zusätzlich bildet die verbesserte Datenlage Anreize für eine verbesserte und stetige Entwicklung, da mehr Daten für mehr Städte bedeuten, dass mehr Nutzer angesprochen werden können. Durch eine höhere Anzahl an Nutzern besteht folglich auch ein höheres Potenzial zur Kapitalisierung. Zeitgleich ergibt sich auch ein Nutzen für die Stadt, denn ihre Bürger profitieren von verbesserten Technologien. Der Aufwand für die Stadt bleibt dabei gering, da sie sich nur um eigene Daten kümmern muss. Hilfreich wäre dabei auch ein Austausch mit anderen Kommunen, sodass die Formate der bereitgestellten Daten vorzugsweise einheitlich abgestimmt werden. Einige Städte haben hierzu bereits Entwicklungspartnerschaften gebildet (SolingenDigital, 2021). Die Teilnahme an einer Entwicklungspartnerschaft ist zusätzlich zu empfehlen, da dadurch die Entstehung von Insellösungen verhindert und längerer Appsupport gewährleistet wird. Durch die gemeinsame Entwicklung können darüber hinaus Kosten und Entwicklungsaufwände gespart sowie einheitliche Anwendungen bereitgestellt werden. Darüber hinaus profitieren die Städte durch den gegenseitigen Austausch, indem sie Erfahrungen im Umgang mit weiterer digitaler Unterstützung austauschen können. Hat eine Stadt beispielsweise erfolgreich Parkplatzsensoren eingeführt, spart sich die andere die Recherche und Erprobung diverser Anbieter zu Parkplatzsensoren. Des Weiteren ist das Anbieten weiterer digitaler Unterstützung in Bamberg empfehlenswert. Im Vergleich zu Bamberg finden sich beispielsweise Städte, die bereits zuvor erwähnte Parkplatzsensoren zur Auslastungsmessung oder Unterstützung für Blinde und sehbehinderte Menschen im ÖPNV anbieten. Für Behindertenbeauftragte bietet es sich weiterhin an, den Prüfkatalog für die eigene Stadt zu erheben. Die Ergebnisse sollten den Bürgern dann als Übersicht verfügbar gemacht werden, damit diese ebenfalls von den Erkenntnissen profitieren können. Darüber hinaus befinden sich einige Behindertenbeauftragte derzeit dabei den Aktionsplan zur Umsetzung der Behindertenrechtskonvention zusammenzustellen. Eine Anwendung des Prüfkatalogs auf die eigene Stadt und anschließende Identifikation und Sammlung von Handlungsmaßnahmen kann danach in den Aktionsplan miteinfließen.

<b>Relevant für:</b>	<b>Handlungsempfehlung:</b>
Städtische Entscheidungsträger	Bereitstellen mobilitätsrelevanter Daten in einem OpenData-Portal
	Austausch mit anderen Kommunen
	Eingehen von Entwicklungspartnerschaften
	Einführung weiterer digitaler Unterstützung (zum Beispiel Parkplatzsensoren und ÖPNV Unterstützung für blinde Menschen)
Behindertenbeauftragte	Durchführung einer Evaluation für die eigene Stadt und Bereitstellung der Auswertung als Übersicht
	Integration der Ergebnisse in den Aktionsplan zur Umsetzung der Behindertenrechtskonvention
Anwendungsentwickler	Kombiniertes Routing ermöglichen (zum Beispiel ÖPNV und zu Fuß)
	Bei dem Routing zwischen Straßen und Gehweg unterscheiden
	Navigation zusätzlich zur Routengeneration ermöglichen
	Interaktivität ermöglichen
	Parametrisierung ermöglichen
	Filteroptionen anbieten
	Einstiegstutorials anbieten
	Informationen über Toilettenausstattung bereitstellen
	Informationen über Barrierefreiheit im ÖPNV (insbesondere bei Bussen) bereitstellen
	ÖPNV Navigation für blinde und sehbehinderte Menschen erleichtern
	Digitale Barrierefreiheit forcieren
	Erkundungsmodus für blinde und sehbehinderte Menschen anbieten
	Korrekte Ampelphasenerkennung ermöglichen
	Anforderungen von blinden und sehbehinderten Menschen im Routing berücksichtigen
	Rollstuhlanmeldung bei der Deutschen Bahn über eine App ermöglichen

