

Das Barrierenerkennungssystem von eNav

Dženan Džafić¹, Florian Lahr¹, Pierre Schoonbrood¹, Dominik Franke¹,
Stefan Kowawelewski¹

¹RWTH Aachen University · dzafic@embedded.rwth-aachen.de

Zusammenfassung: Bei der Mobilität von Rollstuhlfahrer spielen Barrieren eine große Rolle, da z. B. Stufen schon ein unüberwindbares Hindernis sind und zu großen Umwegen führen können. Um Umwege zu reduzieren, müssen Barrieren dem Navigationssystem, wie eNav, bekannt sein. Geodatenbanken, wie OpenStreetMap, erfassen bereits viele Barrieren aber nicht alle. In diesem Paper wird ein Konzept vorgestellt, in dem die fehlenden Barrieren durch Crowdsourcing gesammelt werden. Dabei haben Rollstuhlfahrer die Möglichkeit, Barrieren zu melden. Zudem kommt, dass ein Hintergrundservice der Navigationsapp versucht Barrieren anhand des Fahrverhaltens des Rollstuhlfahrers zu erkennen. Abschließend wird anhand einer Evaluation die gewünschte Funktionsweise des Barrierenerkenners untersucht.

Schlüsselwörter: Barrierefreiheit, Crowdsourcing, Navigationssystem, eNav, Rollstühle

Abstract: Considering mobility of wheelchair users, barriers are of utmost importance. Steps are already an unpassable obstacle and can lead to long detours. To reduce the number of detours occurring, barriers should be known to navigation systems, like eNav. In this paper a concept is introduced, which deals with the missing barriers, by locating these using a crowdsourcing strategy. A background service of the navigation app additionally tries to detect barriers by analyzing the driving behavior of the wheelchair user. Finally, the desired behavior of the barrier detection system is verified with an evaluation.

Keywords: Accessibility, crowdsourcing, VGI, eNav, wheelchairs

1 Einleitung

Um ein Navigationssystem für Rollstuhlfahrer zu implementieren, muss sich der Entwickler anderen Herausforderungen stellen als bei herkömmlichen Navigationssystemen. Dabei spielen Barrieren eine zentrale Rolle. Ein Rollstuhlfahrer kann weder als Fahrrad, Fußgänger oder Kraftfahrzeug kategorisiert werden. Würde der Rollstuhlfahrer als Fahrrad kategorisiert werden, besteht die Gefahr, dass ihm Fußgängerwege oder Einbahnstraßen verwehrt werden. Beim Kategorisieren als Fußgänger führen Treppen zu Problemen, beim Kraftfahrzeug, die Autobahn.

Daraus resultiert die Notwendigkeit einer Karte, wo nur die Wege ohne Barrieren eingetragen sind. OpenStreetMap bietet dazu eine gute Basis, allerdings ist diese nicht vollständig. In diese Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem mithilfe von Crowdsourcing die Barrieren erkannt werden und somit das Kartenmaterial verbessert. Die Erkennung erfolgt auf der eine Seite durch Beobachtung des Fahrverhaltens (CGI) und auf die andere Seite hat der Rollstuhlfahrer die Möglichkeit die Barriere zu melden (VGI). Zu Beginn dieses Papers, erfolgt eine Beschreibung über das gesamte eNav System. Dies ist notwendig, um eine Eingliederung des Barrierenerkennungssystems zu erleichtern. Anschließend werden verwandte Arbeiten aufgelistet. Darauf folgt eine Definition von Barrieren. In den Hauptteil dieser Arbeit

wird ein Konzept für ein auf Crowdsourcing basierendes Barrierenerkennungssystem vorgestellt. Zum Schluss wird anhand einer Evaluation überprüft ob sich das Konzept für die Erkennung von Barrieren eignet.

