Das Elektronische Wegetagebuch – Chancen und Herausforderungen einer Automatisierten Wegeerfassung Intermodaler Wege

3

Korinna Stephan, Katja Köhler, Matthias Heinrichs, Martin Berger, Mario Platzer und Emanuel Selz

Zusammenfassung

Dieses Kapitel widmet sich Praxisberichten und Methodenkonzepten. Dabei erfolgt eine Gegenüberstellung von Wegetagebüchern und Smartphone-Trackern. Ausführlich werden hier die derzeit bestehenden Ansätze diskutiert, Wegetracking für die Mobilitätsforschung zu nutzen. Insbesondere wird eingegangen auf die Vor- und Nachteile von aktivem, d. h. mit einer stärkeren Nutzerbeteiligung, versus passivem Tracking sowie von ergänzendem versus substituierendem Einsatz von GPS-Trackern zum Wegetagebuch. Neben technischen Optimierungspotenzialen (z. B. in Bezug auf die Akkubelas-

K. Stephan (✉)
InnoZ GmbH, Torgauer Str. 12–15, 20829 Berlin, Deutschland
E-Mail: Korinna.stephan@innoz.de

K. Köhler · M. Heinrichs
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Rutherfordstraße 2,
12489 Berlin, Deutschland
E-Mail: Katja.Koehler@dlr.de

M. Heinrichs
E-Mail: Matthias.Heinrichs@dlr.de

M. Berger · M. Platzer · E. Selz
verkehrplus, Prognose Planung und Strategieberatung GmbH,
Eduard-Rosenthal-Str. 30, 99423 Weimar, Deutschland
E-Mail: martin.berger@verkehrplus.de

M. Platzer
E-Mail: mario.platzer@verkehrplus.de

E. Selz
E-Mail: emanuel.selz@verkehrplus.de

M. Schelewsky et al. (Hrsg.), *Smartphones unterstützen die Mobilitätsforschung*,
DOI 10.1007/978-3-658-01848-1_3, © Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

tung) wird dabei die enorme Bedeutung sowohl der Datenschutz-Aktivitäten (Anonymisierung der Daten, Datenhoheit beim Nutzer etc.) als auch der intensiven Interaktion mit dem Nutzer (Erinnerungs-SMS, Energiespartipps, Validierung etc.) deutlich.

3.1 Einleitung

Korinna Stephan

Wegetagebücher sind das klassische Instrument der Mobilitätsforschung. Hierbei ist die Forschung im Wesentlichen auf das Erinnerungsvermögen der Probanden angewiesen und natürlich auf deren Fähigkeit, Entfernungen zu schätzen. Es liegt daher die Vermutung auf der Hand, dass herkömmliche Wegetagebücher hochgradig fehleranfällig sind. Dies gilt ganz besonders für die sogenannten intermodalen Wege, bei denen mehrere Verkehrsmittel hintereinander eingesetzt werden und die aufgrund ihrer möglicherweise besonders geringen Länge und Dauer der einzelnen Teilstücke besonders fehlerbehaftet sein können. Dieses Kapitel beleuchtet daher die Möglichkeiten, die die modernen Ortungstechnologien in Verbindung mit Smartphones der Verkehrsforschung bieten könnten. Hierzu wurden eigene Tools entwickelt, mit denen über Ortungstechnologien Wege automatisiert erfasst werden können.

Das von Heinrichs und Köhler (Abschn. 3.1) erprobte Wegeerfassungstool nutzt das Smartphone für die genauere Bestimmung von intermodalen Wegeketten. Die Daten werden dabei zunächst auf dem Mobiltelefon gespeichert und später als Paket via Internet übermittelt. Den Nutzern wird auch die Möglichkeit gegeben, die Wege entweder direkt am Smartphone oder aber im Nachhinein über eine Kartenansicht am heimischen PC zu validieren und mit zusätzlichen Informationen anzureichern, da z. B. Wegezwecke aus dem Tracking in der Regel nicht abzuleiten sind. Die Möglichkeit der Bearbeitung der Wege erhöhte zugleich auch die Nutzerakzeptanz. Insgesamt wurden im Feldtest selbst Wege genau erfasst, bei denen das Verkehrsmittel mehrmals gewechselt wurde. Heinrichs und Köhler weisen darauf hin, dass es wichtig ist, mehrere Messpositionen auszuwerten, um Stopps auch wirklich als Wegende zu erfassen und kleine Bewegungen (z. B. Hin- und Herlaufen an einem Ort) nicht als Wege zu kennzeichnen. Sie haben außerdem gute Erfahrungen mit der Moduserkennung mittels Beschleunigungssensoren gemacht. Dennoch wurden einige Wege falsch kategorisiert z. B. als Wegende bei Wartezeiten an Bahnhöfen oder als neue Wege bei Aufenthalten auf Spielplätzen. Wege unter 100 m, Strom- oder Sensorausfall und die Durchquerung von Innenräumen werden jedoch auch vermutlich nach Ansicht der Autoren weiterhin dafür sorgen, dass eine automatische Wegeerkennung auch mittelfristig noch einer nachträglichen Validierung durch den Nutzer bedarf.

Berger, Selz und Platzer (Abschn. 3.2) stellen dabei die Tracking-App „SmartMo“ vor, die zum Einen zuverlässig intermodale Wegeketten erfassen und zum Anderen für alle Nutzergruppen leicht verständlich und bedienbar sein soll. Bei diesem Tool müssen die Nutzer das Tracking aktiv starten und beenden sowie zusätzlich den Wegezweck, das

Verkehrsmittel und ggf. Begleitpersonen angeben. Die Registrierungsdaten (haushaltsbezogenen Daten im Webprofil sowie Personendaten im Smartphoneprofil) wurden dabei jeweils über ein Mapmatching mit den aktuell aufgezeichneten Wegedaten abgeglichen. Im Anschluss konnten die Testnutzer die Wege validieren und das gesamte Tool bewerten. Was die automatische Erfassung der intermodalen Wegeketten angeht, konnte dabei eine sehr hohe Qualität bei zwei Dritteln der Wege erreicht werden, während jeder zehnte Routentrack jedoch z. B. wegen Abschattungsproblemen in Bahnen eine so unzureichende Qualität besaß, dass der Weg nicht berechnet werden konnte. Neben technischen Optimierungspotenzialen (z. B. in Bezug auf die Akkubelastung) ist aus der Befragung zur User Experience die enorme Bedeutung sowohl der Datenschutz-Aktivitäten (Anonymisierung der Daten, Datenhoheit beim Nutzer etc.) als auch der intensiven Interaktion mit dem Nutzer (Erinnerungs-SMS, Energiespartipps, Validierung etc.) deutlich geworden.

3.2 Erfassung Intermodaler Wegstrecken mit dem Smartphone

Katja Köhler und Matthias Heinrichs

Der städtische Verkehr weist einen hohen Anteil von Wegen auf, bei denen mehr als ein Verkehrsmittel verwendet wird, sogenannte intermodale Wegstrecken. Das Verständnis dieser komplexen Wege beeinflusst die Güte von Verkehrsnachfragemodellen. Die Analyse von Verkehrsverhalten basiert auf der Auswertung von Wegetagebüchern, die häufig durch schriftliche Protokolle, mit Hilfe von Computern oder durch Telefoninterviews erstellt werden. Intermodale Wegstrecken erhöhen den Protokollaufwand erheblich und sind durch subjektive Rundungen der Befragten nur eingeschränkt aussagekräftig.

Die Integration von Positionierungssensoren in Smartphones erlaubt es, mit diesen Geräten automatisch mehrere Ortsveränderungen pro Minute zu erfassen. Durch den eingebauten Speicher und die verfügbare Internetverbindung eignen sich diese Geräte zur unkomplizierten Generierung von Wegeprofilen. In dieser Arbeit wird gezeigt, wie durch Verwendung mehrerer Sensoren eines Smartphones automatische Wegetagebücher mit intermodalen Wegstrecken generiert werden können. Das Smartphone zeichnet dazu Daten aller verfügbaren Sensoren auf und übermittelt sie gesammelt via Internet an einen externen Server. Die so erfassten Daten werden automatisch gefiltert, in Wege und Aktivitäten separiert und die Verkehrsmodi durch ein regelbasiertes System klassifiziert. Die Regeln berücksichtigen mögliche intermodale Wege, Geschwindigkeitsprofile und Auswertungen von Beschleunigungsdaten. Die vorläufigen Modi werden unter Verwendung von Google Maps dargestellt und der Nutzer hat die Möglichkeit, die Ergebnisse am Webbrowser zu validieren und nicht erwünschte Wege zu entfernen. Nach der Validierung wird die Genauigkeit der Methodik qualitativ beurteilt.

