

# Konzept eines mobilen OSM-Navigationssystems für Elektrofahrzeuge

Dominik FRANKE, Dženan DŽAFIĆ, Carsten WEISE und Stefan KOWALEWSKI

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.*

## Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren ist die Informationsmenge von frei verfügbaren Weltkarten wie OpenStreetMap enorm gewachsen. Davon profitieren wiederum andere freie Dienste und Applikationen, wie der freie Routenplaner OpenRouteService und das mobile Smartphone-Navigationssystem AndNav. Neben einer großen Infrastruktur-Abdeckung findet man mittlerweile auch vermehrt detaillierte Streckeninformationen, z. B. Bodenbelag und Steigung. Diese Arbeit beschreibt ein Konzept, wie man diese verfügbaren Streckeninformationen dazu nutzen kann, ein Navigationssystem für Elektrofahrzeuge (z. B. Elektrorollstühle) zu entwickeln. Dieses Konzept basiert auf der Tatsache, dass der kürzeste oder schnellste Weg, den ein Routenplaner berechnet, nicht immer der effizienteste im Bezug auf den Energieverbrauch eines Elektromotors ist. Es wird ein Algorithmus vorgestellt, der mithilfe der Streckeninformation „Steigung“ eine effizientere Route für ein Elektrofahrzeug berechnen kann. Als Fallstudie wird die Umsetzung des Algorithmus auf dem freien Routenplaner OpenRouteService, sowie die Erweiterung des auf dem OpenRouteService basierenden mobilen Open Source Navigationssystems AndNav beschrieben. Mit dem resultierenden erweiterten Navigationssystem kann ein Elektrofahrzeugführer leicht mit seinem Android-Mobiltelefon über den OpenRouteService und damit über die OpenStreetMap-Daten eine energieeffiziente Route für sein Elektrofahrzeug in Erfahrung bringen.

## 1 Einleitung

Bei der Planung einer Route mit einem Elektrofahrzeug (z. B. Elektrorollstuhl) spielen unterschiedliche Faktoren eine wichtige Rolle. Zu diesen gehören zum Beispiel der Akkustand bei Beginn der Route, die Streckensteigung des Routenverlaufs und mögliche Ladestationen für das Elektrofahrzeug. Zurzeit gibt es sehr wenige Systeme, die einen der obigen Faktoren in ihre Routenplanung einbeziehen. Dabei ist ein solches System bei der heutzutage frei verfügbaren Informationsmenge gut denkbar. Die freie Weltkarte OSM (RAMM & TOPF 2008) bietet sowohl die Möglichkeit Stromtankstellen einzutragen, als auch Streckenabschnitte mit Steigungsinformationen zu versehen. So sind auf OSM bereits Steigungsinformationen von vielen Teilen Deutschlands verfügbar.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Möglichkeit vor, die frei verfügbaren Steigungsinformationen aus den OSM-Daten zu nutzen, um eine Routenplanung unter Einbeziehung von Steigungsinformationen zu erlauben. Für die Routenplanung wird der auf OSM basierende

OpenRouteService (ORS) (OPENROUTE SERVICE) erweitert. Mithilfe eines erweiterten Routing-Algorithmus kann der ORS neben Routen für Fußgänger und Autofahrer auch die effizienteste Route bezüglich der Streckensteigung berechnen. In diesem Modus für Elektrofahrzeuge gibt der Service dem Benutzer somit nicht unbedingt die kürzeste oder schnellste Strecke zurück. Hierzu wird bei der Modifikation des ORS der Routing-Algorithmus entsprechend angepasst und das Verhalten von Elektrofahrzeugen modelliert. Dieser zusätzliche Service soll für den Benutzer sowohl über das Webinterface „openroute-service.org“ als auch über das „Application Programming Interface“ (API) von ORS für andere Anwendungen und Services verfügbar sein.