2 eNav

Das eNav-System (Abb. 1) ist ein Navigationssystem, welches Rollstuhlfahrern eine barrierefreie Route berechnet. eNav stellt zwei Schnittstellen zur Verfügung: zum einen ein webbasierten Routenplaner, zum anderen eine Navigations-App. Das Navigationssystem berechnet neben der kürzesten Route auch die energieeffizienteste. Für die Berechnung nutzt das System Kartenmaterial von OpenStreetMap (OSM) (TOPF & RAMM 2010). Das Material wird mit Laserscandaten um Höheninformationen angereichert, um die Steigung der Straßen zu bestimmen. Die Genauigkeit der Höheninformation beträgt ca. 20 cm (DZAFIC et al. 2013). Zusätzlich wird der Rollwiederstand einbezogen, der aus Bodenbelag-Information abgeleitet wird. Die in OSM vorhandene Information über Barrieren werden ebenfalls berücksichtigt. Eine Untersuchung in der Stadt Aachen zeigt, dass mit der energieeffizientesten Route bis zu 50 % der Energie eingespart werden kann (DZAFIC et al. 2014).

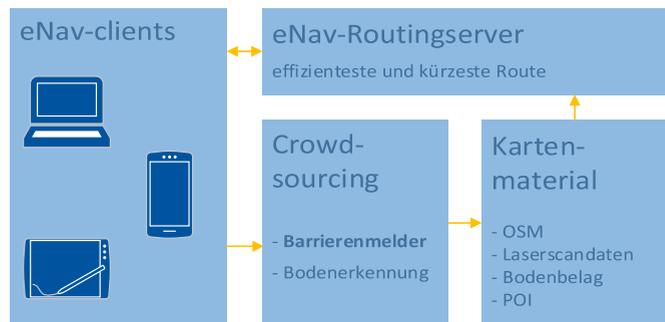


Abb. 1: eNav-Architektur

Das eNav-System weist eine Client-Server Architektur auf. Mit anderen Worten, der Nutzer stellt eine Routenanfrage an den Client. Der Client leitet die Anfrage weiter an den Server, welcher beide Routen berechnet und der Nutzer bekommt die Möglichkeit sich für eine der beiden zu entscheiden (DZAFIC et al. 2016).

3 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden Arbeiten vorgestellt, die eine ähnliche Thematik wie dieses Paper behandeln. Diese verwenden alle Crowdsourcing (siehe Abschnitt 4.2) um Hindernisse zu erkennen.

3.1 Wheelmap

Im Projekt Wheelmap¹ von Sozialhelden e. V. liegt der Fokus, ähnlich wie in dieser Arbeit, auf Barrierefreiheit. Bei Wheelmap liegt der Fokus auf Point of Interests (POI). Dazu besitzt

¹ <http://wheelmap.org/>

Wheelmap eine Datenbank aller POI. Diese kann ein Rollstuhlfahrer verwenden, um zu erfahren ob ein POI Barrierefrei ist. Jedoch ist diese Information nicht bei allen POI bekannt. In Solchen Fällen hat der Rollstuhlfahrer die Möglichkeit die Information, nach Besuch dieses POI, zu ergänzen (vgl. CGI Abschnitt 4.2). Einem POI kann entweder der Status barrierefrei, teilweise barrierefrei oder nicht barrierefrei zugeteilt werden. Unter teilweise barrierefrei sind Räumlichkeiten zu verstehen, die der Rollstuhlfahrer zwar betreten kann, jedoch nicht jeden Teil der Räumlichkeit erreichen kann (WHEELMAP 2016). Im Gegensatz zu Wheelmap wird in dieser Arbeit die Barrierefreiheit von Outdoor-Routing behandelt.

