

Routennetze für mobile Fußgänger-Navigationsanwendungen: ein neuer Ansatz für die Optimierung auf Basis von quantitativen Bewegungsdaten

Alexandra MILLONIG

(DI Alexandra Millonig, arsenal research, Human Centered Mobility Technologies, Giefingsstraße 2, 1210 Wien, alexandra.millonig@arsenal.ac.at)

1 KURZFASSUNG

Da sich das Navigations- und Routenwahlverhalten von Fußgängern aufgrund einer Vielzahl relevanter Einflussfaktoren als sehr komplex darstellt, ist die Erstellung optimaler Routen eine der wesentlichen Herausforderungen für die derzeit in Entwicklung befindlichen Fußgänger-Navigationssysteme. Während bestimmte Personen möglichst bequeme Wege bevorzugen, legen andere mehr Wert auf Sicherheit. Daraus ergeben sich ungleich gewichtete Qualitäten von Routen (z.B. Komfort, Sicherheit, Attraktivität), die von unterschiedlichen Fußgängergruppen favorisiert werden. Derzeit existieren erst einige wenige Ansätze einer Kategorisierung des Bewegungsverhaltens im Hinblick auf gruppenspezifische Präferenzen für bestimmte Routenqualitäten. Der Fortschritt auf dem Gebiet der automatisierten Verfolgung von Verkehrsströmen eröffnet eine Möglichkeit, das Bewegungsverhalten direkt zu erfassen und zu analysieren. Der vorliegende Beitrag stellt einen innovativen Ansatz vor, mit Hilfe der Gewinnung quantitativer Bewegungsdaten das Routenwahlverhalten von Fußgängern zu analysieren und erlaubt so die Definition typspezifischer Routenqualitäten in Ergänzung zu qualitativen Methoden der Verhaltenskategorisierung. Künftigen mobilen Navigationssystemen eröffnet sich auf Basis dieser Grundlage die Chance, dem jeweiligen Nutzer zur Erreichung einer bestimmten Destination eine seinen speziellen Präferenzen und den gegebenen Rahmenbedingungen entsprechende optimale Route anzubieten. Dies wiederum kann eine entsprechende Erhöhung des Komforts und damit eine Aufwertung des Fußgängerverkehrs bewirken. Die Untersuchung wird im Rahmen eines Forschungsprojekts durchgeführt, das die Entwicklung eines ubiquitären Navigationssystems für Fußgänger zum Ziel hat.

2 EINLEITUNG

Steigende Verkehrszahlen, immer häufiger auftretende Verkehrsbehinderungen und die Forderung nach einer Erhöhung der Verkehrssicherheit haben in den vergangenen Jahren zur Entwicklung von Verkehrstelematiksystemen geführt, welche eine Steigerung der Effizienz der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur versprechen. Ein zentraler Aspekt der Telematik sind Lokalisierungstechnologien und Navigationssysteme. Erst in jüngerer Vergangenheit wurde damit begonnen, diese Technologien auch für Fußgänger nutzbar zu machen. Doch während fahrzeuggebundene Systeme bereits gute Ergebnisse bei der Bereitstellung einer „kürzesten“ oder „schnellsten“ Route zu einem gewünschten Ort erzielen, stehen Fußgängernavigationssysteme noch am Beginn ihrer Entwicklung. Forschungsbedarf besteht unter anderem vor allem im Bereich technischer Einschränkungen wie unzureichende Lokalisierungsgenauigkeit oder ungenügende Datengrundlagen (z.B. fehlende Informationen über Landmarken). Da Fußgänger oft andere Wege als die kürzeste Verbindung zu einem bestimmten Ziel wählen, besteht auch Forschungsbedarf im Bereich der Erstellung relevanter Routennetze.