Um die erweiterte Funktionalität zu testen, wird als Fallstudie die mobile Open Source Android-Applikation (ANDROID) AndNav (ANDNAV) erweitert. AndNav verwendet wie das ORS-Webinterface das Kartenmaterial von OSM und die Routing-Informationen von ORS. Die Erweiterung auf dem mobilen Client sieht vor, dass der Benutzer, neben Navigationsprofilen wie Fußgänger oder PKW, auch Elektromotor auswählen kann. Im Fall eines Routenwunsches mit Elektromotor wird die Anfrage an das erweiterte ORS-API geschickt. Nach der Berechnung der Route erhält der mobile Client als Antwort auf seine Anfrage die energieeffizienteste Route. Diese soll dem Android-Benutzer von der mobilen Applikation sowohl präsentiert werden, als auch eine Abschätzung des voraussichtlich benötigten Energieverbrauchs ermöglichen. Anhand dessen kann der Benutzer Überlegungen bezüglich der Akkukapazität anstellen, wie zum Beispiel welchen Akkustand er zu Beginn der Route mindestens haben muss, oder ob er eine Ladestation auf dem Weg aufsuchen muss.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert: Das zweite Kapitel stellt eine verwandte Arbeit aus dem Bereich der Routenplanung unter Einbeziehung von Steigungsinformationen oder Energieverbrauch vor. Das dritte Kapitel gibt einen Überblick über Grundlagen wie OSM, ORS und AndNav. Das vierte Kapitel erläutert einerseits die Erweiterung des ORS-Algorithmus und andererseits die Fallstudie mit der mobilen Android-Applikation AndNav. Das fünfte Kapitel schließt diese Arbeit mit einem Ausblick und möglichen Erweiterungen des hier vorgestellten Systems ab.

## 2 Themenbezogene Arbeit

Als ein entfernt verwandtes Projekt kann Rollstuhlrouting<sup>1</sup> (MÜLLER, NEIS & ZIPF 2010) betrachtet werden. Es bietet die Möglichkeit eine Routenplanung durchzuführen, bei der man zum Beispiel die maximale Steigung der Route auf einen bestimmten Wert beschränkt oder die maximale Bordsteinhöhe angibt. Die primären Adressaten sind daher Personen, die auf die Benutzung von Rollstühlen angewiesen sind. Die Routenplanung wird, wie bei dem hier vorgestellten Projekt, von dem Routenplaner OpenRouteService übernommen und basiert ebenfalls auf dem OpenStreetMap-Kartenmaterial. Falls eine Route existiert, welche zum Beispiel die gewünschte maximale Steigung nicht überschreitet, so ist dies die gesuchte Route. Man hat jedoch nicht die Möglichkeit eine Route von A nach B anzufordern, die unter Betrachtung Ihrer Streckensteigungen möglichst wenig Energie verbraucht. Insofern löst dieses verwandte Projekt das in der vorliegenden Arbeit adressierte Problem nicht.

---

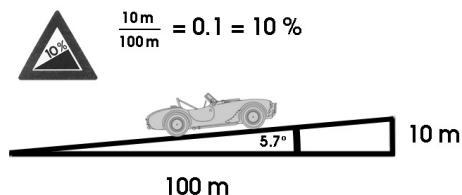
<sup>1</sup> <http://www.rollstuhlrouting.de>

### 3 Grundlagen

In den folgenden drei Abschnitten werden alle Grundlagen, die für das Projekt relevant sind, erläutert sowie deren Zusammenhänge veranschaulicht. Zudem wird eine Übersicht darüber gegeben, wie die unterschiedlichen Systeme zusammenspielen.

#### 3.1 OpenStreetMap

Das Projekt OpenStreetMap (OSM) wurde 2004 mit der Zielsetzung eine frei verfügbare Weltkarte zur Verfügung zu stellen gestartet (RAMM & TOPF 2008). Der Unterschied zu anderen Kartendatenbanken besteht darin, dass bei dem Projekt jeder angemeldete Benutzer Karteninformationen in die Karte einpflegen kann. Somit wächst das frei verfügbare Kartenmaterial beständig und bietet vielerorts mehr Informationen als kommerzielle Kartendienste wie von Google, Yahoo oder Microsoft. Die Daten können dabei zum Beispiel mit einem GPS-fähigen Mobiltelefon gemessen und mithilfe einer Applikation, sogenannter „Tracker“, gespeichert werden. Sollte ein Benutzer inkorrekte oder abweichende Daten hochladen, so werden die anderen Community-Mitglieder darüber in Kenntnis gesetzt und eine entsprechende Diskussion wird angestoßen. Auf diese Weise wird eine hohe Qualität des Kartenmaterials gewährleistet (ZIELSTRA 2009).