3.2 Google Traffic

Im Echtzeit-Staumelder Google Traffic wird versucht die Verkehrsbedingungen in Echtzeit anzuzeigen. Die Informationen werden im Hintergrund, durch die Benutzung von Google Maps als Navigationssystem, dem verwendeten Gerät entnommen. Dafür muss bei dem verwendeten Gerät lediglich die Standortermittlung des GPS-Sensors eingeschaltet sein, wodurch eine Berechnung der Geschwindigkeit pro Streckenabschnitt ermöglicht wird. Durch die Informationen vieler Nutzer werden empfangene Daten immer mit den bisher empfangenen Daten verglichen und es ergibt sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit für jeden Streckenabschnitt (GOOGLE 2009). Sowie der eNav-Barrierenerkennung, verwendet Google Traffic CGI (Abschnitt 4.2). Allerdings sammelt Google Staubbezogene- und eNav Barrierenbezogene-Information.

3.3 Barrierenerkennung mit Smart-Band

In dieser Arbeit wird versucht mithilfe eines Smart-Band, welches den Stresslevel eines Rollstuhlfahrers misst, Barrieren zu erkennen. Um das Stresslevel zu bestimmen wird die Hautleitfähigkeit gemessen. Der Rollstuhlfahrer trägt zusätzlich eine Kamerabrille und ein GPS-Sensor. Damit können die Stresswerte der Position und der Ursache zugeordnet werden. Laut einer Evaluation werden Barrieren erkannt. Die Datenauswertung dieser Methodik ist aber arbeitsintensiv, weil ein Experte zu jedem erhöhten Stresslevel den korrespondierenden Videoabschnitt anschauen muss, um die Art der Barriere zuzuordnen. Außerdem ist die benötigte Ausstattung kostenintensiv. Barrieren sind aber nicht die einzigen Ereignisse, die eine Erhöhung des Stresslevels zu Folge haben, z. B.: Auch ein Erschrecken vor etwas führt zu einer Erhöhung (KÜCÜK 2015, DA SILVA et al. 2011).

4 Grundlagen

Die nachfolgenden zwei Absätze tragen zu dem Verständnis dieses Papers bei. Um zu verdeutlichen, welche Art von Barrieren für diese Arbeit relevant ist, folgt eine Begriffsdefinition von Barriere und Barrierefreiheit. Als zweites folgt eine Erläuterung von Crowdsourcing und Crowdsourcing-Verfahren der Geoinformatik, welches die Basis der Methodik dieses Papers bildet.

4.1 Barrierefreiheit und Barriere

Barrierefreiheit ist im Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) § 4 wie folgt definiert:

„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 behinderte Menschen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar sind.“

Das bedeutet, im Rahmen dieser Arbeit werden alle Hindernisse, die einen mobilitätseingeschränkten Menschen hindern von A nach B zu gelangen, als Barrieren aufgefasst. Dabei werden die Barrieren in dieser Arbeit in temporär und permanent unterteilt.

Temporäre Barrieren sind zeitlich begrenzte Hindernisse. Beispiele für diese Kategorie sind z. B. ein auf dem Gehweg stehendes Auto oder eine wegversperrende Mülltonne. Diese Art wird vom Navigationssystem nur betrachtet, wenn die Dauer des Hindernisses bekannt ist. Zusätzlich werden Temporäre Barrieren aufgeteilt in kurz- und langfristige Temporäre Barrieren. Eine langfristige Barriere versperrt den Durchgang mindestens ein Tag und wird als Barriere aufgefasst. Das heißt eine Straßenbaustelle wird als Barriere aufgefasst, jedoch das parkende Auto nicht.

Permanente Barrieren sind dauerhafte Hindernisse, z. B. eine Treppe, enge Durchgänge etc. Diese Kategorie muss vom Navigationssystem betrachtet werden.

4.2 Crowdsourcing

Crowdsourcing beschreibt ein Ansatz, bei dem eine Problemstellung in ein großes Netzwerk an Nutzern ausgelagert wird. Jeder Nutzer des Netzwerks kann dabei einen Lösungsvorschlag für das Problem einreichen (HOWE 2006). In der Geoinformatik spielt Volunteered Geographic Information (VGI) eine Rolle. Dabei sammeln Nutzer geographische Informationen gezielter Merkmale. In Falle dieser Arbeit betreffen diese Merkmale „Barrieren“. Vorteile für GIS betrifft die Aktualität der Daten, Kosten, sowie die Verfügbarkeit (GOODCHILD 2007).

