

---

# **GIS-gestützte Navigation blinder und sehbehinderter Personen**

Manfred WIESER, Bernhard MAYERHOFER, Bettina PRESSL,  
Bernhard HOFMANN-WELLENHOF und Klaus LEGAT

## **Zusammenfassung**

Das Gesamtkonzept eines Navigationssystems wird auf die Bedürfnisse blinder und sehbehinderter Personen – im Speziellen geht es um blinde Fußgänger im städtischen Bereich außerhalb von Gebäuden – abgestimmt. Im Rahmen eines nationalen Forschungsprojekts wird ein Prototyp entwickelt, welcher sämtliche Komponenten eines Navigationssystems abdecken soll: Routenplanung zur Generierung einer Manöverliste, Positionsbestimmung inkl. Trajektorienanpassung an einen Modellweg und Zielführung auf der Basis geeigneter Instruktionen. Sämtliche Module des Systems werden maßgeblich von einer Modellierung des Umfeldes, in dem sich der Blinde bewegt, getragen. In der vorliegenden Arbeit werden die Aspekte der Stützung der einzelnen Navigationskomponenten durch ein digitales Wegebnetz besonders hervorgehoben.

## **1 Einleitung**

Das am Institut für Navigation und Satellitengeodäsie (INAS) der TU Graz zwischen Mai 2005 und Juni 2006 durchgeführte Forschungsprojekt, welches sich mit der Navigation blinder Personen beschäftigt, trägt den Namen PONTES (Positionierung und Navigation sehbehinderter Personen in städtischen Umgebungen). Dieses lateinische Wort bedeutet übersetzt „Brücken“ und soll die soziale Relevanz des Projekts unterstreichen und den Nutzen technischer Entwicklungen für behinderte Personen aufzeigen. PONTES ist eingebettet in das nationale Forschungs- und Entwicklungsprogramm ARTIST (Austrian Radionavigation Technology and Integrated Satnav Services and Products Testbed) und wird gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), vertreten durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft m.b.H. (FFG).

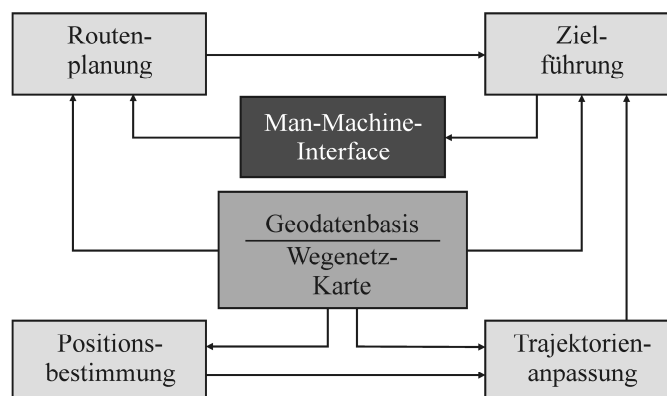
Von Beginn an werden potentielle Nutzer des Systems, d.h. blinde und sehbehinderte Personen, in die Entwicklung des Prototyps eingebunden. Dieser Umstand zeigt sich in einer engen Kooperation mit dem Steiermärkischen Blinden- und Sehbehindertenverband. Blinde Personen definieren in der Konzeptionsphase ihre Anforderungen an das System und werden auch in der Evaluierungsphase zum Testen des Prototyps und seiner Komponenten herangezogen. Dem Entwicklungsteam geht es dabei zum einen um eine Machbarkeitsanalyse – im ersten Ansatz um eine technische, eher als um eine kommerzielle – und zum anderen um eine Akzeptanzstudie. In Diskussionen und Interviews mit potentiellen Nutzern wird klar, dass ein Interesse an Navigationssystemen seitens blinder Personen gegeben ist und der Bedarf zu existieren scheint. Andererseits ist die Erwartungshaltung entsprechend groß,

geht es doch um ein Mehr an Mobilität, Unabhängigkeit und vor allem Sicherheit. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass das zu entwickelnde System herkömmliche Orientierungshilfen, wie den Blindenstock, ergänzen und nicht ersetzen soll und nur mittel- bis langfristig an die Stelle eines Blindenhundes bzw. Mobilitätstrainers treten kann.