**Tab. 6.1: Handlungsempfehlungen**

Für Anwendungsentwickler lassen sich folgende Funktionsanforderungen für verbesserte Anwendungen als Handlungsempfehlung ableiten: Routingsysteme sollten ein kombiniertes Routing – Teile der Strecke werden beispielsweise mit ÖPNV und andere Teile im Rollstuhl zurückgelegt – ermöglichen. Dabei sollte das Routing zwischen Straßen und Gehwegen unterscheiden, sodass Straßenüberquerungen korrekt gewählt werden können und ein explizites Fußgängerrouting möglich ist. Weiterhin sollte das Routingsystem nicht nur eine Route generieren, sondern auch eine Navigation ermöglichen. Im Umgang mit den Nutzern sollte eine digitale Unterstützung Interaktivität ermöglichen. Zum Beispiel indem Nutzer inkorrekte Sachverhalte melden

oder vorhandene Informationen bewerten können. Zusätzlich sollte auf Parametrisierbarkeit geachtet werden, da insbesondere bei barrierefreier Mobilität unterschiedlichste Einschränkungen bei den Anwendern bestehen. Dazu empfiehlt sich ebenfalls die Einführung von Filteroptionen. Ebenso sollte bei Anwendungen zu Toiletten auch die Ausstattung angegeben werden. Hier empfiehlt es sich insbesondere auf geeignete Formate zu achten, damit ein filtern möglich ist. Dies würde es einer Familie mit Kleinkind beispielsweise ermöglichen nach Wickeltischen zu suchen. Im Bereich ÖPNV sollten Anwendungen Informationen über Busse integrieren und im Allgemeinen genauere Informationen über die Anzahl an barrierefreien Stellplätzen in den Fahrzeugen beziehungsweise Waggon bereitstellen. Für die Deutsche Bahn im Speziellen besteht die Handlungsempfehlung, die Rollstuhlanmeldung via App zu ermöglichen. Auch die Anforderungen blinder und sehbehinderter Menschen sollten stärkere Beachtung finden. Routingsysteme sollten Hindernisse wie Baustellen integrieren und beim Generieren von Routen Straßenübergänge mit taktilen Leitsystemen oder Audiosignalen bevorzugen. Zusätzlich ist auch die Option eines Erkundungsmodus, der aufzeigt welche Orte sich in der direkten Umgebung befinden, wünschenswert. Weiterhin empfiehlt sich die Entwicklung von Anwendungen, welche helfen Ampelphasen korrekt zu erkennen. Bei Anwendungen, die die Bedürfnisse blinder und sehbehinderter Menschen ansprechen sollen, sollte insbesondere auch die digitale Barrierefreiheit berücksichtigt werden. Im ÖPNV Bereich ist für diese Personengruppe zusätzlich relevant zu erfahren, in welchem Fahrzeug sie sitzen und welches Fahrzeug an der Haltestelle als nächstes ankommt. Hilfreich wäre darüber hinaus auch die Möglichkeit Einstiegs- und Ausstiegswünsche zu äußern. Schlussendlich bietet es sich für alle Anwendungen an, ihren Nutzern den Einstieg mit einem Tutorial zu erleichtern.

Diese Handlungsempfehlungen demonstrieren darüber hinaus auch, dass die entwickelten Artefakte in der Lage sind, effektiv zu evaluieren, wie gut digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität ist. Darauf basierend können sie auch Erkenntnisgewinne bereitstellen.

Bei der Entwicklung und Evaluierung des Prüfkataloges wurden weiterhin Herausforderungen in diesem Forschungsfeld ersichtlich. So besteht als grundsätzliche Herausforderung, dass ältere Menschen weniger Technologie zu ihrer persönlichen Unterstützung nutzen, aber gleichzeitig den größten Nutzen aus solchen Anwendungen ziehen könnten, da insbesondere im Alter vermehrt Mobilitätseinschränkungen auftreten (Claßen et al., 2014). In den Zielgruppeninterviews während der Anforderungsanalyse wurde dies deutlich (digitaler Anhang 8, Zeilen 132 & 151). Auch Studien zeigen, dass ältere Menschen Technologien, wie Laptop, Smartphone oder das Internet, deutlich seltener verwenden (Seifert, 2016; Seifert und Schelling 2015). Hier bietet es sich an,

weiter zu erforschen, wie diese Personengruppe, und dabei insbesondere die mobilitätseingeschränkten Personen, digitale Unterstützung nutzt und warum sie sie nicht nutzt.