Neben VGI spielt auch Contributed Geographic Information (CGI) eine Rolle. Bei CGI werden die Daten passiv (also ohne aktives Mitwirken der Teilnehmer) gesammelt. Der Teilnehmer hat wenig oder keine Kontrolle über die Datenerfassung und kann entscheiden, nicht an die Datenerfassung teilzunehmen (SUI et al. 2012).

5 Barrierenerkennungssystem

Das Barrierenerkennungssystem wird in ein manuelles Erfassungssystem und ein semiautomatisches Erkennungssystem unterteilt. Das manuelle Erfassungssystem ermöglicht dem Benutzer eine im Kartenmaterial nicht eingetragene Barriere zu vermerken. Das Sammeln der Informationen auf diese Art basiert auf VGI. Im Falle, dass der Benutzer nicht bereit ist die Barrieren manuell zu vermerken, kommt CGI ins Spiel und versucht mittels einer semiautomatischen Erkennung die Barrieren anhand des Fahrverhaltens zu erkennen. Diese beiden Subsysteme werden in den nächsten Abschnitten detaillierter aufgeführt.

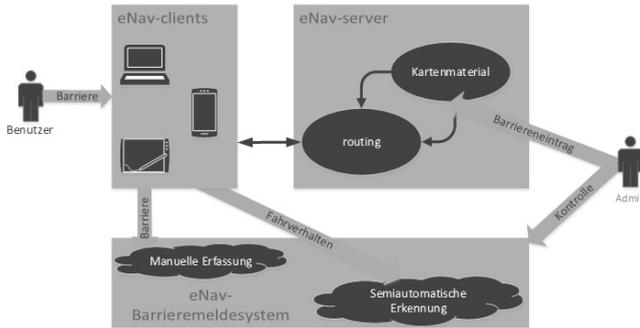


Abb. 2: Modell des eNav-Barrierenerkennungssystems

5.1 Manuelle Erfassung

Die manuelle Erfassung erfolgt, wie in Abbildung 2 dargestellt, direkt von dem Benutzer über den eNav-Client. Dazu drückt der Benutzer den mit B beschrifteten Button, der unten Links in Abbildung 3 zu sehen ist. Darauf erscheint das Feedback Fenster, welches ebenfalls in Abbildung 3 zu sehen ist. Das Fenster ermöglicht dem Benutzer eine Auswahl aus vier häufig auftretenden Barrieren. Sollte keine der vier vorgeschlagenen Barrieren zutreffen, hat der Benutzer die Möglichkeit durch eine individuelle Beschreibung eine Barriere zu melden.

Bei genauem Hinsehen ist festzustellen, dass die Barrieren von temporär nach permanent geordnet sind. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, behandelt das System diese zwei Arten von Barrieren unterschiedlich. Zurzeit werden „parkende Fahrzeuge“, die im Weg stehen zwar an das System gemeldet, führen jedoch nicht zur Sperrung der dadurch blockierten Straße. Solch ein Auto kann jederzeit wegfahren, wodurch die Straße wieder befahrbar ist. Im Moment werden diese Meldungen nicht beachtet. Die Idee ist, eine Verbindung zum Ordnungsamt aufzubauen, sodass Orte, wo häufig parkende Autos gemeldet werden, unter Beobachtung geraten. Ein ähnliches Verhalten weist die temporäre Barriere „Mülltonne“ auf.