**Abb. 1:**  
Steigung in Prozent

Wie bei den meisten großen Open Source Projekten, gibt es auch bei OSM-Konventionen zum Einpflegen eigener Daten. Um beispielsweise eine Tankstelle, Straßenbeschaffenheit oder andere Eigenschaften von Straßenabschnitten hinzuzufügen, werden im OSM-Wiki bestimmte Tags zur Verfügung gestellt (OPENSTREETMAP). Besonders wichtig für das hier vorgestellte Projekt ist der Tag „incline“, welcher die Streckensteigung in Prozent angibt. Abbildung 1 zeigt wie die Steigung prozentual berechnet wird.

#### 3.2 OpenRouteService

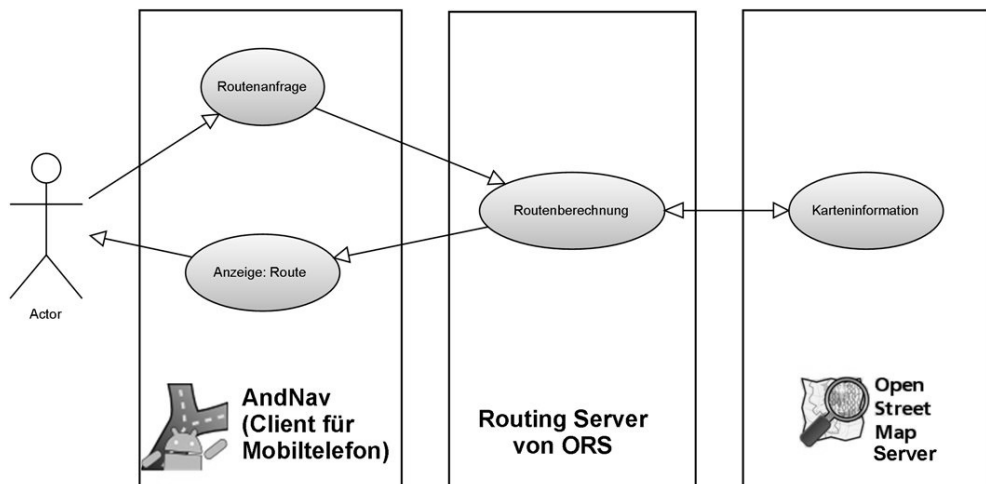
Der freie Routenplaner OpenRouteService (ORS) ist ein Projekt, das seine Ursprünge an der Universität Bonn hat. Gemeinsam mit der Universität Heidelberg wird der freie Dienst OpenRouteService zur Verfügung gestellt, welcher Routenplanung unter der Verwendung von OSM-Daten ermöglicht (NEIS & ZIPF 2008). Es handelt sich hierbei um eine der ersten Web-basierten Anwendungen auf Basis von OSM. Dieser Service ist sowohl für den Endbenutzer über „openrouteservice.org“ als auch für andere Anwendungen und Clients über eine entsprechende API verfügbar. Der Benutzer stellt eine Routenanfrage mit einem definierten Startpunkt, sowie einem definierten Endpunkt und erhält durch Auswahl eines Profils (Fußgänger, PKW oder Fahrrad) und einiger optionaler Einstellungen (schnellster oder kürzester Weg, ...) eine entsprechende Route.



**Abb. 2:**  
OpenRouteService Webinterface

### 3.3 AndNav

AndNav ist eine frei verfügbare Open Source Applikation für die Open Source Mobiltelefon-Plattform Android (ANDROID). Diese mobile Anwendung bietet die Möglichkeit eine Route zu planen, sowie zu navigieren. Hierzu richtet die Applikation die Routenplanungs-Anfrage an den ORS, wodurch sie ebenfalls auf dem OSM-Kartenmaterial basiert. Hierzu wird auf dem Mobiltelefon eine aktive Internetverbindung benötigt. Als zusätzliche Funktionalität kann AndNav-Kartenmaterial offline zur Verfügung stellen, wobei in diesem Modus aufgrund der mangelnden Internetverbindung keine Routenplanung oder Navigation möglich ist.