Die Methode wird in einer Pilotstudie angewandt und die Ergebnisse werden ausgewertet. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass die Modi mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit korrekt erkannt werden. Dadurch ist es möglich, bei zukünftigen Studien nicht nur geore-

ferenzierte, sondern auch intermodale Wegstrecken zu erheben, wodurch neue Möglichkeiten bei der Verkehrsverhaltensanalyse entstehen.

3.2.1 Herausforderungen bei der Erfassung von Intermodalen Wegen

Der städtische Verkehr weist einen hohen Anteil von Wegen auf, bei denen mehr als ein Verkehrsmittel verwendet wird, sogenannte intermodale Wegstrecken. Dies hat in den letzten Jahren weiter zugenommen. Waren im Jahr 2002 rund 10 % aller Wege in Kernstädten intermodal, so hat sich dieser Anteil 2008 auf etwa 13 % erhöht. Die Datengrundlage bilden die anonymisierten Daten der Erhebung „Mobilität in Deutschland (MiD)“ 2002 und 2008 (MiD 2010). Intermodale Wege können von klassischen Erhebungsverfahren mit Wegeprotokollen nicht gut erfasst werden. Durch die starke Verbreitung von Smartphones und deren umfangreiche integrierte Sensorik liegt es nahe, diese Technologie für die Erfassung von Wegstrecken zu nutzen. In dieser Arbeit werden die Grenzen der klassischen Erhebungsmethoden aufgezeigt und daraus die Problemstellung abgeleitet. Danach wird eine neue Trackingtechnik in Form einer Smartphone-App vorgestellt, die Gebrauch von den vielen Sensoren eines Smartphones macht. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Nutzerverifikation der erhobenen Daten. Zuletzt werden die Ergebnisse diskutiert und Vorschläge für die Vergleichbarkeit mit vorherigen Studien gemacht.

3.2.2 Motivation

Bei derzeitigen Mobilitätserhebungen wie z. B. MiD oder dem „Deutschen Mobilitätspanel (MOP)“ werden pro Weg alle genutzten Verkehrsmittel erhoben, nicht jedoch der Zeitanteil und der Entfernungsanteil, die auf die verschiedenen Verkehrsmittel entfallen. Somit sind nur Länge und Dauer der Gesamtstrecke bekannt, welche komplett dem Hauptverkehrsmittel zugeordnet werden, d. h. dem Verkehrsmittel, mit dem aller Wahrscheinlichkeit nach die längste Strecke zurückgelegt wird.

Bei Auswertungen der Wegelänge bzw. -dauer ist zu beobachten, dass Häufungen bei 5-Kilometer- bzw. 5-Minuten-Intervallen auftreten, was auf subjektive Rundungen der Befragten zurückzuführen ist (vgl. Abb. 3.1). Generell ist es sehr schwer, die Länge der Strecke zu schätzen, was besonders für Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖV) gilt.

Möchte man mit der bisher angewandten Methode (Wegeblatt in Kombination mit einem Telefoninterview) auch die Teilstrecken genau erfassen, dann erfordert dies viel Disziplin beim Ausfüllen des Wegeblattes und führt zu einem längeren Wegeinterview. Es müssten sowohl die genauen Uhrzeiten für Verkehrsmittelwechsel als auch die Längen aller Teilstrecken angegeben werden.

In den gegenwärtigen Mobilitätserhebungen bleiben bislang folgende Aspekte des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens ungeklärt oder eingeschränkt analysierbar:

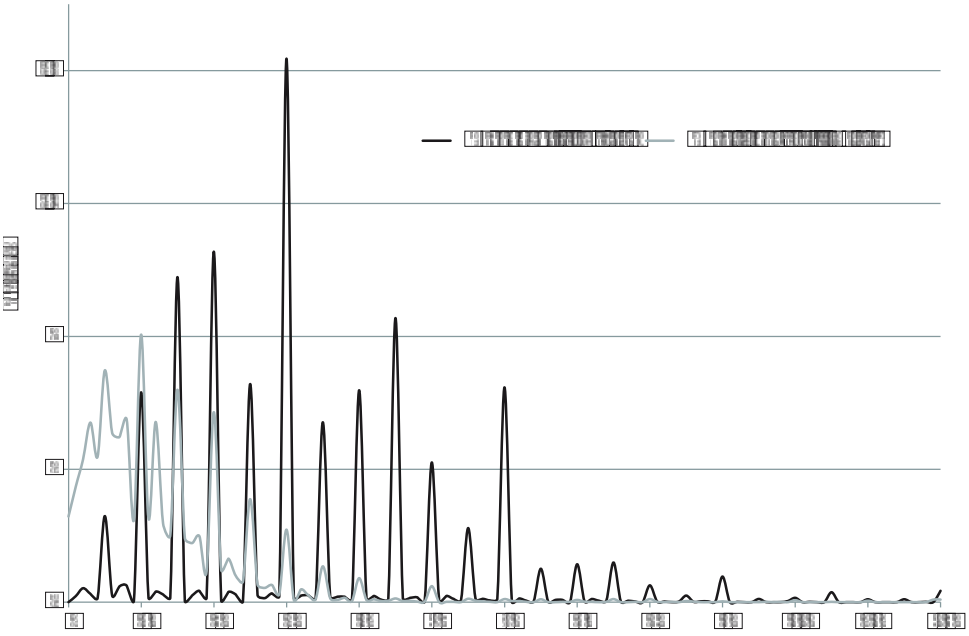

Abb. 3.1 Verteilung der Wegelänge und -dauer. (Quelle: BMVBS (Hrsg.): Daten der MiD 2008, eigene Darstellung)

- Der höchste Anteil intermodaler Wege entfällt auf die Kombination aus Fußweg mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Hier ist aktuell unklar, ob es sich bei den Fußwegen nur um kurze Zu- bzw. Abgänge von der Haltestelle handelt oder ob tatsächlich eine längere Strecke zu Fuß zurückgelegt wurde.
- Einen ebenfalls großen Anteil bei den intermodalen Wegen bildet die Kombination aus Auto- und Fußweg. Auch hier ist es für die Berechnung der Fahrleistung, für die Verkehrsnachfragemodellierung oder für die Stadtplanung nützlich zu wissen, wie lang der Fußweg ist. Ein längerer Fußweg deutet dann evtl. darauf hin, dass z. B. aufgrund von Parkraumbewirtschaftung oder einer Umweltzone ein entfernterer Parkplatz gewählt wurde.
- Die klassischen Park&Ride-Wege werden aktuell nicht exakt erfasst. Fährt man mit dem Auto zur Bahn, so wird die Gesamtstrecke dem ÖV zugeschrieben. Der Weg mit dem Auto wird bei einer Ermittlung der Auto-Fahrleistung nicht berücksichtigt. Das genaue Verständnis intermodaler Wege würde zu einer Verbesserung der Ermittlung von Fahrleistungen beitragen. Somit könnten auch Emissionen genauer bestimmt werden.
- Bei der Kombination von Fahrrad und ÖV ist aktuell nicht bekannt, ob es sich um eine lange Fahrradtour mit einer kurzen Bahnfahrt handelt oder ob das Fahrrad nur als Zugang zur Bahn genutzt wurde. Eine genauere Analyse der intermodalen Wege kann

demnach auch zur besseren Erfassung des Radverkehrs dienen und auch generell die Güte von Verkehrsnachfragemodellen verbessern.

Die Idee ist nun, die Wegeerfassung zu vereinfachen und dafür moderne Technik zu nutzen. Smartphones sind mit mehreren Sensoren ausgestattet, die eine Positionierung inklusive Zeitstempel ermöglichen. Außerdem besitzen sie einen Beschleunigungssensor zur Bewegungserkennung und einen großen internen Speicher. Smartphones sind zumeist angeschaltet und werden fast immer mitgeführt, d. h. eine Untersuchungsperson muss kein weiteres Gerät mit sich führen wie z. B. GPS-Datenlogger. Über Smartphones lassen sich in der Regel Internetverbindungen herstellen, worüber der Datentransfer erfolgen kann. Weiterhin verfügen sie über einen großen Bildschirm für Nutzerinteraktionen.

Diese Eigenschaften ermöglichen es, Smartphones für eine automatisierte Wegeerfassung zu nutzen.