„Baustellen“ sind langfristige, temporäre Barrieren, bei denen die Sperrungsdauer der betroffenen Straße nicht immer bekannt ist. Als erstes recherchiert der Administrator nach der Baustelle. Ist die Dauer der Baustelle bekannt, wird die blockierte Straße für die bekannte Zeit gesperrt. Verfügt der Administrator über keine Information, folgt eine Sperrung der betroffenen Straße auf bestimmte Zeit. Die Option die Straße permanent zu sperren ist ausgeschlossen, weil, so wie



Abb. 3: eNav-GUI Barrieremeldes-Interface

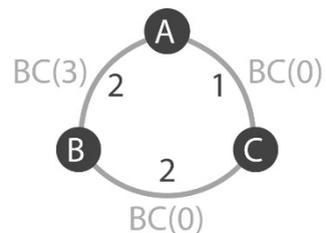


Abb. 4: Gewichtung

beim „*parkenden Auto*“, die Straße irgendwann wieder befahrbar wird. Trotzdem wird die Information nicht ignoriert, da angenommen wird, dass die Dauer der Baustelle mehr als einen Tag beträgt. Diese Annahme wird in der Zukunft untersucht.

Stufen dienen als typische Vertreter für permanente Barrieren, die dem Administrator unmittelbar mitgeteilt werden. Das gleiche gilt auch für individuell umschriebene Barrieren, weil das System nicht über die Intelligenz verfügt, Text zu erkennen und zu kategorisieren.

5.2 Semiautomatische Erkennung (SAE)

Die Grundidee der Semiautomatischen Erkennung besteht darin, das Fahrverhalten von Rollstuhlfahrern zu analysieren um Barrieren zu erkennen. Wenn die Benutzer z. B. alle an derselben Stelle von der vorgeschlagenen Route abweichen, ist das ein Indikator dafür, dass hinter der Routenabweichung eine Barriere den Weg versperrt. In Verlauf dieses Kapitels wird anhand einiger typischer Verhaltensmuster der Ablauf der semiautomatischen Erkennung verdeutlicht. Im Voraus wird durch Abbildung 5 die Markierung und Gewichtung der möglichen Barrieren anhand einer vereinfachten Version verdeutlicht.

Jede Kante im Routinggraph besitzt einen Barrieren-Counter (BC in Abb. 4). Dieser wird bei einer mutmaßlichen Barriere hochgezählt. Erreicht dieser Zähler einen Grenzwert, so wird ein Administrator benachrichtigt, dass die betroffene Kante möglicherweise durch eine Barriere blockiert ist. Das Verhalten des Counters wird anhand eines Beispiels erklärt. Angenommen, Fahrer X muss von A nach B reisen. Die kürzeste Route ist direkt von A nach B und wird vom Navigationssystem vorgeschlagen. Fahrer X fährt aber über C. Die SAE erkennt dann, dass der Fahrer von der vorgeschlagenen Route abweicht. Darauf wird der Barriere-Counter der Kante AB erhöht. Sollte Fahrer Y aber über die Kante AB fahren, wird der Barriere-Counter wieder reduziert.

Die Notwendigkeit den Barriere-Counter zu reduzieren, wird in Abbildung 5 gezeigt. Angenommen der Rollstuhlfahrer fährt auf dem Gehweg und das Navigationssystem leitet ihn geradeaus. Bei dem Versuch die Straße zu überqueren stellt er fest, dass die Bordsteinkante zu hoch ist. Der Fahrer ist gezwungen bis zur letzten Abflachung zurück zu fahren und über die Fahrbahn die Straße zu überqueren. Das SAE erkennt bei dem Zurückfahren eine Routenabweichung und wird auf der betroffenen Kante eine Barriere vermerken. Unter der Beachtung, dass Gehwege in OSM oftmals