Bei der Entwicklung von Fußgängernavigationssystemen muss daher vor allem bei der Generierung von Routennetzen der Einfluss zahlreicher Parameter, die das Routenwahlverhalten bestimmen, berücksichtigt werden. Die Beobachtung des Bewegungsverhaltens liefert dabei notwendige Erkenntnisse, um Rückschlüsse auf gruppenspezifische Routenwahlpräferenzen und individuelle Einflussfaktoren treffen zu können. Der hier vorgestellte Ansatz beinhaltet erstmals die Kombination von qualitativen und quantitativen Untersuchungsmethoden, die eine Definition typspezifischer Routenqualitäten ermöglichen. Dies eröffnet die Chance, in künftigen Navigationssystemen gezielt auf die Bedürfnisse der Nutzer einzugehen, und eine ihren spezifischen Präferenzen und den gegebenen Rahmenbedingungen entsprechende optimale Route vorzuschlagen. Die Untersuchung ist Teil eines Forschungsprojektes, dessen Ziel in der Exploration von Möglichkeiten zur Vermittlung von standortbasierten Informationen und Navigationshilfen über ein ubiquitäres Netzwerk liegt, wodurch die eine Verbesserung der Wegfindung in so genannten „smart environments“ ermöglicht wird. Die Effizienz und der Komfort eines ubiquitären Navigationssystems lassen sich dabei vor allem durch die Möglichkeit steigern, dass das System vom Navigationsverhalten des Benutzers lernen und sich daher an die individuellen Bedürfnisse, Ansprüche und Gewohnheiten des Nutzers anpassen kann. Um eine rasche Adaption an die individuellen Präferenzen gewährleisten zu können, müssen grundlegende Mobilitätsstile identifiziert werden. Die vorliegende Untersuchung setzt sich zum Ziel, ein Modell solcher typbedingter Fußgänger-Mobilitätsstile zu formulieren.

Der Rest dieser Arbeit ist folgendermaßen organisiert: Abschnitt 2 beschreibt die Problemstellung und den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet des Routenwahlverhaltens von Fußgängern und bei der Untersuchung des Raumverhaltens. Abschnitt 3 erläutert die Methode des hier vorgestellten Ansatzes und beschreibt die Erstellung eines Modells typbedingter Mobilitätsstile. Abschließend erfolgt in Abschnitt 4 eine kurze Zusammenfassung und zukünftig erforderliche Forschungsschwerpunkte.

3 PROBLEM UND AKTUELLER STAND DER FORSCHUNG

Gegenwärtig orientiert man sich bei der Entwicklung von mobilen Fußgängernavigationssystemen in der Regel vor allem an Konzepten von Fahrzeugnavigationssystemen. Fußgänger stellen allerdings die weitaus empfindlichste Gruppe von Verkehrsteilnehmern dar, welche entsprechend sensibel auf individuell als ungünstig empfundene Bedingungen reagiert. Daher wird in vielen Fällen von Fußgängern der kürzeste Weg zu einem bestimmten Ziel als nicht optimal bewertet.¹

3.1 Einflussfaktoren auf das Routenwahlverhalten

Untersuchungsergebnissen in [Wiener et al. 2004] zufolge werden weniger komplexe Routen jenen Wegen vorgezogen, welche zwar eine kürzere Distanz aufweisen, aber eine größere Anzahl von Entscheidungspunkten beinhalten („least-decision-load“-Strategie). Abb. 1 illustriert ein Beispiel für die Neigung von Fußgängern, die Komplexität einer Route zu einem Ziel zu minimieren: An Stelle

¹unter der Voraussetzung, dass kein zu großer Zeitdruck empfunden wird.

des kürzesten Weges (rote Route, rechts) wird eine Verbindung mit weniger möglichen Richtungsentscheidungen (grüne Route, links) gewählt, selbst wenn dadurch eine längere Distanz zurückgelegt werden muss.

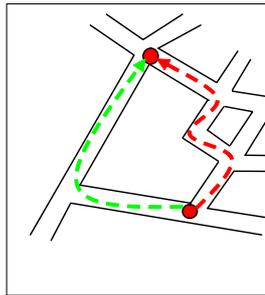


Abb. 1: Least decision Load Strategie von Fußgängern

Auch innerhalb von Gebäuden werden oft unterschiedliche Wege gewählt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Die Resultate einer Befragung [Millonig 2005] an einem großen Bahnhof haben etwa ergeben, dass mehrere unterschiedliche Verbindungen zwischen einem Punkt auf der oberen Bahnsteigebene und einem Punkt auf der U-Bahnebene beschrieben werden, die drei Ebenen darunter liegt. Die Präferenz für bestimmte Routen hängt dabei von mehreren Faktoren ab (Länge der Distanz; Bequemlichkeit: Rolltreppe oder Treppe; Vertrautheit mit der Umgebung; Witterung: komplexerer aber innen gelegener Weg oder weniger komplexer Weg durch den Außenraum). Abb. 2 zeigt die Häufigkeit der bei der Befragung angegebenen Routenanweisungen. Die durchgezogene graue Linie zeigt die am meisten genannte Route, die anderen drei Wege wurden weniger häufig beschrieben.