3.2.3 Erfassen von Intermodalen Wegstrecken mit Smartphones

Das hier vorgestellte System wurde im Rahmen der programmorientierten Forschung „Verkehr“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt und erprobt. Es arbeitet in einer interaktiven Smartphone/Server-Struktur. Das Tracking selbst erfolgt auf dem Smartphone. Die aufgezeichneten Positionen werden an einen Server geschickt, der die Daten verarbeitet und zur Verifikation an den Nutzer zurücksendet. Der Nutzer überprüft und korrigiert gegebenenfalls die Daten auf dem Smartphone oder einem Webbrowser. Die verifizierten Daten können jetzt für die eigentliche Auswertung gespeichert werden. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte genauer beschrieben.

Die Position des Smartphones kann mit mehreren Sensoren bestimmt werden. Jeder der Sensoren hat spezifische Vor- und Nachteile. Der energetisch genügsamste Sensor ist das Funksignal zum Telefondienstprovider selbst. Neben der Funkstärke ist auch die weltweit eindeutige ID des Funkmastes immer verfügbar, mit dem sich das Telefon aktuell verbunden hat. Da sich die Positionen der Funkmasten in der Regel nicht ändern, können diese IDs mit Datenbanken zu bestimmten Positionen zugeordnet werden (vgl. OpenCellID, Ericsson Lab). Allerdings decken Funkzellen einen Radius von mehreren hundert Metern ab, weshalb die Genauigkeit der Positionsbestimmung nicht unter 200 m und im ländlichen Bereich sogar meist über 1000 m liegt.

Ähnlich ist die Funktionsweise bei der Positionsbestimmung über die aktuell erreichbaren WLAN-Funkzellen bei aktiviertem WLAN. Durch die geringere Reichweite von WLAN-Funkzellen liegt hier die Genauigkeit in der Regel bei unter 200 m. Allerdings sind WLAN-Zellen sehr viel portabler und man muss sich bewusst sein, dass die Positionsbestimmung fehlerhaft sein kann, wenn die Datenbankeinträge der Zelle veraltet sind.

Der genaueste Sensor ist das satellitengestützte Ortungssystem GPS. Jedoch benötigt dieser Sensor eine relativ lange Initialisierungsphase, viel Energie und ist im Gegensatz zu den vorher genannten Sensoren nicht in Gebäuden verfügbar. Allerdings können sich

die Funk- und GPS-Sensoren durch geeignete Kombinationen in ihren Eigenschaften ergänzen.

Die Datenerfassung auf Smartphones ist durch die integrierten Datenbanken sehr einfach. Durch den ausreichend vorhandenen Speicherplatz ist es dabei ratsam, jede Position jedes Sensors zunächst für spätere Auswertungen zu speichern. Bei Positionsbestimmung aus WLAN oder GPS kann zusätzlich die ID der aktuellen Funkzelle gespeichert werden. Dadurch ist es möglich, Ausreißer sehr effektiv zu detektieren. Ist das GPS über einen Zeitraum von einigen Minuten nicht verfügbar, sollte das Trackingsystem diesen Sensor bis zum nächsten Positionsupdate eines anderen Sensors abschalten, um den hohen Energieverbrauch beim Initialisieren des GPS-Sensors einzusparen.

Die Daten auf dem Smartphone selbst zu prozessieren, ist zwar möglich, aber nicht zu empfehlen, weil die Rechenressourcen durch das Multitasking oft nur begrenzt zur Verfügung stehen und Datenbankoperationen durch Telefonate und andere Applikationen unterbrochen werden können. Daher werden in diesem System die Daten an einen Server geschickt, der die Daten prozessiert und die Resultate wieder zurück ans Smartphone schickt.

3.2.4 Datenverarbeitung

Die Verarbeitung der empfangenen Positionsdaten erfolgt in drei Schritten: Kombinierte Fehlererkennung und Filterung, Wegerkennung und Moduserkennung.

Fehlererkennung und Filterung Zuerst werden die Daten auf fehlerhafte Positionen untersucht und redundante Informationen herausgefiltert. Dazu wird zunächst geprüft, ob die Position zur übermittelten Funkzelle passt und die Geschwindigkeit unter einem gegebenen Schwellwert liegt, der mindestens bei der Höchstgeschwindigkeit von Schnellzügen liegen sollte, aber auch ans Untersuchungsgebiet angepasst werden kann. Fehlerhafte GPS-Positionen passen häufig nicht zu den Positionen der Telefonzellen. Kennt man die Position der Sendemasten im Untersuchungsbereich, kann man über diese Positionen weitere fehlerhafte GPS-Positionen einfach aussortieren.

Da GPS-Positionen in der Regel genauer sind als Positionen aus Funk- und WLAN-Zellen, können zeitlich nahe ungenauere Positionen entfernt werden, um Sprünge zu vermeiden, die nur durch die unterschiedlichen Genauigkeiten entstanden sind. Da WLAN-Zellen in dicht besiedelten Gebieten sehr häufig wechseln können, wird in jedem Minutenintervall nur die WLAN-Position mit der höchsten Genauigkeit gespeichert.

Wegerkennung Eine automatische Wegerkennung muss drei Kriterien erfüllen:

1. Start- und Zielpunkt müssen zuverlässig erkannt werden.

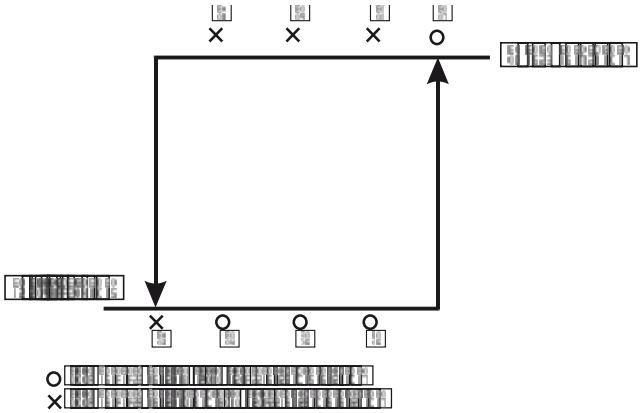

Abb. 3.2 Hysteresekurve zwischen Stillstand und Bewegung

2. Kurze Stopps an Ampeln oder Haltestellen während einer Fahrt dürfen nicht als neuer Weg erkannt werden.
3. Kleine Bewegungen an einem Aktivitätsort, beispielsweise Leeren des Briefkastens, dürfen nicht als Weg interpretiert werden.

Daher werden Ortsveränderungen bzw. Stillstand nicht sofort als Start und Stopp gewertet, sondern müssen eine gewisse Hysteresekurve durchlaufen (vgl. Abb. 3.2).

Ausgehend von einem Stillstand (Punkt 1) wird eine Bewegung erst erkannt, wenn eine gewisse Anzahl von neuen Messpunkten (Punkte 2-5) dem Ausgangszustand widerspricht. Umgekehrt wird ausgehend von einer Bewegung (Punkt 5) erst nach einigen Punkten Stillstand (Punkte 6-8 und 1) wieder der Zustand Stillstand erreicht. Um nun den exakten Zeitpunkt des Zustandswechsels zu bestimmen, wird nach einem Zustandswechsel untersucht, welches Element als erstes zum Zustandswechsel beigetragen hat und der Startpunkt entsprechend verschoben (Punkt 2 beim Zustandswechsel Stillstand/Bewegung bzw. Punkt 6 beim Wechsel Bewegung/Stillstand). Des Weiteren stellt dieses Verfahren sicher, dass die Wege eine Mindestzahl an Positionswerten haben. Rundwege mit gleichem Start und Ziel werden als solche markiert, weil hier Wegezweck und Weg oft nicht voneinander losgelöst betrachtet werden können.

Auch wenn GPS-Sensoren häufig eine Genauigkeit von 10 m angeben, hat sich gezeigt, dass das Rauschen um einiges höher ist. Daher wurde die Sensitivität für die Bewegungserkennung auf 100 m gesetzt.

Moduserkennung Die automatische Erkennung des Modus aufgrund der Geschwindigkeit und Entfernung zwischen den Positionen eines Weges kann nicht immer zweifelsfrei erfolgen (vgl. Patterson et al. 2003). Besonders die Bewegungsmuster von Bussen und Fahrrädern im städtischen Verkehr sind schwer voneinander zu unterscheiden.