Die technische Umsetzung des Vorhabens beruht auf bestehenden Hardwarekomponenten, wie einem Positionierungsmodul, einer Rechereinheit und einem Man-Machine-Interface, setzt jedoch auf eigens entwickelte Software zur Routenplanung, Lagebestimmung und Zielführung. Was die Positionsbestimmung betrifft, wird auf ein von der Schweizer Firma Vectronix AG entwickeltes Modul zurückgegriffen.

## 2 Das Navigationssystem – ein Gesamtkonzept

Das mobile System ist in sich geschlossen, das heißt, abgesehen von externen Signalen zum Zweck der Positionsbestimmung (z.B. bei Verwendung von GPS) ist es autonom bzw. unabhängig von einem Server. Im Prinzip entspricht die Systemarchitektur jener eines Fahrzeugnavigationssystems, allerdings zugeschnitten auf die Bedürfnisse und Anforderungen blinder Fußgänger: vier Komponenten (Routenplanung, Positionierung, Trajektorienanpassung und Zielführung) gruppieren sich um die zentrale Geodatenbasis (digitale Wegenetz-karte) und das Man-Machine-Interface, vgl. Abb. 1.



**Abb. 1:** Komponenten des Gesamtsystems und deren Wechselbeziehungen untereinander.

Jede der in Abb. 1 dargestellten Komponenten wird nachfolgend durch eine kurze Beschreibung charakterisiert (WIESER et al. 2005):

- Die Geodatenbasis repräsentiert ein digitales Wegenetz und ist das Resultat der Modellierung jenes Bereiches bzw. Umfeldes, in dem navigiert wird. Im Kapitel 4 wird im Einzelnen die Bedeutung der Wegenetzkarte für die Routenplanung, Positionsbestimmung, Trajektorienanpassung und Zielführung diskutiert.

- Die Routenplanung generiert einen optimalen Weg von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt und erstellt für den so erhaltenen Modellweg eine Manöverliste.
- Die Positionsbestimmung dient der Feststellung der aktuellen Position des blinden Fußgängers durch Angabe von absoluten Koordinaten in einem zwei- bzw. dreidimensionalen Koordinatensystem.
- Die Trajektorienanpassung ermöglicht eine Transformation der Positionen in Lageinformationen relativ zu Objekten der digitalen Karte. Damit werden eine Anpassung der gesamten Trajektorie an den Modellweg und eine Verfolgung der momentanen Position entlang der Route erreicht.
- Die Zielführung auf Grundlage der Manöverliste einerseits und der Routenverfolgung andererseits ist u.a. für die Generierung von Informationen entlang der Route verantwortlich.
- Das Man-Machine-Interface dient dem Systemnutzer sowohl als Eingabemöglichkeit (z.B. zur Festlegung von Start- und Zielknoten) sowie als Ausgabeinheit (z.B. zur Übermittlung von Hinweisen und Instruktionen).

### 3 Die digitale Wegenetzkarte

Eine GIS-basierte Karte, welche von blinden Personen als Orientierungs- und Navigationshilfe eingesetzt werden kann, ist die digitale Antwort auf haptische Karten; das sind in der Regel tastbare Reliefdarstellungen der betreffenden Umgebung. Eine digitale Karte, die zum Zweck der Navigation verwendet wird, muss per definitionem Routenplanung, Positionsbestimmung, Trajektorienanpassung und Zielführung aktiv unterstützen; im Detail wird auf diesen Umstand im Kapitel 4 eingegangen. Eine sorgfältige Modellierung der Umgebung und ihrer Infrastruktur spielt eine Schlüsselrolle für die Zuverlässigkeit des Navigationssystems als Ganzes. Blinde und sehbehinderte Personen müssen sich auf die GIS-basierten Zielführungsinstruktionen vollkommen verlassen können, zumal sie Fehlinformationen des Systems mangels Sehkraft nicht durch visuelle Wahrnehmung der Umgebung kompensieren können. Die Forderung nach einer metrisch genauen, topologisch konsistenten und thematisch richtigen, aktuellen und vollständigen Karte muss auf höchstem Qualitätsniveau erfüllt werden.