Weiterhin besteht die Herausforderung, dass die Realität nie exakt abbildbar ist. So ergeben sich häufig Abweichungen zwischen der Realität und der digital dargestellten Welt. Diese Abweichungen sind beispielsweise Baustellen, die natürliche Abnutzung – zum Beispiel von Straßenbelag – oder nur sehr temporär bestehende Hindernisse. So wurde in den Zielgruppeninterviews angemerkt, dass unachtsam in den Weg gestellte Kartons oder Mülleimer Barrieren darstellen (digitaler Anhang 8, Zeile 48). Dazu kommt, dass es schwierig sein kann, die Umwelt digital zu erfassen. Einige Ansätze nutzen hier Crowdsourcing, wie Wheelmap oder OSM. Beim Crowdsourcing sammeln Gruppen von Menschen Informationen und stellen sie den Systemen zur Verfügung (Estellés-Arolas & González-Ladrón-de-Guevara, 2012). Wie die Auswertung und Literatur zeigen, kann dies auch zu inkorrekten Informationen, zum Beispiel durch Datenvandalismus, führen (Ballatore, 2014). Dazu kommt auch die Herausforderung, dass Nutzer bei OSM Objekte inkonsistent taggen, wie in Kapitel 5.1.2 näher erläutert wurde. Nichtsdestotrotz verbessern sich die Möglichkeiten durch den technologischen Fortschritt immer weiter, sodass sich hier Synergien nutzen lassen könnten. So bestehen unter anderem Bestrebungen digitale Zwillinge – also die digitale Repräsentation eines Objektes aus der realen Welt (Eigner, 2020) – zum Beispiel mittels Drohnenaufnahmen (Zheng et al., 2024) zu erstellen. Weitere Forschung sollte dabei insbesondere betrachten, wie Aspekte barrierefreier Mobilität am besten digital erfasst werden können und wie aus diesen digitalen Zwillingen ebenfalls Informationen für die digitale Unterstützung bei barrierefreier Mobilität gewonnen werden können.

Gerade bezüglich dem Erhalt von Daten war auffallend, dass viele der technologischen Lösungen zwar Informationen bereithalten, die Daten jedoch nicht automatisiert und parametrisierbar abgreifbar zur Verfügung stellen. So bietet die Stadt Bamberg beispielsweise Informationen über behindertengerechte Toiletten und Parkplätze an, jedoch nur zum Nachschauen über eine Karte in ihrem Webportal oder als Liste im Textformat und zum Herunterladen im PDF-Format. Für Entwickler lässt sich damit schlechter arbeiten, da hier viel manueller Aufwand entsteht. Stattdessen bietet es sich an Daten, wie beispielsweise Berlin dies mit den Gehwegbreiten tut, via einem Open-Data-Portal zur Verfügung zu stellen. Eine einfache und automatisierbare Datenerfassung ermöglicht den Entwicklern Daten aus vielen Städten in ihrer Anwendung zu nutzen. Für je mehr Städte eine Anwendung verfügbar ist, desto mehr Nutzer kann die Anwendung anziehen. Eine breitere Nutzerbasis bietet Anreiz für eine stetige Weiterentwicklung und könnte sich so zu einem Standard etablieren. Darüber hinaus wurde auch in den Zielgruppeninterviews bemängelt, dass Apps nach einiger Zeit nicht mehr nutzbar waren (digitaler Anhang 8, Zeile 70). Ebenso war bei der Anforderungsanalyse

auffallend, dass viele Projekte und Anwendungen, die eine Unterstützung im Bereich barrierefreier Mobilität darstellen wollten, nicht mehr öffentlich verfügbar sind, wie beispielsweise die Anwendung „aim4it“ (DLR, o. J.), oder nicht mehr weiter entwickelt werden. So wurde beispielsweise im Routingsystem Graphhopper das Rollstuhl-Profil im April 2024 wieder entfernt (Graphhopper, 2024).

Des Weiteren wurde sowohl bei der Anforderungsanalyse als auch in der Fallstudie für Bamberg ersichtlich, dass sehr viele Lösungen existieren, die nur einen Bereich abdecken, wenig Funktionalität bieten oder nur für einen begrenzten geografischen Raum verfügbar sind. Somit müssen sich die Anwender immer wieder manuell alle benötigten Informationen zusammensuchen. Um einen Arztbesuch zu planen müsste man beispielsweise mit Wheelmap zunächst eine barrierefreie Arztpraxis heraussuchen. Dann müsste man eine barrierefreie Route mit Openrouteservice recherchieren sowie gegebenenfalls eine Fahrt mit dem ÖPNV. Hier besteht allerdings bereits die Herausforderung, dass aktuell keine Möglichkeit für ein kombiniertes Routing besteht. Infolgedessen müsste man den Weg zur Haltestelle, die Route mit dem ÖPNV und dann den Weg von der Haltestelle zur Arztpraxis separat heraussuchen. Dies stellt einen hohen Aufwand dar und begründet damit eine geringere Teilhabe am gesellschaftlichen Leben.

Schlussendlich besteht auch die Herausforderung, dass blinde Menschen deutlich unterschiedliche Anforderungen an digitale Unterstützung haben. Denn aufgrund ihrer visuellen Einschränkung sind zu viele Informationen belastend, wohingegen für beispielsweise Rollstuhlfahrer mehr Informationen hilfreicher sind. Ebenso unterscheidet sich die Bedienung der Anwendungen gänzlich, da blinde Menschen oft sprachgestützte Bedienungshilfen verwenden müssen. Das führt bei einer App beispielsweise dazu, dass ihre Handhabung für blinde Menschen mit mehr Aufwand verbunden ist, umso mehr Bedienelemente sie aufweist, da jedes Element zunächst erklickt und angehört werden muss. Hier könnte weitere Forschung untersuchen, ob bei der Evaluation digitaler Unterstützung eine gänzliche Trennung der zugrundeliegenden Einschränkungen sinnvoll ist.