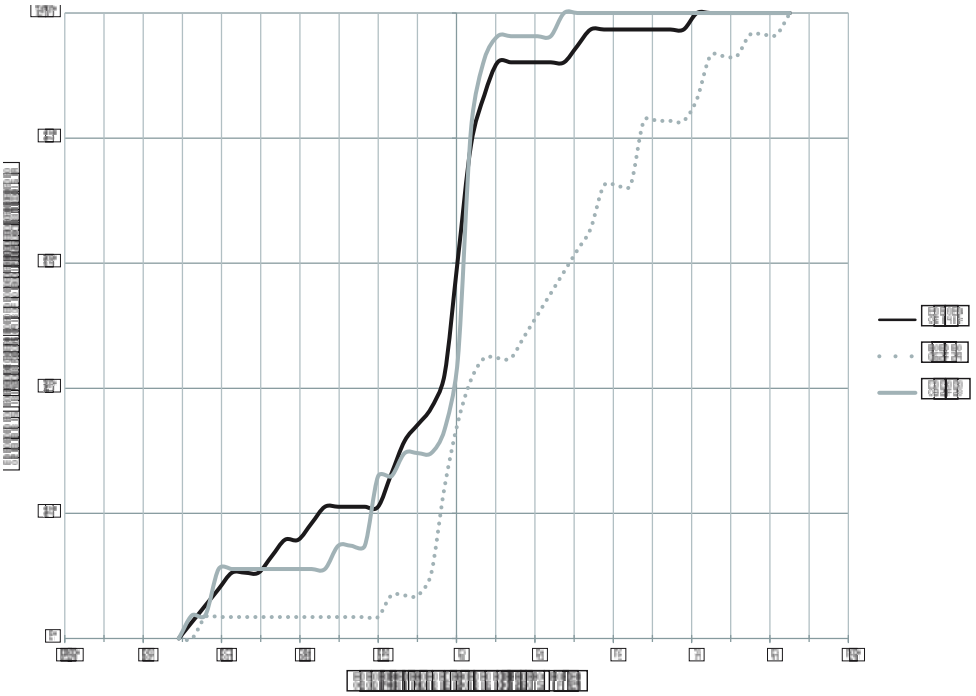

Abb. 3.3 Akkumulierte Häufigkeiten der Beschleunigungsdaten aus den Testdaten

In der Studie von Thiagarajan et al. (2010) wurde gezeigt, dass die Auswertung des Beschleunigungsverhaltens die Moduserkennung signifikant verbessert. Daher wird auch in diesem System der Beschleunigungssensor verwendet, allerdings mit Hilfe einer vereinfachten Technik.

Beschleunigungssensoren haben in der Regel eine Messfrequenz von 1 kHz und reagieren auf kleinste Veränderungen wie Antippen des Smartphones. Daher werden die Sensordaten über eine Sekunde akkumuliert und der Durchschnittswert wird verwendet.

Um das Verhalten des Beschleunigungssensors interpretieren zu können, wurden sechs Testfahrten mit den Verkehrsmitteln Fuß, Rad und Bus auf derselben 1,4 km langen Strecke durchgeführt. Die Auswertung der erhobenen Beschleunigungsdaten hat gezeigt, dass 96 % aller Positionen bei Auto-, Bus- und Bahnfahrten Beschleunigungswerte von weniger als 1 m/s^2 haben (vgl. Abb. 3.3).

Demgegenüber haben Strecken mit Fuß und Rad bei zehn Messwerten mindestens eine Beschleunigung von mehr als 1 m/s^2.

Damit lassen sich diese beiden Modusklassen auch während eines Weges gut voneinander trennen: Zuerst wird über den gesamten Weg geprüft, wie viele kritische Beschleunigungen vorliegen und wie hoch die Maximalgeschwindigkeit zwischen zwei Positionen ist. Anhand der Maximalgeschwindigkeit kann bestimmt werden, ob die schnellen Modi vorkommen und anhand der kritischen Beschleunigungen wird bestimmt, ob die langsamen

Tab. 3.1 Wegeverteilung der Evaluationsdaten

Modus	Punkte	Distanz (km)	Reisezeit
Fuß	346	12,03	2 h 25 min
Rad	224	2,56	15 min
Auto	4553	503,73	16 h 18 min

Modi überhaupt vorkommen. Nun wird der Weg an den Beschleunigungswerten über 1 m/s^2 segmentiert und man bestimmt über die Zeit, Strecke und Anzahl der Positionen dieses Segments, ob es eine „ruhige" Auto-, Bus- oder Bahnfahrt ist oder ein Fußweg oder eine Radfahrt. Zuletzt wird für die unruhigen Segmente anhand der durchschnittlichen Geschwindigkeit eines Segments und des Modus des vorherigen Segments bestimmt, ob es ein Fußweg oder eine Radfahrt ist. Die Entscheidung, ob eine ÖV- oder Autofahrt vorliegt, hängt sehr stark vom Untersuchungsgebiet und der Person ab und wird daher letztendlich über die Nutzerverifikation abgefragt.

Nutzerverifikation der aufgezeichneten Wege Die Nutzerverifikation erfolgt mit Hilfe einer Website mit einem interaktiven Kartenelement von Google Maps™ im Webbrowser und erfolgt direkt auf dem Smartphone oder an einem anderen Computer. Dabei wird der Nutzer gefragt, ob der jeweilige Weg real durchgeführt wurde, welchen Wegezweck er hatte und ob der automatisch erkannte Modus richtig ist. Fehler werden entsprechend vom Nutzer korrigiert und die korrigierten Daten gespeichert.

3.2.5 Ergebnisse des Pilotversuches

Die Nutzerverifikation erfolgte innerhalb eines Pilotversuches mit vier Nutzern anhand von 53 Wegen und 51 Zielen. Davon waren 19 Wege intermodal. Die Wege bestehen aus 5123 Punkten und insgesamt 518 km. Die Verteilung auf die einzelnen Verkehrsmittel ist in Tab. 3.1 zu sehen.

Durch den hohen Anteil von beruflichen Wegen ist der Anteil von Auto- und ÖV-Fahrten stark überrepräsentiert, diese Fahrten machen aber auch den Großteil an intermodalen Wegen aus. Die Ergebnisse der Nutzerverifikation sind in Tab. 3.2 aufgeführt. Hierbei wurden die Ergebnisse in drei Kategorien unterteilt: Einfache Wege mit nur einem Verkehrsmittel, intermodale Wege und Ziele. Zu den einfachen Wegen wurden auch Wege gezählt, bei denen die Zu- und Abgangswegstrecke unter der Messgrenze von 100 m lag. Der Zu- und Abgang kann in diesem Fall nicht vom Trackingsystem erkannt werden und sollte daher nicht als fehlerhafter intermodaler Weg ausgewertet werden. Bei den intermodalen Wegen wurden solche Wege als korrekt klassifiziert, bei denen die Abweichung der einzelnen Verkehrsmittelsegmente weniger als 100 m pro Segmentstart oder -ende betrug.

Bei der Zielbestimmung wurden solche Ziele als korrekt klassifiziert, die sich im Umkreis von 100 m zum realen Ziel befanden. Ein Problem bei der Zielbestimmung waren

Tab. 3.2 Auswertung der Nutzerverifikation

Einfache Wege		Intermodale Wege		Ziele	
Korrekt	Fehlerhaft	Korrekt	Fehlerhaft	Korrekt	Fehlerhaft
31	3	18	1	46	5

Aufenthalte im Freien, z. B. auf Kinderspielplätzen oder bei Gartenarbeiten. Diese Ziele wurden nicht korrekt erkannt, weil sich die Testpersonen während des gesamten Aufenthaltes bewegten, aber keinen eigentlichen Weg zurücklegten. Des Weiteren wurden Aufenthalte auf Bahnhöfen fälschlicherweise als Ziele klassifiziert, wenn die Wartezeit mehr als fünf Minuten betrug (vgl. Tab. 3.2).

In der Evaluationsstudie von Reddy et al. (2010) werden für verschiedene vergleichbare Techniken bei der Moduserkennung typische Fehlerraten von 6–15 % angegeben. Die hier vorgestellte Methodik hat mit ca. 10 % Fehlerrate eine ähnliche gute Genauigkeit bei deutlich reduzierter Komplexität. Die Verifikation hat kaum Fehler offenbart. Die Erkennung von intermodalen Wegen war sogar genauer als die Erkennung von Wegen mit einem einzigen Verkehrsmittel. Dies ist darauf zurückzuführen, dass besonders kurze Fußwege fehlerhaft verortet oder fälschlicherweise als Radwege interpretiert werden, wenn Start- und Endpunkt nicht exakt bestimmt wurden und dadurch die Geschwindigkeit zu hoch berechnet wurde. Generell ist es schwierig, nicht erkannte Wege auszuwerten: Besonders kurze Wege können systembedingt durch die räumlichen Toleranzen beim Start weniger gut erkannt werden und fehlen für die Auswertung.