Im Projekt PONTES werden ausgehend von einem digitalen Stadtplan oder einer digitalen Straßenkarte entsprechende Basisdaten generiert. Dies geschieht in einem GIS durch Hinzunahme von fehlenden Objekten (z.B. akustische Druckknopfampel) aber auch durch Elimination unnötiger Objekte (z.B. Bodenmarkierungen). In einem nächsten Schritt werden eine digitale Wegenetzkarte und die dazugehörige Geodatenbank erstellt, die sämtliche, geometrische (metrische und topologische) und semantische (thematische) Details enthalten (PRESSL 2005).

Dem Vektormodell des Wegenetzes liegt eine Knoten-Kanten-Struktur zugrunde, welche mathematisch durch einen Graphen, genauer gesagt durch einen bewerteten Digraphen realisiert ist. Die Punkttopologie unterscheidet zwischen (echten) Knoten (z.B. Kreuzungen

von Gehwegen), Polygonpunkten (z.B. Hindernisse) und auch isolierten Knoten (Points of interest, POIs). Daraus resultieren insgesamt vier Objektklassen: Knoten, Polygonpunkte, POIs und Kanten (Gehwegabschnitte). Abb. 2 zeigt eine Realisierung des Vektormodells an Hand eines kleinen Ausschnitts des auf blinde Fußgänger abgestimmten Wegenetzes im Bereich der TU Graz. Die Generierung beruht auf dem digitalen Stadtplan von Graz und wurde vor dem Hintergrund geeigneter Standards (z.B. Geographic Data Format, GDF) mit ArcGIS bewerkstelligt.

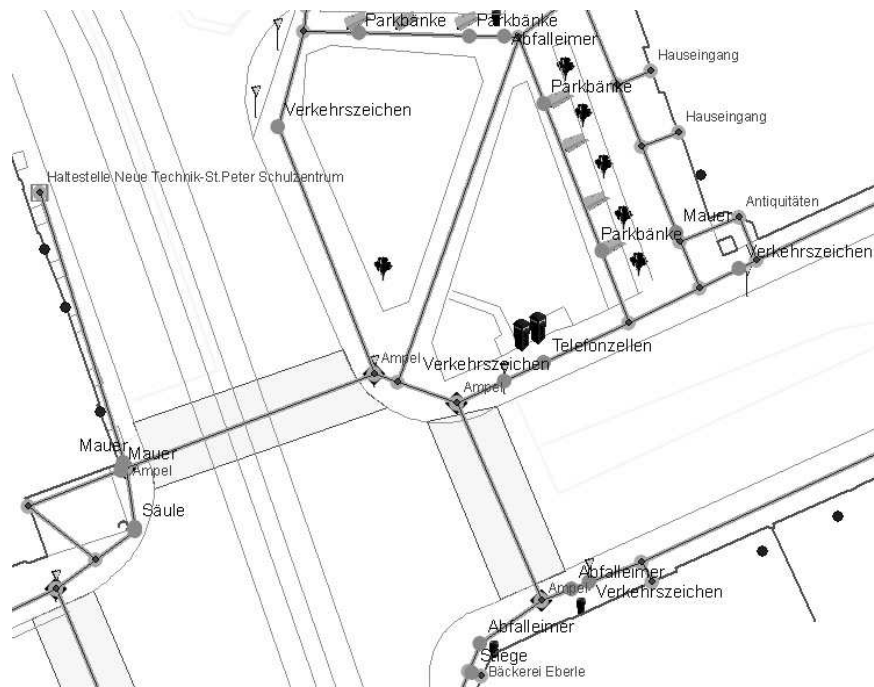


Abb. 2: Knoten-Kanten-Struktur eines Wegenetzabschnitts im Bereich des Testgebiets.