**Abb. 3:** Routenanfrage mit AndNav (schematische Darstellung)

Abbildung 3 stellt den Datenfluss bei einer Routenanfragen über AndNav vereinfacht schematisch dar. Nach der Eingabe einer Routenanfrage über AndNav durch den Benutzer schickt AndNav eine ORS-API konforme Anfrage an den ORS-Server. Zu den Informationen einer solchen Anfrage gehören der Zielort, der vom Android-Mobiltelefon über GPS

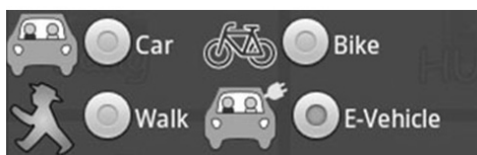
geortete Startpunkt sowie einige weitere Angaben, wie PKW oder Fahrrad und kürzester oder schnellster Weg. Der ORS-Server berechnet auf Basis des OSM-Kartematerials, welches auf den OSM-Servern zur Verfügung steht, die entsprechende Route. Dabei wird das Kartenmaterial i. d. R. nicht in Echtzeit aufbereitet, sondern oftmals bereits aufbereitet von entsprechenden Servern oder aus dem Speicher der Anwendung geladen. Anschließend wird die resultierende Route an die AndNav-Applikation auf dem Mobiltelefon geschickt. AndNav visualisiert die Route und startet gegebenenfalls die Navigation.

## 4 Mobiles Navigationssystem für Elektrofahrzeuge

Basierend auf den vorgestellten Systemen wurde ein mobiles Navigationssystem für Elektrofahrzeuge entwickelt. Im Folgenden werden die Konzepte und die Umsetzung vorgestellt. Um ein solches System umzusetzen, ist es in vielerlei Hinsicht vorteilhaft, auf bereits funktionierenden, verbreiteten und bewährten Systemen aufzubauen. Aus diesem Grund wird das mobile Navigationssystem in die in Abbildung 4 vorgestellten freien Open Source Applikationen integriert. Hierzu wird AndNav erweitert, der ORS modifiziert und Gebrauch von OSM-Attributen wie „incline“ gemacht.

### 4.1 Anpassung des mobilen Navigationsprogramms AndNav

Um in AndNav eine Route für Elektrofahrzeuge zu berechnen, muss neben den Auswahlmöglichkeiten PKW, Fahrrad und Fußgänger auch die Option für Elektrofahrzeuge verfügbar sein. Falls diese ausgewählt wird, öffnet sich ein neues Eingabefenster, in welchem der Benutzer einmalig dazu aufgefordert wird, charakteristische Informationen über den Elektromotor seines Fahrzeuges anzugeben. Es handelt sich dabei um folgende Parameter: Maximale Akkukapazität in Ah, Reichweite unter Normalbedingungen<sup>2</sup> in km und maximal durch den Elektromotor bezwingbare Steigung in %. Bei dem verwendeten Testfahrzeug sind das beispielsweise 150 Ah, 30 km und 12 %.



**Abb. 4:**  
AndNav Elektromotor-Option (r. u.)

Die zweite Modifikation der AndNav-Applikation betrifft die Darstellung der resultierenden Routenplanung, denn wie bereits oben geschildert, soll AndNav im Fall einer Routenplanung für einen Elektromotor, neben der effizientesten Route, den voraussichtlichen Energieverbrauch nach Zurücklegen der Route anzeigen. Diese Information erhält AndNav von dem modifizierten ORS. Zusätzlich zur effizientesten Route erhält AndNav bei einer E-Motor-Anfrage die kürzeste Route mit der Option „PKW“. Der Hintergrund ist, dass die effizienteste Route deutlich länger sein kann, als die kürzeste (z. B. in Gebieten mit vielen wechselnden Steigungen). AndNav soll dem Endbenutzer die Routendaten beider Alterna-

<sup>2</sup> Bei einer Steigung von 0 %.

tiven präsentieren und ihn zwischen der Effizientesten und der Kürzesten auswählen lassen. Für die kürzeste Route werden ebenfalls der Energieaufwand und die Relevanz berechnet. Anschließend kann der Benutzer zwischen Beiden wählen.