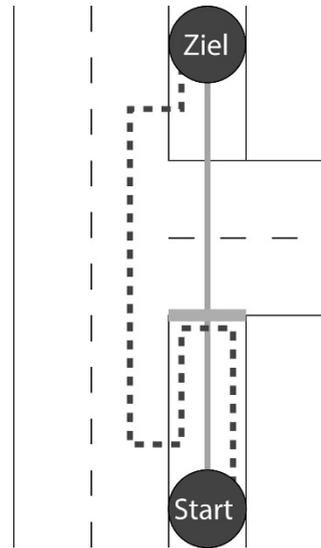


Abb. 5:
Keine abgeflachte Bordsteinkante

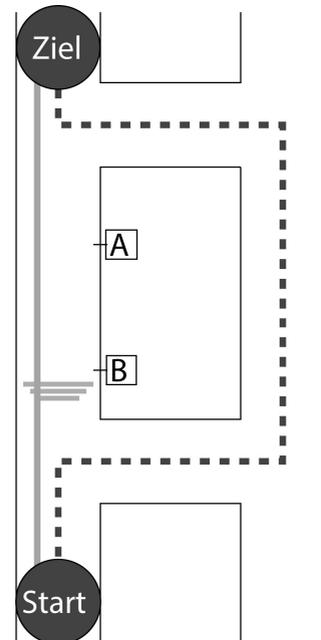


Abb. 6:
Früh erkannte Stufen

nicht als separate Kante, sondern nur als Zusatzinformation der Fahrbahn eingetragen sind, wird somit auch der Barriere-Counter der Straße erhöht. Um eine Sperrung der Straße zu verhindern, muss die Möglichkeit bestehen, den Barriere-Counter wieder zu verringern. Deshalb wird in den Fall von Abbildung 5 der Barriere-Counter runtergezählt, wenn die Straße überquert wird, ansonsten würde die Kante früher oder später gesperrt werden.

Ein Fahrer kann aus mehreren Gründen von der Route abweichen, wobei Barrieren dabei nur ein Grund sind. Deshalb ist die Erhöhung des Barriere-Counters fallabhängig. In den folgenden Abschnitten werden einige Verhaltensmuster und dessen Gewichtung vorgestellt. Das Szenario in Abbildung 6 zeigt, wie der Fahrer an einer Gabelung entscheidet nicht die vorgeschlagene Route, sondern eine Parallelstraße zu folgen. Der Grund dieser Entscheidung kann entweder eine Barriere sein, wie in Abbildung 6, oder eine persönliche Präferenz. In beiden Fällen zählt die SAE den Barriere-Counter für die Strecke AB hoch, aber nur im ersten Fall liegt eine Barriere vor.

In Abbildung 7 folgt der Fahrer erst der Route und fährt die gleiche Strecke anschließend wieder zurück. Auch dieses Verhalten kann wie in vorherigen Abschnitt mehrere Gründe haben. Im Rahmen dieses Barriereerkennungssystems wird aber angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit der Existenz einer Barriere in dieser Situation viel höher ist. Ein Fahrer wird mit geringer Wahrscheinlichkeit mitten in einer Fahrt ohne triftigen Grund einen langen Weg zurückfahren, um in einer Parallelstraße abzubiegen. Die Plausibilität dieser Annahmen wird durch die Beobachtung der zukünftig gesammelten Daten untersucht.

Aufgrund der obigen Annahmen wird der Barriere-Counter in der Situation von Abbildung 7 um 50 % mehr erhöht, als der von Abbildung 6. Diese 50%-Strategie wurde als Initialwert für das System gewählt und soll bei Bedarf optimiert werden. Das System kennt noch weitere Situationen, auf die jedoch im Rahmen dieses Papers aus Platzmangel nicht eingegangen wird. Zusammenfassend ist zu sagen, dass zurzeit die Stärke der Gewichtung mit dem Abweichungswinkel korreliert.

6 Evaluation

Die Funktionsweise des Barriereenerkenners wird anhand einer vordefinierten Teststrecke überprüft. In den nächsten Abschnitt folgt die Definition dieser Strecke inklusiv der Barrieren. Abschließend wird ausgewertet, welche der vordefinierten Barrieren vom System erkannt werden.