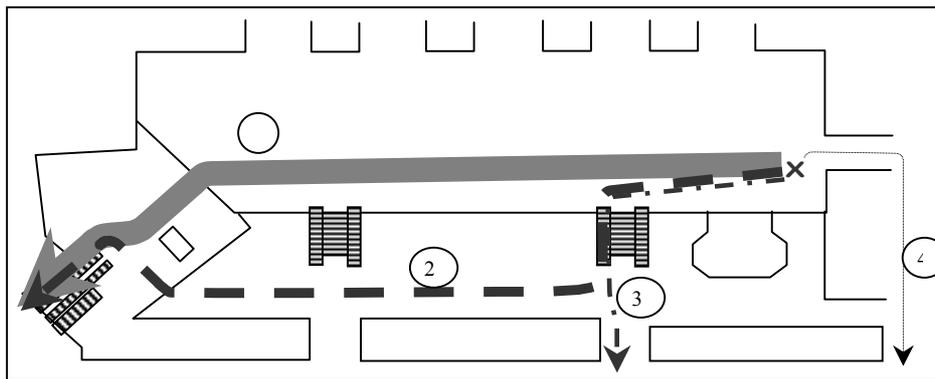


Abb. 2: Häufigkeit der genannten Routen zwischen oberer Bahnsteigebene und drei Ebenen tiefer gelegener U-Bahnebene (siehe Text).

Studienergebnissen in [Thomas 2003]. zufolge verzichten Menschen oft darauf, den „kürzesten“ Weg zu wählen und bevorzugen statt dessen den „schönsten“, den „bequemsten“ oder auch den „sichersten“ Weg. Sicherheit ist eine besonders wichtige Qualität, vor allem wenn unbekannte Umgebungen bei Dunkelheit durchquert werden müssen oder eine Route durch ein Gebiet mit zweifelhaftem Ruf führt. Die Bereitschaft, einen längeren Umweg in Kauf zu nehmen, ist dabei einerseits von der individuellen Ängstlichkeit der betreffenden Person als auch von der Erscheinung der Umgebung abhängig. Weitere Studien liefern Erkenntnisse darüber, inwieweit Fußgänger bestimmte Strecken aufgrund ihrer Umweltqualitäten wie relative Ruhe oder Begrünung bevorzugen [Blivice 1974]. Generell lassen sich die Faktoren, welche das Routenwahlverhalten bestimmen, in vier sich zum Teil gegenseitig beeinflussende Kategorien unterteilen: zunächst wird das Verhalten durch physische, psychologische und mentale Routenqualitäten [Millonig und Schechtner 2005] beeinflusst. Physische Routenqualitäten umfassen Einflussgrößen, die den physischen Aufwand für die Bewältigung eines bestimmten Weges betreffen (Entfernung, Steigung, Level of Service, Schutz vor Umwelteinflüssen). Psychologische Routenqualitäten beinhalten die Struktur und das Erscheinungsbild einer Umgebung, welche wesentlichen Einfluss darauf haben, wie „wohl“ sich ein Fußgänger bei der Durchquerung dieser Umgebung fühlt (Attraktivität der Umgebung, Verfügbarkeit bestimmter Einrichtungen, Sicherheit). Mentale Routenqualitäten wiederum betreffen den mentalen Aufwand, der für die Erreichung des gewünschten Ziels erforderlich ist. Sie umfassen einerseits die Komplexität und die Anzahl der vorhandenen möglichen Entscheidungspunkte einer Route. Da Landmarken eine wesentliche Rolle bei der menschlichen Orientierung spielen [Michon und Denis 2001, Tom und Denis 2003], beinhalten mentale Routenqualitäten auch die Verfügbarkeit verlässlicher und auffälliger Landmarken entlang des Weges. Raumbezogenes Handeln, also die Art und Weise, in der der Raum angeeignet und genutzt wird, symbolisiert aber auch die gesellschaftliche Positionierung eines Individuums [Löw 2001]. Der Lebensstil eines Menschen drückt seine Wertvorstellungen und Einstellungen aus und bestimmt auch in wesentlichem Maße, wie und wo sich eine Person durch den Raum bewegt. Daher ist bei der Untersuchung des Routenwahlverhaltens von Fußgängern auch zu berücksichtigen, inwieweit spezifische Lebensstile die Wahl eines bestimmten Weges beeinflussen. Die Einflussfaktoren auf Raumverhalten und Routenwahl werden in Abb. 3 dargestellt.