## 4.2 Erweiterung des OpenRouteService

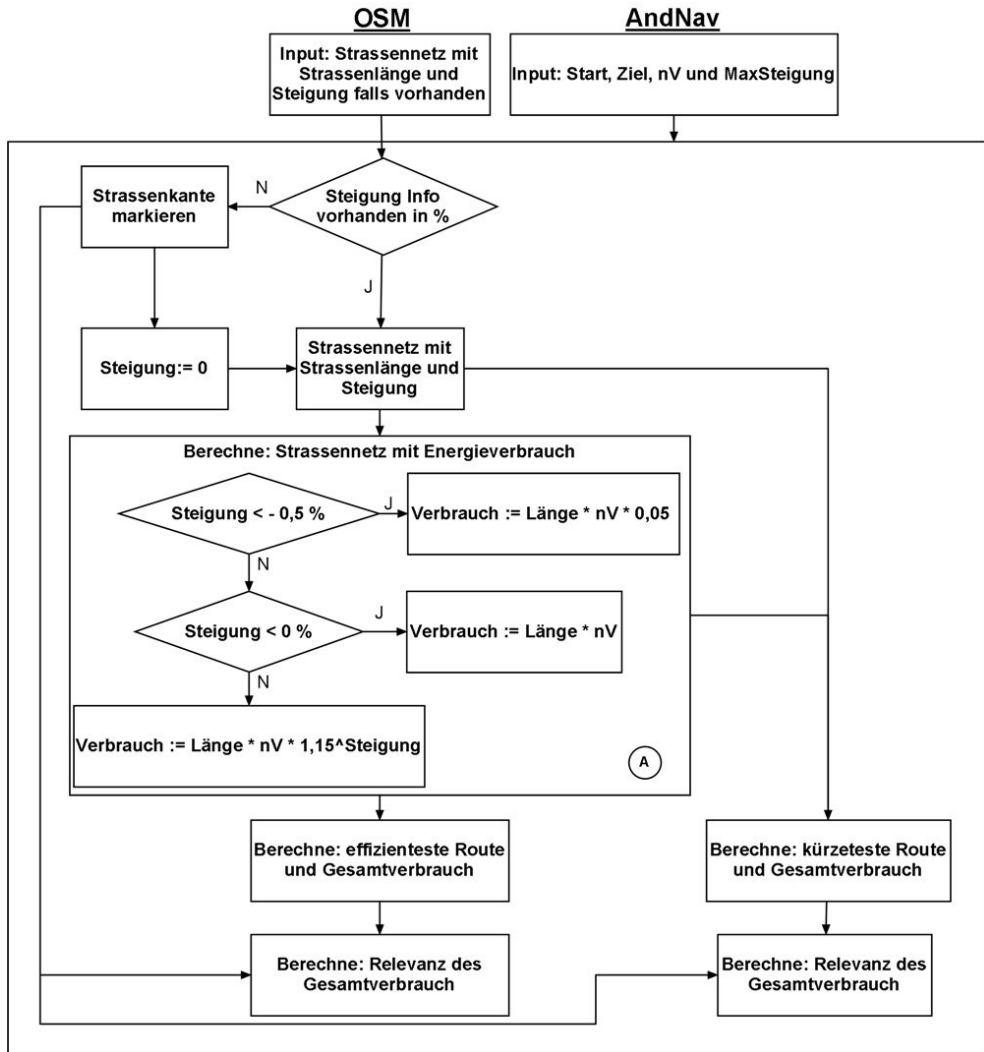
Neben AndNav, welches die Anfrage an den Server stellt, muss der OpenRouteService, der die Anfrage beantwortet, modifiziert werden. Hierzu haben wir einen Algorithmus entwickelt, der unter Verwendung der Steigung den effizientesten Weg bezüglich des Energieverbrauchs berechnet. Abbildung 5 stellt den Algorithmus schematisch in einem Flow Chart dar. Der Algorithmus wird in den ORS-Server so integriert, dass er bei einer Anfrage für eine Route mit Elektromotor durchlaufen wird. Als Eingabewerte erhält der Algorithmus die folgenden Parameter aus der AndNav-Anfrage:

- „Start“: Ausgangsposition der Routenplanung
- „Ziel“: Ziel der Route
- „nV“: Quotient aus maximaler Akkukapazität und Reichweite des Elektrofahrzeugs unter Normalbedingungen
- „MaxSteigung“: Maximal befahrbare Steigung des Elektrofahrzeugs

Zusätzlich bedient sich der Algorithmus des Kartenmaterials von OSM. Im ersten Schritt überprüft der Algorithmus, ob für das zu betrachtende Kartenmaterial alle Steigungsangaben in Prozent vorhanden sind (Incline-Eintrag). Falls das nicht der Fall ist, werden fehlende oder falsche Einträge (z. B. in Grad oder informale Einträge wie „up“ und „down“ für die Berechnung durch eine Steigung von 0% ersetzt. Die Streckenabschnitte ohne Steigungsinformationen werden markiert und gezählt, damit der Algorithmus dem Client auch einen Wert für die „Quality of Service“ zurückgeben kann. Dieser Wert beschreibt, für welchen Anteil der Streckenlänge Steigungsinformationen in % vorhanden sind. Je höher dieser Wert ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass der berechnete Energieverbrauch korrekt ist.

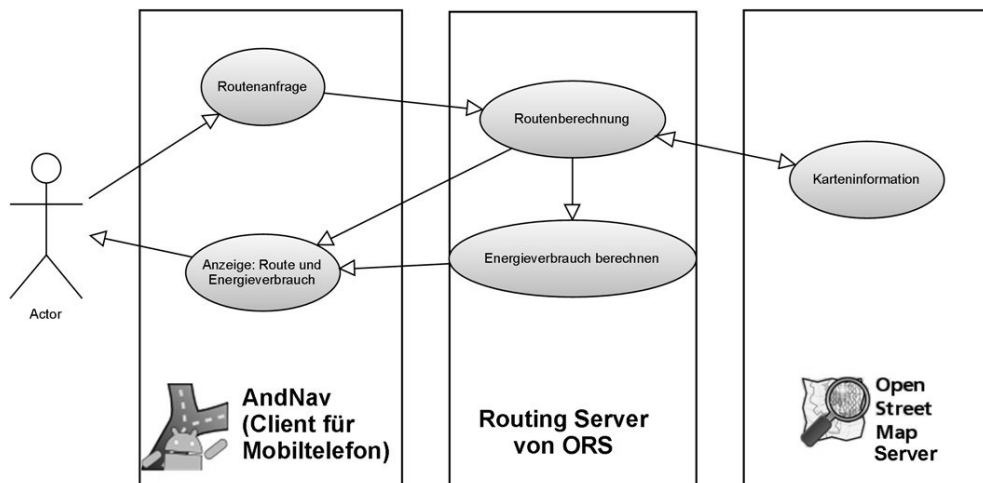
Anschließend wird die Verbrauchsfunktion berechnet (Box A in Abb. 5). Da uns keine statistisch relevante Datenmenge über den Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen im Bezug auf die Streckensteigung zur Verfügung steht, basiert die hier vorgestellte Verbrauchsfunktion zurzeit auf Messwerten aus einem Praktikum mit einem Elektrorollstuhl. Der Algorithmus, sowie die Umsetzung auf dem ORS-Server sind daher so eingerichtet, dass sie leicht verändert und durch entsprechende Parameter angepasst werden können.