3.2.6 Fazit und Empfehlungen für Zukünftige Erhebungen

Die Erfassung von intermodalen Wegstrecken mit Hilfe von Smartphones ist möglich und prinzipiell machbar. Mit Hilfe der in Smartphones eingebauten Beschleunigungssensoren können Zu- und Abgangswege zuverlässig erkannt sowie Fuß-und Radwege von Auto- und ÖV-Wegen getrennt werden. Allerdings können kurze Wege nicht immer erkannt werden, weil gerade der Übergang von Innenräumen mit schlechtem GPS-Empfang in den Außenbereich zu einer längeren Initialisierungsphase des GPS-Sensors führt, weshalb Wege von weniger als 200 m kaum vom Sensorrauschen unterschieden werden können. Ein schwer lösbares Problem stellen abgebrochene Wege dar, die durch mangelnde Akkuladung oder Sensorausfall entstehen.

Dennoch ist die Praktikabilität des Smartphone-Trackings sehr hoch, weil die meisten Wege exakter bestimmt werden können als mit Wegetagebüchern. Durch die Übertragung der Daten via Internet ist es nicht nötig, die Geräte zur Auswertung vor Ort zu haben. Besonders die interaktiven Webtechniken ermöglichen es, schnell die Daten zu verifizieren und so Telefoninterviews zu verkürzen. Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass zukünftig die Weg-, Ziel- und Verkehrsmittelbestimmung ohne eine Nutzerverifikation erfolgen kann. Dafür sind die Bewegungsmuster einzelner Personen zu unterschiedlich.

Probleme mit der Akkulaufzeit wurden hier nicht behandelt, da davon auszugehen ist, dass sich die Akkulaufzeit durch bessere Technologie verbessert. Problematischer ist der Umgang mit dem Datenschutz, da rechtlich sichergestellt werden muss, dass die erhobenen Daten vor unbefugtem Zugriff geschützt sind, solange sie noch auf dem Smartphone gespeichert sind. Auch stellen sich durch die Güte der Positionierungsdaten weitergehende Fragen bezüglich der Anonymisierung.

Durch die genaue Bestimmung von Wegelängen und -dauern insbesondere für die einzelnen Segmente intermodaler Wege kann auf diese Weise das Verkehrsverhalten detaillierter erfasst werden als mit den bisher verwendeten Wegeprotokollen. Dadurch können bestehende Fragestellungen der Forschung und Planung z. B. zum Parkplatzsuchaufwand oder zu Umstiegszeiten beantwortet werden. Auch die Verkehrsnachfragemodellierung kann von dieser Methode profitieren, da mit diesen Daten genauere Verhaltensmodelle für die Moduswahl und Aufwandsberechnung – durch Bestimmung der Wartezeiten und Reiseweiten im ÖV – erstellt werden können.

Eine besondere Bedeutung erhält das Smartphone-Tracking bei der Erhebung von Mobilitätspanels, bei denen die Wege einer Person über eine längere Zeit ausgewertet werden sollen. Hier können häufig besuchte Ziele wie Wohnort, Ausbildungs- oder Arbeitsplatz durch die Aufenthaltsdauer automatisch erkannt werden. Ferner ist es möglich, Abweichungen von üblichen Routen zu bestimmen. Auch eine Ausweitung bei stichtaggebundenen Erhebungen über weitere Stichtage ist wegen des reduzierten Aufwands der Wegeerfassung denkbar und eröffnet neue Möglichkeiten bei der Datenauswertung.

Prinzipiell kann das klassische Wegeinterview durch das Smartphone noch nicht ersetzt werden. Zunächst ist die Marktdurchdringung von geeigneten Smartphones noch zu gering, um einen repräsentativen Querschnitt durch die Bevölkerung sicherzustellen. Auch muss die Vergleichbarkeit zu vorherigen Erhebungen gewährleistet werden, da zu erwarten ist, dass sich durch das geänderte Erhebungsdesign die Ergebnisse in bestimmten Teilbereichen allein durch die Methodik ändern werden. Des Weiteren haben derzeit jüngere Bevölkerungsgruppen eine höhere Smartphone-Besitzquote, was die Vergleichbarkeit zu anderen Gruppen zusätzlich erschwert. Daher wäre es anzuraten, bei anstehenden Erhebungen Smartphone-Teilnehmer sowohl klassisch per Fragebogen als auch mit Hilfe von Smartphones zu befragen, um Besonderheiten für die Vergleichbarkeit zu identifizieren.

3.3 Das SmartMo-Mobilitätsbefragungstool: Systemkonzeption und Nutzererfahrungen

Martin Berger, Dipl.-Ing. Mario Platzer und Dipl.-Ing. Emanuel Selz

Mobilitätsbefragungen profitieren von der rasanten Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) einer hohen Marktdurchdringung von Smartphones. Mit Smartphones als ständige Alltagsbegleiter lassen sich detaillierte und umfassende Mobilitätsdaten gewinnen. Bei der mobilen Befragung dient der intuitiv und leicht bedien-

bare Touchscreen des Smartphones zur Erfassung von Personen- und Wegemerkmalen, während das multiple Ortungssystem (A-GPS, WLAN, GSM) zum automatischen Routentracking verwendet wird. Neben der experimentellen Entwicklung eines Prototyps für ein Smartphone-Mobilitätsbefragungstool dient ein erster Feldtest zur Erfassung von Mobilitätsdaten von Probanden dazu, die Eignung der Geräte in Bezug auf technische Leistungsfähigkeit und Nutzerakzeptanz zu überprüfen. Aus den Ergebnissen der Feldstudie kristallisieren sich drei Anforderungen zur Optimierung des Erhebungssystems heraus, die es zu lösen gilt: Die umfassende Berücksichtigung von Datenschutzanforderungen, die Optimierung des Energieverbrauchs der Smartphones und die Vermeidung des Vergessens von Wegen beim aktiven Tracking von Ortsveränderungen.

3.3.1 Hintergrund und Stand der Wissenschaft

Innovative verkehrliche Maßnahmen (z. B. ein höherer Stellenwert von Mobilitätsmanagement), gesellschaftliche Entwicklungen (z. B. Pluralität von Lebensstilen, komplexere Tagesabläufe infolge neuer Beschäftigungsverhältnisse und Familienkonstellationen) und innovative Verkehrsplanungsmethoden (z. B. aktivitätenbasierte Verkehrsnachfragemodelle) haben die Anforderungen an Mobilitätserhebungen in den letzten Jahren verändert. Es werden detaillierte, umfassende und valide Informationen zu Wegen bzw. Wegetappen mit Angaben zu Wegezweck, Verkehrsmittel, Begleitpersonen der Verkehrsteilnehmer für die Verkehrsplanung und -politik benötigt. Zentrale Herausforderungen sind:

- Wie lassen sich intermodale Wechsel, Reisezeiten und Routen, Nutzung „neuer“ Verkehrsmittel (z. B. Pedelecs, Kfz mit unterschiedlichen Antriebssystemen), kurze Ortsveränderung etc. detailliert, umfassend und valide erfassen?
- Wie können repräsentative Mobilitätsdaten durch Verbesserung der Nutzerakzeptanz in breiten Bevölkerungsteilen, insbesondere bei schwer erreichbaren Personenkreisen gewonnen werden?

Die Entwicklung mobiler Ortungssysteme („GPS-Tracker“) in den letzten Jahren hat erst die beträchtlichen Verzerrungen von Mobilitätsdaten durch Erinnerungseffekte, Under-/Standard-/Wrongreporting, insbesondere kurzer Wege, und Überforderungen bzw. Widerstände der Befragten sichtbar gemacht. Zahlreiche GPS-Machbarkeitsstudien mit einer großen Anzahl von Probanden belegen, dass zukünftige Mobilitätserhebungen nicht mehr auf Ortungssysteme zum Routentracking verzichten können (vgl. Wolf et al. 2008).