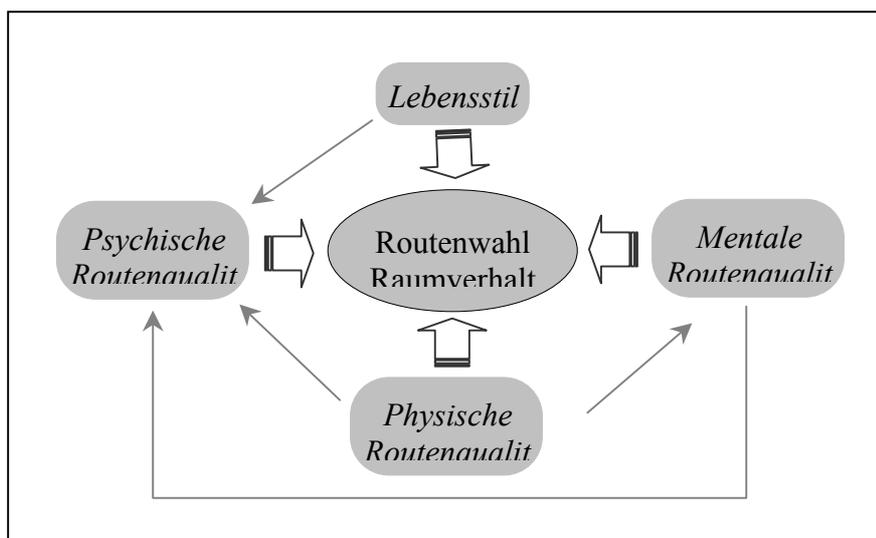


Abb. 3: Hauptinflussfaktoren auf das menschliche Routenwahlverhalten.

3.2 Stand der Forschung bei der Untersuchung des Raumverhaltens

Aufgrund der großen Zahl relevanter Einflussfaktoren auf das menschliche Routenwahlverhalten beschränken sich Forschungen meist auf die Untersuchung und Beschreibung einiger weniger spezifischer Faktoren bei der Analyse des Routenwahlverhaltens und Orientierungsverhaltens von Fußgängern. So werden beispielsweise nur bestimmte Personengruppen betrachtet (z.B. Alterskohorten) [Ahrend 2002], oder es wird das Bewegungsverhalten in einer bestimmten räumlichen Umgebung beobachtet [Yan und Forsyth 2005], oder die Studie konzentriert sich auf das Verhalten in bestimmten Situationen (z.B. in der Freizeit) [Götz et al. 2002].

Hinsichtlich der Methoden werden bei der Erforschung des Orientierungs- und Routenwahlverhaltens vorwiegend qualitative Verfahren wie Beobachtung oder Befragung eingesetzt [Ovstedal und Olaussen Ryeng 2002, Götz und Birzle-Harder 2005, Götz et al. 2003]. Diese Methoden haben allerdings einige Nachteile: Bei der Beobachtung und Skizzierung der Wege einzelner Personen ist aufgrund des hohen Aufwands nur die Betrachtung einer kleinen Stichprobe möglich. Befragungen liefern zwar wichtige Erkenntnisse über Motive und Präferenzen bei der Routenwahl, aber die Validität der Antworten ist nicht gesichert, da Menschen sich zum einen über ihre eigenen Beweggründe nicht immer bewusst sind, und zum anderen je nach Art der Fragestellung antwortverzerrende Effekte auftreten können [Esser 1985].