Des Weiteren sollte eine Verbesserung beziehungsweise Legitimierung der entworfenen Artefakte durch weitere Forschung angestrebt werden. So bietet es sich an, den Prüfkatalog für weitere Städte zu erheben, um durch die Vergleiche weitere Rückschlüsse auf Handlungsmöglichkeiten und Verbesserungsmöglichkeiten zu erhalten. Ebenfalls bietet sich die Entwicklung einer Anwendung an, die Prüfkatalog und Auswertung zusammen abbildet und die Durchführung und Auswertung somit erleichtert. Darüber hinaus sollte zukünftige Forschung, zur Bewertung von Barrierefreiheit im Allgemeinen, die vorliegenden Ergebnisse der Arbeit berücksichtigen. Insbesondere in den Zielgruppeninterviews wurde deutlich, dass Barrierefreiheit Einschränkungen

in vielen Facetten aufweist. Deshalb bietet sich die Evaluation von Barrierefreiheit im Allgemeinen an und die vorliegenden Ergebnisse konnten hier einen ersten Beitrag für die digitalen Aspekte leisten. Zusätzlich könnte sich weitere Forschung damit beschäftigen, ob sich der Gesamtscore anders zusammensetzen sollte. Aufgrund der aufgezeigten Ergebnisse in Kapitel 5.1.3 besteht die These, dass eine zu starke Gewichtung der Benutzerfreundlichkeit im Gesamtscore und somit eine Überrepräsentation stattfindet.

Kritisieren lässt sich darüber hinaus auch die Messung der Korrektheit, da die Verwendung von Stichproben sehr selektiv ist. Jedoch ist aufgrund der Masse an Informationen eine vollumfängliche Überprüfung schier unmöglich. Nichtsdestotrotz ist das Aufdecken von Inkonsistenzen ein wichtiger Aspekt in der Evaluation der digitalen Unterstützung. Wie in der Anforderungsanalyse aufgezeigt, können bereits kleine Hindernisse eine unüberwindbare Barriere für mobilitätseingeschränkte Menschen darstellen. Korrekte Informationen sind deshalb von besonderer Bedeutung. Des Weiteren besitzen die ermittelten Werte in der Fallstudie für Bamberg eine beschränkte Aussagekraft. So wurde beispielsweise bei der Bewertung der Benutzerfreundlichkeit keine vollständig ausreichende Stichprobengröße erreicht und aufgrund von Ressourcen- und Kostengründen erfolgte keine Bewertung der Anwendungen BlindSquare und Ariadne. Da jedoch im Zentrum der Fallstudie nicht die Auswertung an sich stand, sondern zu erproben, inwieweit der entwickelte Prüfkatalog ein geeignetes Artefakt darstellt, sind diese Limitierungen für diese Arbeit vernachlässigbar.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend lässt sich sagen, dass durch die Anwendung des DSR-Modells von Hevner et al. (2004) ein Prüfkatalog und eine Vorlage zur Auswertung entwickelt werden konnten. Nach einem anfänglichen Überblick über den Stand der Forschung zur Evaluation von digitalen Unterstützungssystemen im Allgemeinen, wurde anhand leitfadengestützter Zielgruppeninterviews sowie offener Recherchen das Themenumfeld hinlänglich charakterisiert. Dies bot einen Überblick über die wesentlichsten Anforderungen, die sowohl im Allgemeinen an die Evaluation von digitalen Anwendung bestehen als auch im Speziellen, welche Anforderungen an die Evaluation sich aus den Charakteristiken von barrierefreier Mobilität ergeben. Hier wurde auch ein Überblick über organisationale Strukturen, welche insbesondere gesetzliche Rahmenbedingungen wie die UN Behindertenrechtskonvention umfassen, sowie technologische Strukturen gegeben. Letzterer bietet insbesondere eine Übersicht darüber, welche konkreten Anwendungen bereits für barrierefreie Mobilität bestehen. Nach der anschließenden Entwicklung des Prüfkataloges wurde anhand einer iterativen Evaluation mittels, einer Fallstudie, in der der Prüfkatalog für die Stadt Bamberg erhoben, und einer abschließenden Betrachtung in Experteninterviews mit Teilnehmern der Zielgruppe, demonstriert, dass die Artefakte sich sowohl als nützlich als auch als wirksam erweisen. Somit zeigt sich im Hinblick auf die Forschungsfrage – „Wie lässt sich digitale Unterstützung für barrierefreie Mobilität bewerten?“ – dass sich solche Anwendungen hinsichtlich ihrer Qualität und Eignung als digitale Unterstützung im Bereich barrierefreier Mobilität systematisch mit dem entwickelten Prüfkatalog evaluieren lassen können. Die Evaluation betrachtet dabei Tools wie Apps und Webportale, und Datenquellen getrennt, da sie unterschiedliche Charakteristiken aufweisen. Bei der Evaluation von Tools steht besonders die Betrachtung der Benutzerfreundlichkeit der Anwendung im Fokus. Darüber hinaus kann durch Überprüfung des angebotenen Informationsumfanges sowie dessen Korrektheit eruiert werden, inwieweit eine Anwendung den Bedürfnissen mobilitätseingeschränkter Menschen gerecht wird. Dabei unterscheidet sich die Betrachtung je nachdem, welchen Bereich barrierefreier Mobilität – Routing, Orte, Toiletten, Parken oder ÖPNV – die Anwendung anspricht. Zusätzlich betrachtet der Prüfkatalog die Möglichkeiten zur Interaktion, Parametrisierbarkeit und Verfügbarkeit. Bei der Evaluation von Datenquellen findet auch eine Einteilung in die Bereiche barrierefreier Mobilität statt. Zusätzlich zu dem Informationsumfang und der Korrektheit, wird hier auch die Vollständigkeit der angebotenen Daten evaluiert. Weiterhin wird die Bereitstellungsform betrachtet, um Aufschluss über die Einfachheit der Verwendung der Datenquelle zu geben.