Bereits entwickelte Erhebungssysteme, die mobile, computergestützte und selbst-administrierte Mobilitätstagebücher (CASI, computer-aided self interviewing) mit Ortungstechnologien kombinieren, nutzen unterschiedliche Medien wie Mobiltelefone mit GSM (Wermuth 2001), PDAs mit GPS (Bellemans et al. 2008) und Smartphones mit GPS/GSM/WLAN. Zahlreiche Forschungsansätze haben diese Strategie zur Gewinnung von Mobilitätsdaten mit mobilen Methoden verfolgt, wurden jedoch teils vom rasanten Fortschritt

der IKT überholt. Das Smartphone eröffnet neue Möglichkeiten, um Mobilitätsverhalten valider und objektiver zu messen: Marktgängige Smartphones verfügen über eine Vielzahl von Sensoren, wie z. B. Kamera, Mikrofon, digitaler Kompass, Gyroskop, Lichtsensor, GPS und Touchscreen, die ein Potenzial zur automatischen Erfassung von Mobilitätsdaten besitzen. Während Chen und Fan (2012) den dreidimensionalen Beschleunigungsmesser, den GPS-Empfänger und die dreidimensionalen magnetischen Sensoren zur automatischen Erfassung der Position, Zeitstempel und Geschwindigkeit verwenden, greifen Cottrill et al. (2013) zum Routentracking ausschließlich auf den GPS-Sensor zu. Die Zuordnung von Wegezweck und Verkehrsmittel zu den Wegen durch die Probanden erfolgt im Postprocessing via Web.

3.3.2 Systemkonzeption des Smartphone-Mobilitätsbefragungstools SmartMo

Workflow Die Applikation SmartMo ist ein Befragungstool zur Erfassung von Mobilitätsdaten. Bei der Datenerfassung werden Smartphone und Desktoprechner miteinander kombiniert. Neben Merkmalen zum Haushalt und zur Person werden einzelne Wege hinsichtlich des zugeordneten Wegezwecks, des benutzten Verkehrsmittels und der gewählten Route protokolliert (vgl. Abb. 3.4).

Folgende Merkmale werden entweder automatisch durch Ortungstechnologien (A-GPS, WLAN, GSM) oder durch persönliche Eingabe via Touchscreen erfasst:

- Haushaltsdaten (z. B. Haushaltsgröße, Anzahl der Pkw im Haushalt),
- Personendaten (z. B. Alter, Geschlecht, Stellung im Erwerbsleben),
- Wegedaten (z. B. Wegezweck, Verkehrsmittel, Routentracks).

Das Smartphone verwendet drei Sensoren zur Lokalisierung: A-GPS, GSM und WLAN, die sich in ihren Einsatzbereichen optimal ergänzen. Bei der Ortung der geographischen Lage treten in Abhängigkeit der Eigenschaften der Ortungsmethoden – z. B. Signalreflexionen und Verschattungen bei GPS – Unschärfen auf. Map-Matching-Verfahren ermöglichen mit geeigneten Algorithmen, die Routentracks zu bestehenden Referenz-Netzmodellen, wie z. B. Openstreetmap, korrekt zuzuordnen. Die Qualitätssicherung erfolgt über Prüfroutinen und automatisierte Plausibilitätskontrollen, welche die Fehlerhäufigkeit minimieren: Beispielsweise werden gematchte Wege zu Fuß auf Autobahnabschnitten eliminiert. Somit ist neben einer exakten Kartendarstellung auch eine genaue Berechnung der einzelnen Wegeentfernungen möglich.

Interaktion Nutzer-Applikation Aus der Sicht der Probanden gliedert sich die Mobilitätserhebung im Testfall in vier Stufen: Erstens die Erfassung von Haushaltsmerkmalen mit Registrierung durch eine Person des Haushaltes, zweitens die Erfassung von Personenmerkmalen, drittens die Aufzeichnung von Wegen und viertens die Messung der User

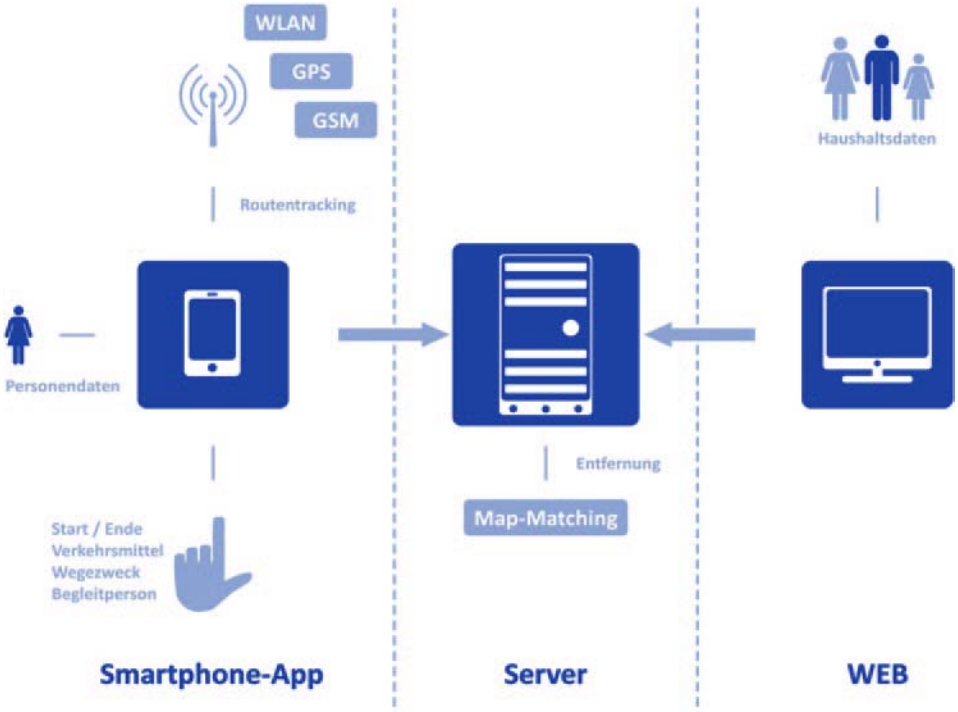

Abb. 3.4 Workflow der SmartMo-App

Experience, jeweils durch möglichst alle Haushaltsmitglieder. Die Nutzerbewertung der Applikation liefert wertvolle Hinweise für die Weiterentwicklung des Erhebungstools, ist aber für die endgültige Praxisanwendung nicht vorgesehen.

Vor Nutzung des Erhebungstools erhalten die Nutzer folgendes Informationsmaterial:

- Leitfaden zur Verwendung von SmartMo (Instruktionen),
- Zustimmungsklausel (Datenschutz),
- Persönlicher Code zur Registrierung von SmartMo.

Das Material enthält einen Link zum (webbasierten) Haushaltsfragebogen, der durch den User auszufüllen ist. Anschließend erfolgt durch den Nutzer ein Download der SmartMo-Applikation auf sein mobiles Endgerät entsprechend der im Informationsmaterial enthaltenen Anleitung.

An das mobile Endgerät bzw. dessen Einstellungen bestehen folgende Anforderungen:

- Kompatibles Betriebssystem (Android 2.2 oder höher; iOS 4.0 oder höher),
- Aktivierung der GPS-Ortung,
- Aktivierung der WLAN-Verbindung.

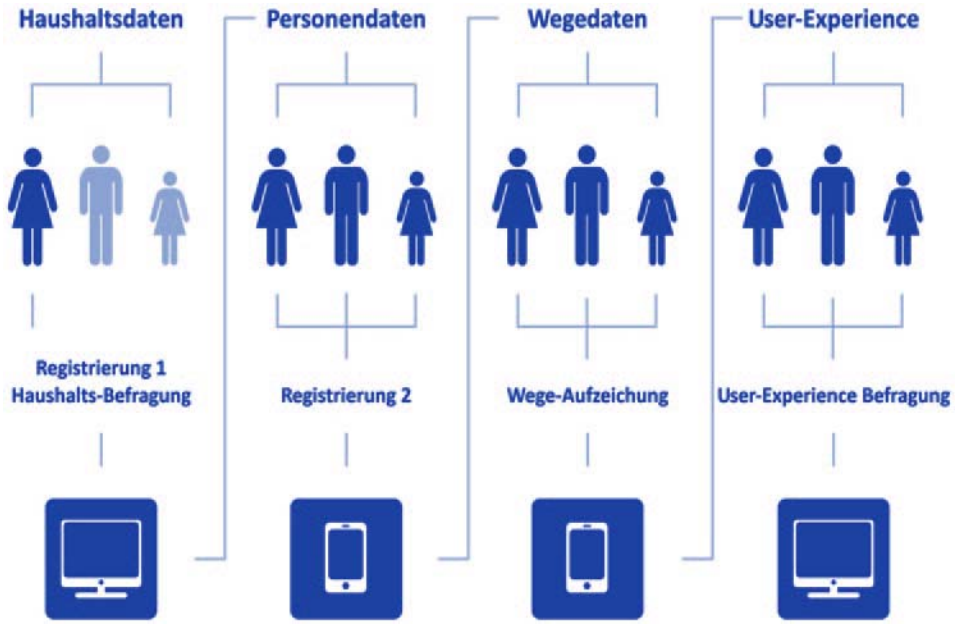

Abb. 3.5 Datenübertragung bei der SmartMO-App

Die Installation startet nach dem Download von den herstellerspezifischen Download-Plattformen (z. B. Android Market, Apples App Store) automatisch.