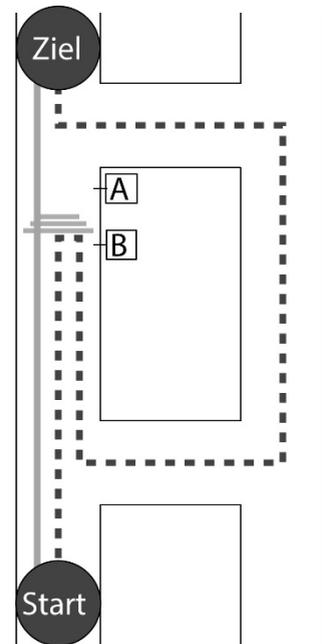


Abb. 7:
Spät erkannte Stufen

6.1 Testaufbau

Für den Testaufbau werden Barrieren vordefiniert. Hiermit erfolgt eine Abdeckung der oben genannten Szenarien auf einer für das Testpersonal zumutbaren Strecke von 1,5 km (Abb. 8).

Als erstes soll die Testperson vom Navigationssystem geradeaus fahren (Abb. 9), jedoch wird diese von Barriere 1 gehindert und muss links abbiegen (Abb. 10). Damit soll überprüft werden ob die SAE die Barriere korrekt erkennt.

Nach dem Linksabbiegen erfolgt eine Neuberechnung der Route (Abb. 9 gestrichelt). Unterwegs versperrt eine Mülltonne den Gehweg (Barriere 2), diese wird manuell gemeldet und der Fahrer muss ca. 20 m zurück um auf die Straße zu gelangen, damit die Route weiterverfolgt werden kann. Aufgrund der niedrigen Routenabweichung darf von der SAE keine Barriere erkannt werden.

Verfolgt die Testperson die Route weiter, wird sie von einer Kolonne parkender Fahrräder (Barriere 3) daran gehindert auf dem Gehweg zu fahren. Die Testperson meldet eine individuell beschriebene Barriere, weil kein Fahrrad in den vordefinierten Barrieren vorhanden ist. Allerdings kann die Testperson die Fahrt direkt durch einen Wechsel auf die Fahrbahn fortsetzen. Der Barrierenerkennung muss dem Administrator den Eingang einer individuell beschriebenen Barriere melden. Nach dem parkenden Fahrrädern stellt die Testperson fest, dass eine unüberwindbare Barriere die Route blockiert. Beim Zurückfahren (Abb. 10) muss das SAE erkennen, dass die Testperson zurückfährt und die Barriere markieren. Daraufhin berechnet das Navigationssystem eine neue Route (Abb. 9 gepunktet), mit der die Testperson ans Ziel gelangt.