Des Weiteren zeigten die Evaluationen der Artefakte, dass insbesondere die Verständlichkeit der Ergebnisse für nicht-technische Entscheidungsträger optimiert werden

sollte. Deshalb wurde die finale Version des Prüfkataloges um zusätzliche Hinweise zur Verwendung ergänzt. Außerdem wurde bei der Auswertung empfohlen, immer auch eine kurze Zusammenfassung in Form eines Management Summary bereitzustellen, um allen Beteiligten einen verständlichen Zugang zu den gewonnenen Erkenntnissen zu ermöglichen.

Neben der Bereitstellung der Artefakte an sich wurden im Laufe der Arbeit weitere wesentliche Erkenntnisse über die Optimierungspotenziale solcher Anwendungen gewonnen. Infolgedessen konnten zusätzlich konkrete Handlungsempfehlungen nicht nur für Anwendungsentwickler bereitgestellt werden, damit diese die Anforderungen mobilitätseingeschränkter Menschen besser berücksichtigen können, sondern es wurden darüber hinaus auch Maßnahmen für städtische Entscheidungsträger aufgezeigt. Des Weiteren bietet diese Arbeit auch für zukünftige Forschung mehrere Ansatzpunkte. Zum einen sollten weitere Städte den Prüfkatalog nutzen, um vergleichbare Daten zu sammeln und zusätzliche Erkenntnisse über Best Practices und Optimierungsmöglichkeiten digitaler Unterstützungssysteme zu gewinnen. Zum anderen könnte eine digitale Umsetzung des Prüfkatalogs als Anwendung entwickelt werden, um die Durchführung und Auswertung der Ergebnisse zu erleichtern. Darüber hinaus sollte die Forschung zur barrierefreien Mobilität verstärkt technologische Fortschritte zur Abbildung der realen Welt im Blick behalten. Durch einen Austausch könnten sich Synergien ergeben. So bieten derzeit insbesondere die Forschungen zur Entwicklung digitaler Zwillinge mögliche Einblicke zur Verbesserung der Abbildung der realen Welt in digitalen Lösungen.

Hinsichtlich der Limitationen der Arbeit ist anzumerken, dass der entwickelte Prüfkatalog insbesondere bei der Evaluation der Korrektheit weiterhin Schwächen aufweist. Diese ist aufgrund selektiver Stichproben nicht ganzheitlich bewertbar. Darüber hinaus zeigte die Anwendung in der Fallstudie, dass zur Bewertung der Vollständigkeit von Datenquellen im Bereich Parken noch Verbesserungsbedarf besteht. Hier besteht deshalb zusätzlicher Forschungsbedarf, um zu verstehen, wie diese Metriken effizienter und effektiver evaluiert werden könnten. Hinsichtlich einer Verbesserung des Prüfkataloges sollte zukünftige Forschung weiterhin prüfen, inwieweit eine getrennte Betrachtung von Anwendungen in Abhängigkeit der angesprochenen Mobilitätseinschränkung sinnvoll sein kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der entwickelte Prüfkatalog einen wertvollen Beitrag zur Bewertung und Verbesserung der digitalen Unterstützung im Bereich barrierefreie Mobilität leistet. Die Arbeit erweitert damit die Wissensbasis nicht nur um die beiden Artefakte, Prüfkatalog und Auswertungsvorlage, sondern stellt auch Erkenntnisse darüber bereit, welche Aspekte bei der Entwicklung von digitalen Unterstützungssystemen für barrierefreie Mobilität insbesondere von Bedeutung sind und



berücksichtigt werden sollten. Somit bietet die Arbeit trotz ihrer Limitationen nicht nur wichtige Impulse für die zukünftige Forschung, sondern auch die Anwendungsentwicklung in der Praxis, die darauf abzielt, Barrieren abzubauen und die digitale Unterstützung für mobilitätseingeschränkte Menschen nachhaltig zu verbessern. Schlussendlich leistet die Arbeit damit auch einen Beitrag zu einer inklusiveren Gesellschaft, in dem sie die Teilhabe mobilitätseingeschränkter Menschen durch verbesserten technologischen Fortschritt stärkt.