Um das Verhalten größerer Stichproben zu untersuchen, können quantitative empirische Daten erfasst werden. Die Wege der Personen können dabei mittels automatischer Videoauswertung oder mit satellitengestützten bzw. terrestrischen Lokalisierungstechnologien aufgezeichnet und analysiert werden. Oft werden dabei lediglich Laborexperimente durchgeführt, weil dadurch die Rahmenbedingungen möglichst konstant gehalten werden können [z.B. Daamen und Hoogendorn 2003]. Allerdings bewirkt das künstliche Design der Untersuchung wiederum Verhaltensänderungen der Probanden. Bei der Beobachtung und Analyse von Daten, die in realen, natürlichen Umgebungen erhoben werden, sind solche verzerrenden Effekte nicht vorhanden. Allerdings gibt die reine Beobachtung der Menschen keine Aufschlüsse darüber, welche individuellen Präferenzen, Verhaltensmuster oder Einstellungen zu der Wahl einer bestimmten Route geführt haben [z.B. Shoval und Isaacson 2005].

Die Untersuchung des Routenwahlverhaltens bei Fußgängern gestaltet sich also aufgrund der Komplexität der Einflussfaktoren und der bislang fehlenden Kombination qualitativer und quantitativer Untersuchungsmethoden sehr schwierig. Um das Routenwahlverhalten zu beschreiben, ist es daher nicht ratsam, auf sämtliche oder möglichst viele Einflussfaktoren einzeln einzugehen, sondern das Verhalten zu beobachten und Bewegungsmuster zu klassifizieren. Eine Typologie des Fußgängerverhaltens bei Routenentscheidungen kann Unterschiede im Bewegungsverhalten der Menschen erklären und Hinweise darauf liefern, für welche Personengruppen welche räumlichen Informationen relevant sind. Zur Erstellung einer solchen Typologie ist es zweckmäßig, sowohl qualitative als auch quantitative Methoden einzusetzen, um einerseits den Einfluss von Lebensstil, bestimmten Einstellungen und Präferenzen auf das Routenwahlverhalten untersuchen zu können, und andererseits eine hinreichend große Gruppe von Menschen in verschiedenen Situationen beobachten zu können.

4 ERSTELLUNG EINES MODELLS TYPBEDINGTER MOBILITÄTSSTILE

Der vorliegende Ansatz versucht das Routenwahlverhalten von Fußgängern nicht durch die Untersuchung einzelner Einflußfaktoren zu erklären, sondern geht von der Hypothese aus, dass individuelle Bewegungsmuster und Routenwahlentscheidungen spezifischen Fußgängertypen zugeordnet werden können. Diese Typen werden wiederum zu einem wesentlichen Teil von den dem Verhalten zugrundeliegenden Lebensstilen der Menschen beeinflusst. Lebensstile, Motive und Präferenzen werden mit Hilfe qualitativer Untersuchungsmethoden erhoben, um eine vorläufige Typologie der Mobilitätsstile von Fußgängern zu erstellen. Die Homogenität des Bewegungsverhaltens innerhalb jedes Typus wird mittels quantitativen empirischen Daten, welche mit Hilfe von GPS und Bluetooth gewonnen werden, überprüft. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über die erforderlichen Schritte zur Erstellung eines Modells typbedingter Fußgänger-Mobilitätsstile.