In der Box wird geprüft, ob der Streckenabschnitt ein Gefälle, eine waagerechte Strecke oder eine Steigung ist. Aus den verwendeten Messwerten geht hervor, dass der Energieverbrauch bei Steigungen exponentiell zum prozentuellen Anstieg verläuft und bei Gefällen unter 0,5 % ein minimaler Energieverbrauch für die Bremsenergie, mit einem Faktor von 0.05 bei dem vermessenen Elektromotor eines Elektrorollstuhls, entsteht. Bei der waagerechten Strecke wurde eine Toleranz von 0,5 % Gefälle eingebaut, da bei einem derart geringen Gefälle die benötigte Energie zum Bremsen keine relevante Rolle spielt, sodass in unserem abstrakten Modell ein Gefälle von 0,5 % als 0 % betrachtet wird.



**Abb. 5:** Schematische Darstellung des Algorithmus

Nach dem Erstellen des virtuellen Straßennetzes mit Energieverbrauchsinformationen wird die effizienteste Route bezüglich des Energieverbrauchs mithilfe des A\*-Algorithmus berechnet (HART, NILSSON & RAPHAEL 1968). Es werden folgende Werte errechnet: die Route, der Gesamtverbrauch in Ah und die Relevanz. Letztere wird durch den Quotienten aus der Länge von Straßenabschnitten mit Steigungsinformationen und der Gesamtlänge der Route berechnet. Zum Vergleich wird der Algorithmus für den kürzesten Weg aufgerufen und auch dessen Gesamtverbrauch, sowie die Relevanz der Verbrauchsinformationen errechnet. Somit hat der Endbenutzer, wie oben beschrieben, die Auswahlmöglichkeit zwischen dem effizientesten und dem kürzesten Weg.



**Abb. 6:** Modifizierte Routenanfrage mit AndNav

Um einen Gesamtüberblick zu verschaffen, stellt Abbildung 6 eine modifizierte Routenanfrage mit AndNav schematisch dar. Nach dem Verfassen einer Routenanfrage mit aktivierter Elektromotor-Option wird diese von AndNav an den ORS gesendet. Das Szenario läuft ähnlich ab wie in Abbildung 3. Es ergeben sich allerdings einige Änderungen im Vergleich zur genannten Abbildung. Die Anfrage muss zusätzlich zum Start- und Endpunkt den Normalverbrauch pro Kilometer, maximale Steigung sowie optional weitere Parameter, wie eine Elektromotor-spezifische Verbrauchsfunktion, hinzugefügt werden. Mit dieser Anfrage wird der dazugehörige Algorithmus in ORS angesprochen, welcher die Route berechnet.

## 5 Fazit

In dieser Ausarbeitung haben wir ein Konzept vorgestellt, mit dessen Hilfe auf Basis der OSM-Daten ein Navigationssystem für Elektrofahrzeuge realisiert werden kann. Neben dem algorithmischen Hintergrund haben wir die Umsetzung auf dem ORS-Server, sowie die Adaption eines mobilen Clients vorgestellt.

Mit dieser Zusatzfunktionalität auf dem Server und dem freien Open Source Client AndNav sind eine ganze Reihe Erweiterungen denkbar. Einige davon sollen im Folgenden skizziert werden. Zum Beispiel ist zu erwarten, dass die Anzahl Stromtankstellen in Deutschland in den kommenden Jahren zunimmt. Diese Tankstellen könnten in die Planung einer Route mit einem Elektrofahrzeug einbezogen werden und so eine Routenplanung mit einer hohen Reichweite erlauben. Eine weitere interessante Erweiterung betrifft die Verwendung von Mobiltelefonen wie dem für dieses Projekt verwendeten Android-Smartphone.

Solche Geräte verfügen heutzutage oftmals über einen eingebauten GPS-Sensor und eine aktive Internetverbindung. Es ist denkbar, dass während einer Navigation mit AndNav der Endbenutzer die Möglichkeit hat, die GPS-Daten seiner Strecke automatisch in die OSM-Datenbank hochzuladen. Dem müsste ein entsprechender Filterprozess vorausgehen, der die