## Literaturverzeichnis

Ardelt, R. G., Hasenkamp, U., Heinrich, L. J., König, W., Krallmann, H., Kurbel, K., ... & Stucky, W. (2011). Geschichte der Wirtschaftsinformatik. *Entstehung und Entwicklung einer Wissenschaftsdisziplin*. Berlin [ua]: Springer.

Ballatore, A. (2014). Defacing the map: Cartographic vandalism in the digital commons. *The Cartographic Journal*, 51(3), 214-224.

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114-123.

Baskerville, R. L., Myers, M. D., & Yoo, Y. (2019). Digital first: The ontological reversal and new challenges for IS research.

Beauftragter der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen, (2018). Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen. Die amtliche, gemeinsame Übersetzung von Deutschland, Österreich, Schweiz und Lichtenstein. [https://www.institut-fuer-menschenrechte.de/fileadmin/Redaktion/PDF/DB\\_Menschenrechtsschutz/CRPD/CRPD\\_Konvention\\_und\\_Fakultativprotokoll.pdf](https://www.institut-fuer-menschenrechte.de/fileadmin/Redaktion/PDF/DB_Menschenrechtsschutz/CRPD/CRPD_Konvention_und_Fakultativprotokoll.pdf)

BGG. (2022). [https://www.gesetze-im-internet.de/bgg/\\_4.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bgg/_4.html)

Boehm, B. W., Brown, H., Lipow, M. (1978) "Quantitative Evaluation of Software Quality," TRW Systems and Energy Group, 1978

Bolz, C., Tobies, M., Thönnies, L., Ullrich, N., Sandner, S., & Burger, C. (2022). Inklusionsbarometer Mobilität 2022.

BrokenLifts, (o. J.). Finde heraus, welche Aufzüge im Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg funktionieren und welche momentan außer Betrieb sind. [www.brokenlifts.org](http://www.brokenlifts.org)

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.

Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.

Ciaffoni, (2023). Ariadne GPS (Version 4.5.3) [Mobile App]. AppStore.

Clark, N., Dabkowski, M., Driscoll, P. J., Kennedy, D., Kloo, I., & Shi, H. (2021). Empirical decision rules for improving the uncertainty reporting of small sample system usability scale scores. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(13), 1191-1206.

- Claßen, K., Oswald, F., Doh, M., Kleinemas, U., & Wahl, H. W. (2014). *Umwelten des Alterns: Wohnen, Mobilität, Technik und Medien*. Kohlhammer Verlag.
- Davis F (1986) A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems. PhD Thesis, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, 13(3), 319-340.
- Deutsche Bahn, (2024). DB Bahnhof live (Version 3.26.1) [Mobile App]. PlayStore.
- Deutsche Bahn, (2024). DB Navigator (Version 24.26.0) [Mobile App]. PlayStore.
- Deutscher Hochschulverband (2010, 23. März). *Wissenschaft und Ethik*. Deutscher Hochschulverband. URL: <https://www.hochschulverband.de/positionen/presse/resolutionen/wissenschaft-und-ethik>
- Deutscher Schwerhörigenbund (2024). Wir über uns. <https://www.schwerhoerigen-netz.de/informationen/wir-ueber-uns/wir-ueber-uns/>
- Deutsches Institut für Normung. (2010). *Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude* (DIN 18040-1).
- DLR (o. J.). aim4it – barrierefreier ÖPNV für Fahrgäste mit eingeschränkter Mobilität. URL: <https://www.dlr.de/de/ts/forschung-und-transfer/projekte/aim4it>
- Dreamwaves, (2023). waveOut (Version 1.6.1) [Mobile App]. PlayStore.
- Dromey, R., G. (1995). A model for software product quality. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 21(2):146– 162.
- Eigner, M. (2020). Digitaler Zwilling–Stand der Technik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 115(s1), 3-6.
- Eller, C., & Riedl, R. (2016). Ziele von Informationssystemen. *HMD Prax. Wirtschaft.*, 53(2), 224-238.
- Estellés-Arolas, E., & González-Ladrón-de-Guevara, F. (2012). Towards an integrated crowdsourcing definition. *Journal of Information science*, 38(2), 189-200.
- Fishbein M, Ajzen I (1975) Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Addison-Wesley, Massachusetts.
- Grady, R., Caswell, D. (1987). *Software Metrics: Establishing a Company-wide Program*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Graphhopper (2024). GraphHopper Routing Engine 9.0 Released. URL: <https://www.graphhopper.com/blog/2024/04/23/graphhopper-routing-engine-9-0-released/>

Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS quarterly*, 337-355.