## 4 Die Navigationskomponenten

Im Folgenden werden Routenplanung, Positionsbestimmung, Trajektorienanpassung und Zielführung näher beschrieben: für jede dieser Komponenten wird die Funktionalität definiert und es wird erörtert, welche Rolle die digitale Wegenetzkarte spielt.

### 4.1 Routenplanung

Die Planung einer optimalen Route von einem Start- zu einem Zielpunkt innerhalb des Wegenetzes entspricht der Suche nach dem kürzesten Weg zwischen den entsprechenden Knoten im Wegenetzgraphen. Mit „optimal“ bzw. „kürzest“ ist allerdings nicht notwendigerweise die geometrisch kürzeste oder etwa schnellste Verbindung gemeint, sondern es geht im Fall der Blindennavigation vielmehr um den sichersten Weg zwischen zwei Punkten.

Mathematisch betrachtet handelt es sich um eine Wegesuche in einem gerichteten und bewerteten Graphen. Mit „gerichtet“ ist gemeint, dass jede Kante durch zwei orientierte Bögen ersetzt wird, „bewertet“ bedeutet, dass mittels Kostenfunktion jedem Bogen eine Bewertungsziffer zugewiesen wird. Durch diese Evaluation des einzelnen Bogens ist es möglich, die für den Blinden mehr oder weniger mit Risiken behafteten Wegabschnitte zu definieren. Die Suche nach dem optimalen Weg zwischen zwei Punkten führt auf die Bogenfolge mit der kleinsten Summe von Bewertungsziffern. Es werden graphentheoretische Algorithmen verwendet, welche um den Startpunkt einen Suchbaum aufbauen, der den kürzesten Weg enthält, vgl. Abb. 3. Am häufigsten verwendet wird der Dijkstra-Algorithmus, welcher eine exakte Lösung liefert. Im Fall von Echtzeitapplikationen empfiehlt es sich, auf heuristische Verfahren überzugehen, um die Antwortzeiten gering zu halten. Ein hierarchisches Konzept (Suche über mehrere Ebenen hinweg) ist allerdings nicht zielführend, da dies nicht konform geht mit der sequentiellen Denkweise blinder Personen beim räumlichen Erfassen und Wahrnehmen (HOFMANN-WELLENHOF et al. 2003: Kap. 14.2).



**Abb. 3:** Suchbaum zur Ermittlung der optimalen Route vom Start „S“ zum Ziel „Z“.

*Welche konkrete Rolle spielt die digitale Wegenetzkarte bei der Routensuche?*

Durch die Topologie der digitalen Karte sind alle möglichen Verbindungen zwischen zwei Punkten definiert. Die Risikobewertung der Verbindungsbögen mittels Kostenfunktion erlaubt es, die sicherste Route zu ermitteln. Diese Evaluierung wiederum hängt sowohl von der Länge (Metrik) der Bögen als auch deren semantischer Attributierung ab.

## 4.2 Positionsbestimmung

Im Vergleich mit der konventionellen Fußgängernavigation sind die Qualitätsanforderungen an die Positionsbestimmung im Fall des blinden Fußgängers wesentlich höher: ausgehend vom Tastbereich des Blindenstockes ist eine Positionsgenauigkeit von einem Meter und darunter erforderlich; die Verfügbarkeit muss zu jeder Zeit und bei einer Integrität auf höchstem Niveau gewährleistet sein. Diese Qualitätsansprüche machen ein Konzept der integrierten Positionsbestimmung notwendig, welche auf der Fusion unterschiedlicher Sensoren und einem geeigneten Verfahren zur Schätzung der Positionskordinaten (z.B. mittels Kalman Filterung inkl. einem dynamischen Modell des Bewegungsablaufes) beruht.