Gewichtung und Relevanz der Daten bewertet. Die Anzahl der Steigungsinformationen in OSM würde durch die Automatisierung jedoch ohne merkliche Beeinflussung des Endbenutzers steigen. Die automatisch hochgeladenen Daten müssten jedoch auf Ihre Qualität evaluiert werden. Eine weitere geplante Erweiterung ergibt sich bei der Fragestellung: „Wie weit kann ich jetzt noch mit meinem Elektrofahrzeug fahren, sodass ich es noch bis zu einer Stromtankstelle schaffe?“ Diese Frage könnte man mit einer Erreichbarkeitsanalyse (NEIS & ZIPF 2007) auf der Basis unseres Konzeptes und des vorgestellten Algorithmus leicht beantworten. Hierzu berechnet man alle Routen, die unter Berücksichtigung der vorhandenen Steigungsinformationen und der Elektromotor-Informationen (Akkustand, Akkukapazität, ...) möglich sind.

Es gibt jedoch auch Herausforderungen, aufgrund derer der praktische Einsatz des vorgestellten Konzeptes aktuell noch fraglich ist. Zum Beispiel ist eines der größten Probleme von Elektrofahrzeugen die korrekte und zuverlässige Anzeige des Akkustandes. Der Akkustand nimmt in der Regel nicht linear ab. Stattdessen können komplexe mathematische Modelle, unter Einbeziehung vieler Faktoren wie Temperatur und Anzahl, Auf- und Entladungen das Verhalten eines modernen Akkus beschreiben. Diese Tatsache wird bei der hier vorgestellten Version des Konzeptes vernachlässigt, indem angenommen wird, dass die Akkukapazität linear abnimmt.

Eine weitere Schwierigkeit bei dem hier vorgestellten Thema ist die Qualität der verfügbaren Steigungsinformationen in OSM. Sollte die Qualität der verfügbaren Steigungsdaten nicht ausreichend sein oder auf einer gesuchten Route nur wenige Steigungsdaten verfügbar sein, so ist eine zuverlässige Aussage über eine effiziente Route bezüglich der Steigung nicht möglich. Hierzu werden dem Benutzer Informationen über die Relevanz (siehe Kap. 4.2) der berechneten Strecke zur Verfügung gestellt.

Diese Arbeit wurde durch das UMIC Research Centre, RWTH Aachen Universität, unterstützt.

## Literatur

- ANDNAV: Offizielle Webseite. <http://www.andnav.org/> (28. 01.2011).
- ANDROID: Offizielle Webseite. <http://www.android.com/> (28.01.2011).
- HART, P. E., NILSSON, N. J. & RAPHAEL, B. (1968): A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. IEEE (Hrsg.): Transactions on Systems Science and Cybernetics. Menlo Park, California, USA.
- MÜLLER, A., NEIS P. & ZIPF, A. (2010): Ein Routenplaner für Rollstuhlfahrer auf der Basis von OpenStreetMap-Daten. Konzeption, Realisierung und Perspektiven. In: STROBL, J. et al. (Hrsg): Angewandte Geoinformatik 2010. Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, S. 258-261.
- NEIS, P. & ZIPF, A. (2008): Zur Kopplung von OpenSource, OpenLS und OpenStreetMaps in OpenRouteService.org. In: STROBL, J. et al. (Hrsg): Angewandte Geoinformatik 2008. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NEIS, P., ZIPF, A., HESPER, R. & KEHL, A. (2007): Webbasierte Erreichbarkeitsanalyse – Vorschläge zur Definition eines Accessibility Analysis Service (AAS) auf Basis des OpenLS Route Service. REAL CORP 2007 (Hrsg.), Wien.
- OPENROUTESERVICE: Offizielle Webseite. <http://openrouteservice.org/> (28.01.2011).

---

OPENSTREETMAP: Offizielle Webseite.

<http://wiki.OpenStreetMap.org/wiki/Category:Keys> (28.01.2011).

RAMM F. & TOPF J. (2008): OpenStreetMap – Die freie Weltkarte nutzen und mitgestalten. Lehmanns Media, Berlin.

ZIELSTRA, D. (2009): Datenqualität von Volunteered Geographic Information. Vergleich von proprietären und frei verfügbaren Geodaten. Diploma Thesis. Departure of Geography. Cartography Research Group, University Bonn.