Hevner, A. R. (2007). A three cycle view of design science research. *Scandinavian journal of information systems*, 19(2), 4.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 75-105.

Init, (o. J). ASSISTIVetravel: digitale Unterstützung für Fahrgäste mit Behinderungen. <https://www.initse.com/dede/news-resources/knowledge-database/2021/assistivetravel/>

International Organization for Standardization. (2023). *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model* (ISO/DIS Standard No. 25010). URL: <https://www.iso.org/standard/78176.html>

Kassie, N. B., & Singh, J. (2020). A study on software quality factors and metrics to enhance software quality assurance. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 29(1), 24-44.

King, W. R. (2006) A meta-analysis of the technology acceptance model. *Information & Management*, 43(6): 740–755.

Li, T., Fan, Y., Li, Y., Tarkoma, S., & Hui, P. (2021). Understanding the long-term evolution of mobile app usage. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 22(2), 1213-1230.

Mani, M., Kavanagh, D. J., Hides, L., & Stoyanov, S. R. (2015). Review and evaluation of mindfulness-based iPhone apps. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(3), e4328.

March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, 15(4), 251-266.

McCall, J. A., Richards, P. K., & Walters, G. F. (1977). Factors in Software Quality, Griffiths Air. Force Base, NY Rome Air Development Center Air Force Systems Command.

MIPsoft Oy, (2024). BlindSquare (Version 5.66) [Mobile App]. AppStore.

ODIS Berlin, (2020). Berliner Gehwegbreiten. URL: <https://odis-berlin.de/projekte/2020-05-gehwegbreiten/>

Österle, H., Winter, R., & Brenner, W. (2010). *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*. Infowerk.

- Openrouteservice, (2024). ORS-Karten. <https://classic-maps.openrouteservice.org/directions?n1=49.88757&n2=10.91452&n3=18&b=3&c=0&h1=create&h2=3&h3=0.001&h4=1&k1=en-US&k2=km>
- Openstreetmap, (o. J.). OpenStreetMap. [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)
- OSM Wiki, (o. J.). OpenStreetMap Wiki. [www.wiki.openstreetmap.org](http://www.wiki.openstreetmap.org)
- PaderSprinter GmbH, (2024). PaderSprinter Kompass (Version 7.11.2) [Mobile App]. PlayStore.
- PBeFG, (2024). <https://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/>
- Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, 24(3), 45-77.
- Positive Infinity, (2024). Toiletten und WC Finder (Version 2.9.38) [Mobile App]. PlayStore.
- Samadhiya, D., Wang, S. H., & Chen, D. (2010, October). Quality models: Role and value in software engineering. In *2010 2nd International Conference on Software Technology and Engineering* (Vol. 1, pp. V1-320). IEEE.
- Schopf, J. M. (2001). Mobilität & Verkehr–Begriffe im Wandel. *Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär*, 3, 3-11.
- Seifert, A. (2016). Techniknutzung im Alter. *NOVAcura, Bd, 1*, 53-55.
- Seifert, A., & Schelling, H. R. (2015). Digitale Senioren. Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) durch Menschen ab 65 Jahren in der Schweiz im Jahr 2015.
- Smartcity Bamberg, (2021). Projekt MoMM. <https://smartcity.bamberg.de/2021/11/04/projekt-momm/>
- SolingenDigital (2021). Entwicklungspartnerschaft Open Smart City App. URL: <https://www.solingen.digital/blog/entwicklungspartnerschaft-open-smart-city-app>
- SolingenDigital, (o. J.). Parken - konkreter Mehrwert mit Sensorik. <https://solingen.digital/projekte/parkraumsensorik-mehrwert-fuer-die-innenstadt>
- Sozialhelden e.V., (2023). Wheelmap (Version 5.3) [Mobile App]. PlayStore. <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.wheelmap.android.online&hl=de&pli=1>
- Sozialhelden e.V., (o. J.). accessibility.cloud Exchange accessibility data, standardized. [www.accessibility.cloud](http://www.accessibility.cloud)

Stadt Bamberg, (o. J.). Behindertengerechte Toilette und Behindertenparkplätze. <https://www.stadt.bamberg.de/B%C3%BCrgerservice/%C3%84mter/Menschen-mit-Behinderung/Barrierefrei-in-Bamberg/Behindertengerechte-Toiletten-Parkpl%C3%A4tze/>

Stiftung Leben Pur, (o. J.). Wo & Wie. <https://www.toiletten-fuer-alle.de/wo-wie/nc.html>

Stoyanov, S. R., Hides, L., Kavanagh, D. J., Zelenko, O., Tjondronegoro, D., & Mani, M. (2015). Mobile app rating scale: a new tool for assessing the quality of health mobile apps. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(1), e3422.