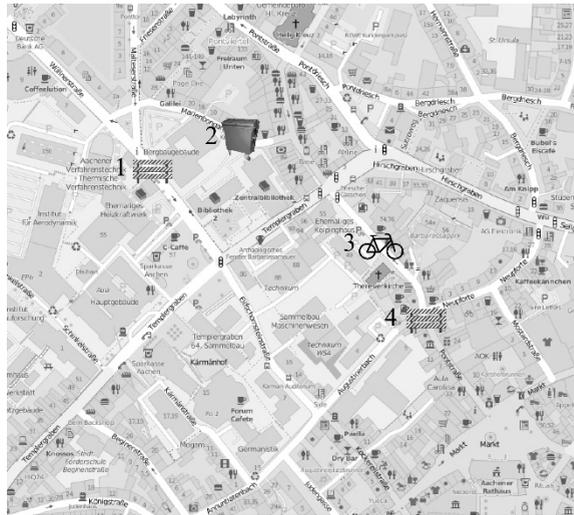


Abb. 8: Vordefinierte Barrieren auf der Teststrecke

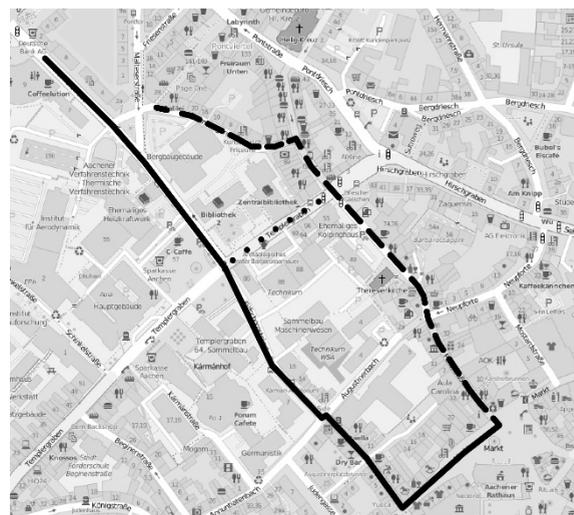


Abb. 9: Vorgeschlagene Routen

7 Fazit

In diesem Paper wird ein Konzept vorgestellt, bei dem mithilfe von Crowdsourcing Barrieren erkannt werden. Dabei wird sowohl VGI als auch CGI verwendet, um an die Barrieren-Informationen zu gelangen. Die Evaluation zeigt, dass alle gewünschten Ereignisse eingetroffen sind, sodass mit diesem Konzept in die Zukunft viele unbekannte Barrieren richtig erkannt werden.

Zu bedenken ist, dass diese Testergebnisse auf vordefinierten Straßenabschnitten basieren. Eine langfristige Verhaltensbeobachtung der Crowdsourcing-Daten wird in der Zukunft angestrebt, sodass weitere Evaluationen bezüglich der Gewichtung und Vorgehensweisen des Barrieren-Counters stattfinden können. Des Weiteren besteht die Hoffnung, dass die Beobachtung des Fahrverhaltens einen Übergang von einer semi-automatischen zu einer voll-automatischen Erkennung ermöglicht. Wir bedanken uns für die Unterstützung von Center for European Research on Mobility (CERM).²

Literatur

- DA SILVA, A., DE OLIVEIRA AGUIAR, F., DA ESTRELA, R., PAPASTEFANOU, G. & BERGNER, B. (2011), Smart sensing as a planning support tool for barrier free planning.
- DZAFIC, D., FRANKE, D., BAUMEISTER, D. & KOWALEWSKI, S. (2013), Modifikation des A*-Algorithmus für energieeffizientes 3D-Routing. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2013. Wichmann, 414-423.
- DZAFIC, D., BAUMEISTER, D., FRANKE, D., KOWALEWSKI, S. (2014), Integration von Bodenbelagsinformationen zum energieeffizienten Routen von Elektrorollstühlen. In: Symposium für Angewandte Geoinformatik (AGIT), Salzburg, Österreich, 451-460.
- DZAFIC, D., SCHOONBROOD P., FRANKE D., KOWALEWSKI, S. (2016), eNav – A Suitable Navigation System for Disabled. Zukunft Lebensräume Kongress 2016 (ZL 2016).
- GOODCHILD, M. (2007), Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69 (4), 211-221.
- GOOGLE (2009), <http://googleblog.blogspot.ca/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html> (12.04.2016).
- HOWE, J. (2006), The Rise of Crowdsourcing. *Wired Magazine*, 14.
- KÜCÜK, Y. (2015), Untersuchung der Barrierefreiheit von Straßenräumen mittels Smartband-Technologie am Anwendungsbeispiel der Pontstraße in Aachen. Masterarbeit, Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, RWTH Aachen.
- TOPF, J. & RAMM, F. (2010), OpenStreetMap – Die freie Weltkarte nutzen und mitgestalten. Lehmanns.
- SUI, D., ELWOOD, S. & GOODCHILD, M. (2012), Crowdsourcing geographic knowledge: volunteered geographic information (VGI) in theory and practice. Springer Science & Business Media.
- WHEELMAP (2016), Official Website. <http://wheelmap.org> (01/2016).

² <http://www.cerm.rwth-aachen.de/>