Der Home Screen zeigt das Icon der SmartMo-App, die durch die (einmalige) Eingabe eines postalisch übermittelten Codes aktiviert und unmittelbar danach gestartet werden kann. Die Personendaten können durch den User offline über eine entsprechende Eingabemaske erfasst werden. Zum Abschluss dieses Arbeitsschrittes erfolgt eine Freigabe durch den Nutzer und die Datenübermittlung vom Smartphone an den Server (vgl. Abb. 3.5).

An den relevanten Stichtagen der Mobilitätsbefragung wird der Nutzer durch automatisch generierte Kurznachrichten (SMS) an die erforderliche Erfassung von Wegedaten erinnert. Die Erinnerung erfolgt dreimalig (morgens, mittags und abends).

Vor Beginn jedes Weges sind durch den Nutzer Wegezweck und Verkehrsmittel in einer Eingabemaske über eine sehr differenzierte Abfrage einzugeben. Die automatische Aufzeichnung der Route erfolgt nach der Betätigung des Buttons „Aufzeichnung starten“. Ist das Ziel erreicht, so ist durch Betätigung des Buttons „Aufzeichnung beenden“ die automatische Wegeaufzeichnung zu stoppen (vgl. Abb. 3.6).

Eine Übersichtsseite der Applikation zeigt sämtliche aufgezeichneten Wege mit entsprechenden Merkmalen an. Der Nutzer hat die Möglichkeit, einen aufgezeichneten Weg zu editieren bzw. zu löschen. Er kann diesen sofort oder zu einem späteren Zeitpunkt auf den Server hochladen. Eine webbasierte Eingabemaske ermöglicht den Nutzern eine Bewertung der Applikation.

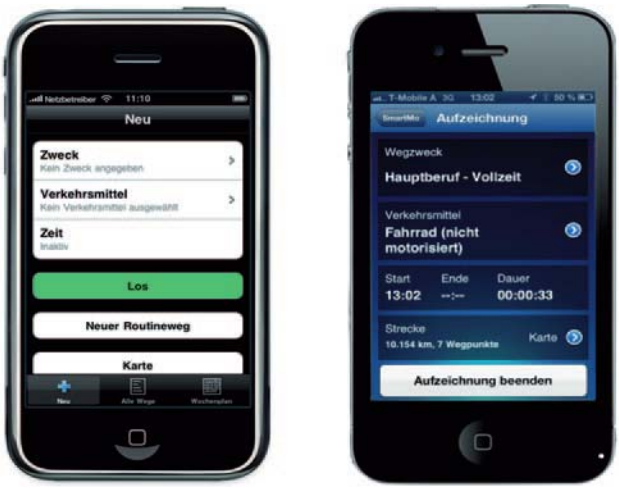

Abb. 3.6 Start und Beenden der Aufzeichnung

3.3.3 Pilotstudie SmartMO: Vorgehensweise, Datenbasis und Ergebnisse

Die Entwicklung des Smartphone-Mobilitätsbefragungstools erfolgt iterativ. Ein erstes Konzept wurde softwareseitig umgesetzt und in einem ersten Feldtest mit einer relativ geringen Anzahl von Probanden überprüft. Dieser Feldtest, dessen Ergebnisse nachfolgend dargestellt werden, diente in erster Linie dazu, wesentliche Einflussgrößen, Potenziale und Einsatzhemmnisse der SmartMo-App zu eruieren.

Der Feldtest umfasste 30 Probanden auf Basis einer Selbstrekrutierung. Zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft wurden Prämien in Höhe von zehn Euro je Teilnehmer gezahlt. Die Erhebung erfolgte für einen Zeitraum von 3 Tagen. Beide Geschlechter verteilen sich gleich im Verhältnis 50 zu 50. Überdurchschnittlich häufig sind Personen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren vertreten. Ältere Personen, insbesondere Rentner, wurden nicht erreicht. Daraus folgt, dass die Stichprobe nicht bevölkerungsrepräsentativ ist, jedoch für den Forschungszweck einer User Experience Analyse bei Lead-Usern adäquat ist.

Die Erfahrungen des ersten Feldtestes dienen als Grundlage für die konzeptionelle und softwaretechnische Weiterentwicklung des Erhebungstools.

Datenschutz Der Datenschutz spielt insbesondere bei onlinebasierten Erhebungen eine herausragende Rolle. Dies bestätigte sich auch in der Befragung zur User Experience, bei der die Relevanz des Datenschutzes nur in Einzelfällen nicht als sehr wichtig oder wichtig eingeschätzt wurde.

Da dies bereits im Vorfeld vermutet werden konnte, wurde mit der Pseudonymisierung (z. B. Code) und insbesondere dem Verbleib der Datenhoheit beim Nutzer (aktives Tracking, manuelles Hochladen, Datenkorrektur etc.) eine Reihe von Maßnahmen zur Steigerung der Nutzerakzeptanz in das Befragungstool implementiert.

Energieoptimierung Der Stromverbrauch von Smartphones ist relativ hoch, so dass, in Abhängigkeit vom jeweiligen Nutzerverhalten, davon auszugehen ist, dass ein Smartphone täglich, mindestens aber mehrmals in der Woche aufgeladen werden muss.

Die Nutzer sind in etwa zu je einem Drittel den Gruppen „Tagsauflader", „Nachtsauflader" sowie einem Mischtyp aus beiden zuzuordnen. Die „Tagsauflader" nutzen tagsüber (nahezu) jede Gelegenheit, um ihr Smartphone aufzuladen. Die „Nachtsauflader" schließen ihr Smartphone über Nacht an eine Stromquelle an. Das Ladeverhalten des Mischtyps ist nicht an genaue Zeiten gebunden,

Das Routentracking erhöht den Energieverbrauch der Smartphones. Im Durchschnitt verbrauchen die getesteten Gerätetypen pro Stunde Routentracking ca. 11 % der Gesamtkapazität. Smartphones von Samsung sind mit 9 % durchschnittlichem Akkuverbrauch pro Stunde am sparsamsten, während das iPhone mit durchschnittlich ca. 13 % pro Stunde den höchsten Energieverbrauch aufweist. Dies kann dazu führen, dass Routentracks nicht vollständig oder überhaupt nicht erfasst werden können. Überraschenderweise tauchten Probleme der Energieversorgung nur bei vier der 30 Probanden innerhalb der drei Erhebungstage auf, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass viele Nutzer unabhängig vom Gerätetyp offensichtlich die Tipps zur Energieoptimierung (z. B. vollständiges Aufladen des Gerätes über Nacht) und Energiespartipps (z. B. Abschalten von Tastaturtönen, Verringerung Helligkeit) befolgt haben.

Vermeidung des Vergessens von Wegen Nach Beendigung des Feldtests wurden die Probanden gebeten, die Anzahl vergessener Wege abzuschätzen. Lediglich gut ein Viertel der Probanden gab an, alle Wege aufgezeichnet zu haben, ein weiteres Viertel vergaß einen Weg innerhalb der drei Erhebungstage. Bei fast der Hälfte der Probanden unterblieb die Aufzeichnung von zwei und mehr Wegen innerhalb der drei Erhebungstage.

Dem Vergessen des Aufzeichnens von Wegen sollte durch Erinnerungs-SMS vorgebeugt werden, bei denen jedoch die Gefahr besteht, belästigend zu wirken. Als störend wurden diese Kurznachrichten nur von einem Viertel der Probanden empfunden. Die positive Wirkung der Erinnerungs-SMS auf das Nichtvergessen der Wegeprotokollierung konnte nachgewiesen werden.