Transition Technologies, (2024). Seeing Assistant Move (Version 2.5.2) [Mobile App]. PlayStore.

TU Dresden, (o. J.). CAMPUS NAVIGATOR. <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/its/campus-navigator>

VAG, (2023). Neue App: VAG\_Lotse - akustische Fahrgastinformation via Smarthone - für blinde und sehbehinderte Menschen. <https://www.vag.de/presse/pressearchiv/detail/neue-app-vag-lotse-akustische-fahrgastinformation-via-smarthone-fuer-blinde-und-sehbehinderte-menschen>

Venable, J., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2012). A comprehensive framework for evaluation in design science research. In *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice: 7th International Conference, DESRIST 2012, Las Vegas, NV, USA, May 14-15, 2012. Proceedings 7* (pp. 423-438). Springer Berlin Heidelberg.

Venable, J., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2016). FEDS: a framework for evaluation in design science research. *European journal of information systems*, 25(1), 77-89.

Venkatesh V, Morris MG, Gordon B, Davis FD (2003) User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3):425–478.

Will, A. (2024). HandicapX (Version 1.6.1) [Mobile App]. PlayStore. <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.iwilldesign.handicapx&hl=de>

Woo, C., Saghaifi, A., & Rosales, A. (2014, December). What is a contribution to IS design science knowledge?. In *ICIS 2014 Proceedings*. 4.

Yoo, Y. (2010). Computing in everyday life: A call for research on experiential computing. *MIS quarterly*, 213-231.

Zheng, O., Abdel-Aty, M., Yue, L., Abdelraouf, A., Wang, Z., & Mahmoud, N. (2024). CitySim: a drone-based vehicle trajectory dataset for safety-oriented research and digital twins. *Transportation research record*, 2678(4), 606-621.

## Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Interview mit Person 1, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang1\_Transkript\_Person1.pdf

Anhang 2: Interview mit Person 2, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang2\_Transkript\_Person2.pdf

Anhang 3: Interview mit Person 3, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang3\_Transkript\_Person3.pdf

Anhang 4: Interview mit Person 4, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang4\_Transkript\_Person4.pdf

Anhang 5: Interview mit Person 5, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang5\_Transkript\_Person5.pdf

Anhang 6: Interview mit Person 6, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang6\_Transkript\_Person6.pdf

Anhang 7: Interview mit Person 7, Mobilitätseinschränkung durch Alter und Parkinson (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang7\_Transkript\_Person7.pdf

Anhang 8: Codierte Segmente der Zielgruppeninterviews (Excel), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang8\_Kodierungen\_Zielgruppeninterviews.xlsx

Anhang 9: Prüfkatalog im ersten Entwurf (PDF), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Prüfkatalog/Anhang9\_Prüfkatalog\_Version1.pdf

Anhang 10: Skripte zur Ermittlung der Werte zur Vollständigkeit (Pythonskripte), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Prüfkatalog/Anhang10\_SkripteZurVollständigkeit.py

Anhang 11: Evaluation des Prüfkatalogs durch Fallstudie, Auswertung für Bamberg (Excel), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Prüfkatalog/Anhang11\_Prüfkatalog\_Fallstudie.xlsx

Anhang 12: Vorlage zur Auswertung des Prüfkatalogs (Excel), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Prüfkatalog/Anhang12\_Prüfkatalog\_VorlageZurAuswertung.xlsx



Anhang 13: Interview mit Behindertenbeauftragter (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang13\_Transkript\_Behindertenbeauftragte.pdf

Anhang 14: Interview mit SmartCity Projektmanager (Transkript), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang14\_Transkript\_Projektmanager.pdf

Anhang 15: Codierte Segmente der Experteninterviews (Excel), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Interviews/Anhang15\_Kodierungen\_Experteninterviews.xlsx

Anhang 16: Prüfkatalog im zweiten Entwurf (PDF), Dateipfad: Masterarbeit/Anhang/Prüfkatalog/Anhang16\_Prüfkatalog\_Version2.pdf

PDF-Version dieser Arbeit, Dateipfad: Masterarbeit/Masterarbeit\_Borkes\_2003899.pdf

## **Abschließende Erklärung**

Ich erkläre hiermit gemäß § 9 Abs. 12 APO, dass ich die vorstehende Masterarbeit selbstständig verfasst bzw. erbracht habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt worden sind. Ferner, dass die digitale Fassung der gedruckten Ausfertigung ausnahmslos in Inhalt und Wortlaut entspricht und dass zur Kenntnis genommen wurde, dass die digitale Fassung einer durch Software unterstützten, anonymisierten Prüfung auf Plagiate unterzogen werden kann.

Bamberg, den 25.09.2024

---

(Vorname, Nachname)