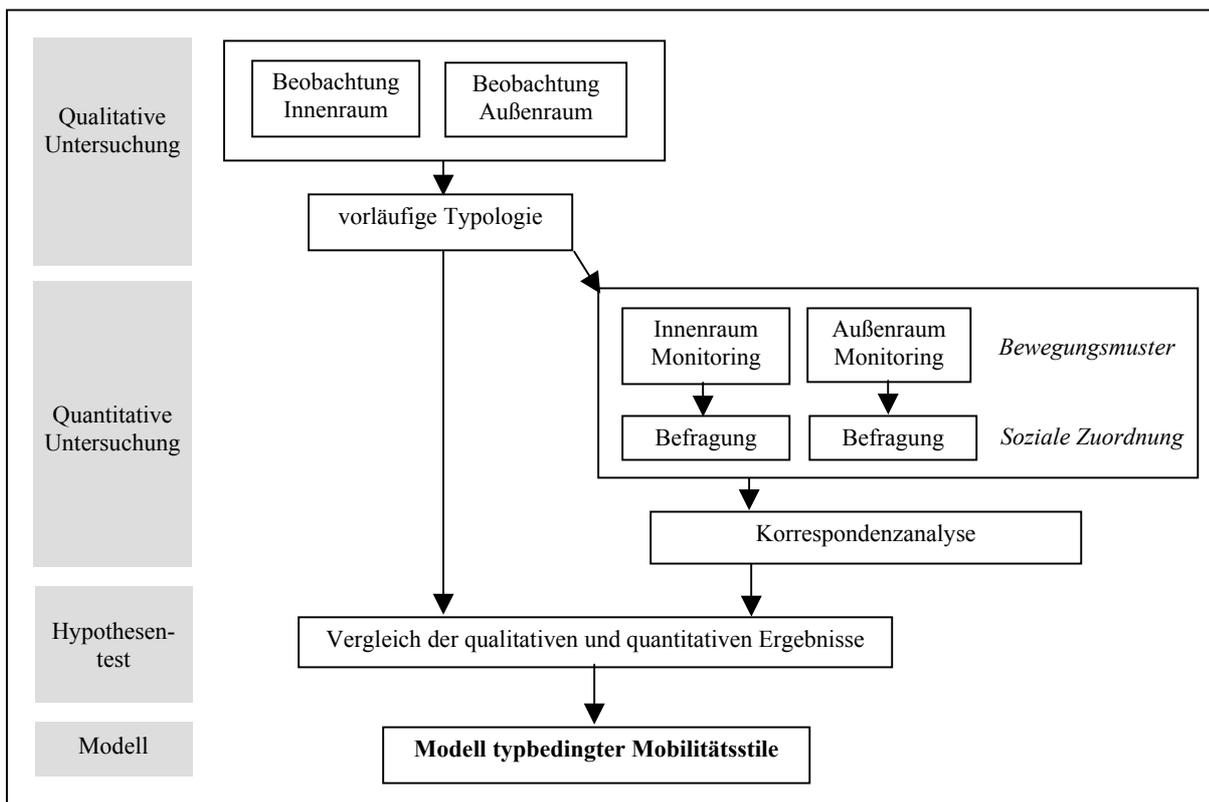


Abb. 4: Untersuchungsschritte zur Erstellung eines Modells typbedingter Fußgänger-Mobilitätsstile

4.1 Untersuchungsmethode

Zur Erstellung vorläufiger Grundtypen hinsichtlich des Orientierungs- und Routenwahlverhaltens werden zunächst Erkenntnisse aus Untersuchungen der wissenschaftlichen Community, welche Klassifizierungsansätze des Bewegungsverhaltens behandeln, analysiert. Anschließend werden durch klassische Feldbeobachtungen (Verfolgen von Fußgängern und Aufzeichnung der Wege durch Versuchsleiter, Stopps und Gehgeschwindigkeiten) grundlegende Typen definiert (z.B. „zielstrebigere Typ“, „bummelnder Typ“ oder ähnliches). Dabei werden Menschen mit verschiedenen soziostrukturellen (Geschlecht, Altersklasse) Eigenschaften beobachtet, gleichzeitig werden Beobachtungen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich Umgebung (innen-außen), Tageszeit und Witterung durchgeführt.

Bei der anschließenden Erhebung quantitativer empirischer Daten wird das Bewegungsverhalten der Fußgänger in zwei Einkaufsumgebungen (Einkaufszentrum und Einkaufsstraße) aufgezeichnet. Im Innenbereich werden auf Bluetooth basierende Lokalisierungsmethoden angewandt [Pels et al. 2005], im Außenbereich werden die Routen mit Hilfe von GPS verfolgt [Ashbrook und Starner 2003]. Ein Beispiel für die Aufzeichnung von Routen mittels GPS wird in Abbildung 5 dargestellt.

Ebenso wie in der vorangegangenen qualitativen Untersuchungsphase werden auch hier die Beobachtungen unter unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt (Tageszeit, Witterung, Wochentag, etc.). Die Personen, die sich zur Teilnahme bereit erklären, werden ersucht, ihre Wege wie geplant zu verfolgen. Im Anschluss an das automatische Verfolgen werden sie einer Befragung unterzogen, bei der neben soziostrukturellen Daten grundlegende Einstellungen, der Lebensstil, individuelle Präferenzen und aktueller Zweck des Weges erhoben werden. Nach der Erhebung der Daten von zumindest 100 Personen in jedem der beiden Untersuchungsfelder werden die Ergebnisse hinsichtlich der zuvor aufgestellten vorläufigen Typologie analysiert. Dabei werden Wegelinien, Geschwindigkeiten, Pausen etc. betrachtet