„Joy of Use" und Bedienbarkeit Das Smartphone-Befragungstool wurde von drei Vierteln der Benutzer mit sehr gut oder gut bewertet, keiner der Befragten gab an, dass er keine oder gar keine Freude bei der Benutzung des Tools hatte. Insbesondere die Verständlichkeit der Bedienung wurde von allen Befragten als gut oder sehr gut bezeichnet. Die Mehrzahl der Befragten stufte den Zeitaufwand als sehr gering oder gering ein, nur ca. 15 % als groß. Die hierarchisch gegliederte Auswahlmöglichkeit der Verkehrsmittel in der SmartMo-App ist sehr differenziert, gerade im Hinblick auf neue Modi wie Pedelecs, Hybridfahrzeuge etc. Es sollte immer abgewogen werden, ob die zusätzlich gewonnenen Informationen die aufwändigere Eingabe rechtfertigen. So war mehr als die Hälfte der Befragten der Meinung, dass überflüssige Eingaben zu tätigen sind.

Ortungsgenauigkeit und -vollständigkeit der Routentracks Eine qualitative visuelle Überprüfung der Lagegenauigkeit der Rohdaten von Routentracks zeigt bei zwei Dritteln der Routentracks eine sehr hohe Qualität mit sehr wenigen „Ausreißern" und „Aussetzern", z. B. durch Kaltstart- und Abschattungsprobleme. Ungefähr jeder Zehnte Routentrack ist von so schlechter Qualität, dass eine Rekonstruktion der Trajektorie mit Map-Matching-Algorithmen kaum gelingt. In Abhängigkeit des genutzten Verkehrsmittels variiert die Datenqualität, wobei die Ortung bei Fahrten mit Zügen und insbesondere mit U-Bahnen unzureichend ist. Außerdem variiert je nach Gerätetyp der Smartphones die Qualität der Routentracks.

3.3.4 Schlussfolgerungen

Die Verbreitung von Smartphones in der Gesellschaft nimmt rasant zu, so dass diese mobilen Endgeräte eine größere Bedeutung für Mobilitätserhebungen erlangen. Smartphones werden derzeit überwiegend von jüngeren Menschen genutzt. Personen über 40 Jahre und insbesondere Rentner sind in selteneren Fällen Nutzer von Smartphones. Diese Lücke ist bei Frauen stärker ausgeprägt als bei Männern. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der Besitz eines Smartphones nicht automatisch eine umfassende Nutzung aller Funktionen des Gerätes impliziert. Auch aus der positiven User Experience von jüngeren Menschen kann nicht automatisch eine Handhabbarkeit für die Personengruppen gefolgert werden, die derzeit noch kein Smartphone besitzen. Aufgrund dieses Coverage-Fehlers, der durch die derzeitige Smartphonenutzung bedingt ist, gelingt es derzeit nicht, bevölkerungsrepräsentative Mobilitätsbefragungen zu realisieren.

Außerdem wird davon ausgegangen, dass die Verweigerung der Teilnahme einzelner Personen (Unit-Nonresponse) stark mit Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre und des Datenschutzes bei Verwendung des Smartphone-Mobilitätsbefragungstools verbunden ist. Wie die Untersuchung zeigt, spielen diese Aspekte eine herausragende Rolle. Zwar steigern bereits implementierte Strategien grundsätzlich die Nutzerakzeptanz, wobei der Privacy by Design Ansatz konsequent weiter zu beschreiten ist.

Zentraler Ansatzpunkt, um das Dilemma zwischen Nutzerbeanspruchung und Informationsgewinn zu verringern bzw. aufzulösen, ist die weitgehende Automatisierung der Datengewinnung zur Verringerung von Unit- und Item-Non-response. Die Nutzer-Gerät-Interaktion lässt sich minimeren, indem einerseits weitere Sensoren für Smartphones entwickelt werden, die den Kontext umfassender messen und andererseits Mobilitätsdaten intelligent im Post Processing verknüpft werden. Probate Ansätze, die derzeit intensiv erforscht werden, sind beispielsweise die automatische Verkehrsmittelerkennung aus Beschleunigungsdaten sowie personalisierte und adaptive Fragebogenformate, welche interaktiv die vorgegebenen Inhalte an die individuelle Lebenssituation und die Verhaltensroutinen der Befragten anpassen oder ortsbezogene Push-Erinnerungen, die an den Nutzer automatisch gesendet werden.

Die Ortungsgenauigkeiten und die geringe Zahl der Ortungsausfälle sind insgesamt als zufriedenstellend zu bewerten. Großes Verbesserungspotenzial besteht jedoch bei Fahrten mit der Bahn und insbesondere der U-Bahn. Mögliche Maßnahmen zur Kompensation sind der Einsatz leistungsfähiger Map-Matching-Technologien, u. a. auch unter Einbindung von Fahrplandaten.

Probleme mit der Akkulaufzeit traten nur vereinzelt auf. Grundsätzlich ist von einer weiteren Verbesserung der Performance der Geräte auszugehen. Eine Optimierung des Smartphone-Erhebungstools hinsichtlich der Tracking-Rate ist anzustreben. So könnte das Gerät in den „Schlafmodus" wechseln, wenn sich die Person nicht bewegt.

Viele Projekte, die sich einer automatisierten Erhebung von Mobilitätsdaten mit Smartphones widmen, sind derzeit in der Entwicklungs- und Testphase (z. B. der Future Urban Mobility Survey 2012 in Singapur, siehe Cottrill et al. 2013). Derzeit fehlen jedoch im Gegensatz zu den weltweit erfolgreich realisierten GPS-Studien umfangreiche Erfahrungen aus Pilottests mit größeren Stichproben. Insbesondere Fragestellungen der Repräsentativität und Skalierbarkeit des Erhebungssystems gilt es hierbei noch zu beantworten.

Literatur

Bellemans T, Kochan B, Janssens D, Wets G, Timmermans H (2008) In the field evaluation of the impact of a GPS-enabled personal digital assistant on activity-travel diary data quality. In: Proceedings of the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.

Chen Q, Fan Y (2012) Smartphone-Based Travel Experience Sampling and Behavior Intervention. TRB Annual Meeting, January 2012

Cottrill C D, Pereira F C, Zhao F, Dias I F, Lim H B, Ben-Akiva M E, Zegras P C (2013) The future Mobility Survey: Experiences in developing a smartphone-based travel survey in Singapore, Singapore, TRB Annual Meeting, January 2013

Ericsson Labs (o. J.) Mobile location, http://labs.ericsson.com/apis/mobile-location, Zugriff August 2012

infas, DIW (2004) Mobilität in Deutschland 2002 – Basisdatensatz; im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (FE-Nr. 70.0736/2003); Bonn und Berlin 2004 <www.mobilitaet-in-deutschland.de>; Datenbezug: http://www.clearingstelle-verkehr.de

infas, DLR (2010) Mobilität in Deutschland 2008 – Basisdatensatz; im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (FE-Nr. 70.801/2006); Bonn und Berlin 2010 <www.mobilitaet-in-deutschland.de>; Datenbezug: http://www.clearingstelle-verkehr.de

KIT (2013) Deutsches Mobilitätspanel (MOP) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (FE-Nr. 70.0864/2011); Karlsruhe 2013 <www.mobilitaetspanel.de>

MiD 2008 (2010) FAQ – Häufig gestellte Fragen. Kapitel 19. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/09_faq/faq.htm#Kapitel19. Zugegriffen: 14. August 2013OpenCellID (o. J.) http://www.opencellid.org, Zugriff Februar 2013

Patterson D, Liao L, Fox D and Kautz H (2003) Inferring High- Level Behavior from Low-Level Sensors, ACM UBICOMP, Seattle, USA

Reddy S, Mun M, Burke J., Estrin D, Hansen M, Srivastava M (2010) Using mobile phones to determine transportation modes, in: ACM Trans. Sensor Netw. 6, 2, Article 13, USA

Singapore-MIT Alliance for Research and Technology (2012) Future Mobility Survey 2012, Singapur, https://fmsurvey.sg, Zugriff Juli 2013

Thiagarajan A, Biagioni J, Gerlich T, Eriksson J (2010) Cooperative transit tracking using smartphones, in: Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '10), USA

Wermuth M, Garben M, Janecke J, Wirth R (2001) TTS TeleTravel System. Telematiksystem zurautomatischen Erfassung des Verkehrsverhaltens. Schlussbericht; Förderkennzeichen 19 M9807A 0, gefördert im Rahmen der Mobilitätsforschungsinitiative im Zielfeld „Mobilität und Verkehrbesser verstehen" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Braunschweig

Wolf J, Lee W (2008) Synthesis Of And Statistics For Recent Gps-Enhanced Travel Surveys International Conference on survey methods In Transport: Harmonisation And Data Comparability