6 LITERATUR

- AHREND, C.: Mobilitätsstrategien zehnjähriger Jungen und Mädchen als Grundlage städtischer Verkehrsplanung. Internationale Hochschulschriften Bd. 381. Waxmann, Münster/New York/ München/Berlin, 2002
- ASHBROOK, D. und STARNER, T.: Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users. *Personal and Ubiquitous Computing*, Volume 7 (5), pp. 275-286, 2003
- BLIVICE, S.: Pedestrian route choice: a study of walking to work in Munich. Ph.D. Diss. University of Michigan, 1974, zitiert von Hill, M.R.: Walking, crossing streets, and choosing pedestrian routes. Lincoln, NE: University of Lincoln, 1984
- DAAMEN, W. und HOOGENDOORN, S.P.: Experimental research of pedestrian walking behaviour. *Transportation Research Record* 1828, pp. 20-30, 2003
- ESSER, H.: Befragtenverhalten als "rationales Handeln" – Zur Erklärung von Antwortverzerrungen in Interviews. ZUMA-Arbeitsbericht 85/01, GESIS – Gesellschaft Sozialwissenschaftlicher Infrastruktureinrichtungen, 1985
- GÖTZ, K. und BIRZLE-HARDER, B.: Travel and Holiday Styles – Target Groups for Sustainable Tourism; Results of a socio-empirical survey by the Institute for Social-Ecological Research (ISOE) within the INVENT project, 2005 http://www.invent-tourismus.de/_daten/texte/5%20ISOE%20Goetz.pdf (last access November 2005)
- GÖTZ, K., LOOSE, W., SCHMIED, M. und SCHUBERT, S.: Mobility Styles in Leisure Time. Conference paper, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, 10.-15. Aug. 2003, Lucerne, 2003
- LÖW, M.: Raumsociologie. Frankfurt am Main, 2001
- MICHON, P.-E. und DENIS, M.: When and Why Are Visual Landmarks Used in Giving Directions? *Spatial Information Theory*, Proc. International Conference COSIT 2001, Heidelberg: Springer, 2001, pp. 292-305, 2001
- MILLONIG, A.: Orientierung am Westbahnhof - Untersuchung des Informations- und Leitsystems sowie des Orientierungsverhaltens der Passanten am Wiener Westbahnhof. Untersuchungsbericht, 2005
- MILLONIG, A. und SCHECHTNER, K.: Decision Loads and Route Qualities for Pedestrians – Key Requirements for the Design of Pedestrian Navigation Services. 3rd International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, 28.-30. September 2005, Vienna, Austria, 2005
- OVSTEDAL, L. und OLAUSSEN RYENG, E.: Who Is The Most Pleased Pedestrian? WALK21 3rd International Conference, Steps forward liveable cities, 8.-11. May 2002, Donastia – San Sebastian, 2002
- PELS, M., BARHORST, J., MICHELS, M., HOBBO, R. und BARENDSE, J.: Tracking people using Bluetooth – Implications of enabling Bluetooth discoverable mode. Final report, University of Amsterdam, 2005
- RAY, M.: Mobile GPS-Datenerfassung in urbanen Gebieten. Diplomarbeit ausgeführt am Technikum Wien, 2005
- SHOVAL, N. und ISAACSON, M.: The Application of Tracking Technologies to the Study of Pedestrian Spatial Behaviour. Accepted for publication in *The Professional Geographer*, 2005
- THOMAS, C.: Zu Fuss einkaufen. Projektendbericht, http://www.fussverkehr.ch/presse/zufuss_schlussbericht.pdf (letzter Zugriff November 2005), 2003
- TOM, A. und DENIS M.: Referring to Landmark or Street Information in Route Directions: What Difference Does It Make? Kuhn, W., Worboys, M. und Timpf, S. (Eds.): *Spatial Information Theory. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2825, Heidelberg: Springer, 2003, pp. 384-397, 2003
- WIENER, J.M., SCHNEE, A. and MALLOT, H.A.: Navigation Strategies in Regionalized Environments. Technical Report TR-121, Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Universität Tübingen, 2004
- YAN, W. und FORSYTH, D.A.: Learning the Behavior of Users in a Public Space through Video Tracking. 7th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision / IEEE Workshop on Motion and Video Computing (WACV/MOTION 2005), 5-7 January 2005, Breckenridge, CO, USA, 2005