In der Fußgängernavigation wird die Integration von GPS bzw. differentiellem GPS (auf der Basis von Code-Pseudoentfernungen) und Koppelnavigation bevorzugt. Letztere ist ein relatives Verfahren und leitet den Differenzvektor zwischen Positionen zweier aufeinander folgender Epochen aus einem Kurswinkel und der zurückgelegten Entfernung ab. Diese wiederum gewinnt man aus der Schrittzahl (LEGAT, 2002). Alternative Konzepte setzen auf die Integration von GPS und bildgestützter Navigation mittels Minikameras (HELAL et al. 2001). Bei der Kombination von GPS und Koppelnavigation werden Nachteile des einen Sensors durch Vorteile des jeweils anderen ausgeglichen. So wird eine eventuelle Abschattung von GPS durch die autonome Koppelnavigation überbrückt, und es wird das für letztere typische Driftverhalten durch die Langzeitstabilität von GPS umgangen (siehe Abb. 4).

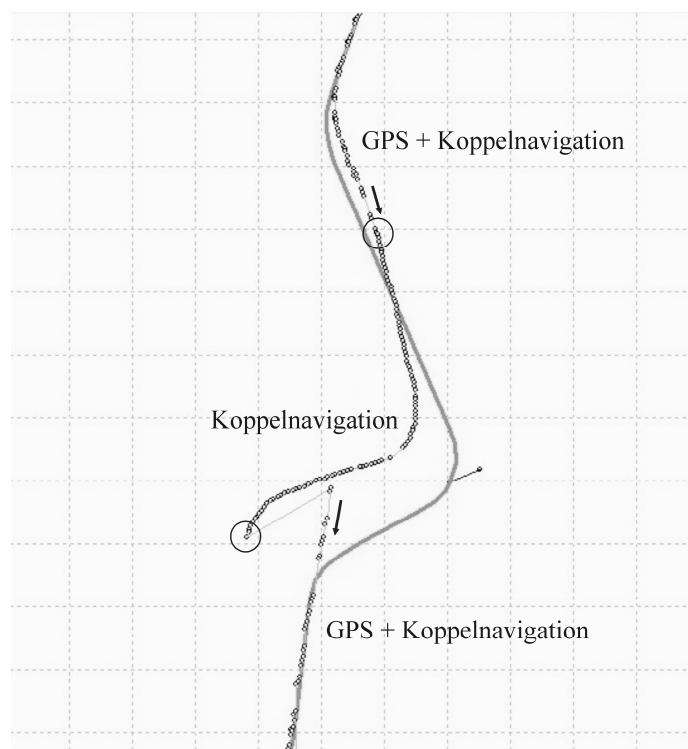


Abb. 4: Integration von GPS und Koppelnavigation.

Im Projekt PONTES wird ein PNM (Pedestrian Navigation Module) der Schweizer Firma Vectronix eingesetzt, vgl. Abb. 5. Das Gerät inkludiert neben einem GPS-Empfänger zur Einzelpunktbestimmung ein dreiachsiges Magnetometer und einen Kreiselkompass zur Kursbestimmung, einen dreiachsigen Beschleunigungssensor zur Schrittdetektion und ein barometrisches Altimeter zur Höhenbestimmung (LADETTO & MERMINOD 2002).



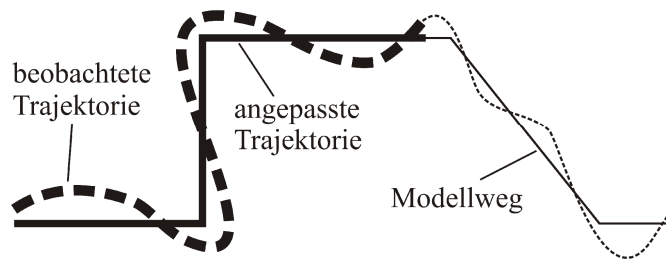
**Abb. 5:** PNM der Fa. Vectronix zur integrierten Positionsbestimmung.

*Welchen Einfluss hat die digitale Wegenetzkarte auf die Positionsbestimmung?*

Durch den metrischen Informationsgehalt der digitalen Karte kann entlang eines Wegabschnittes die durchschnittliche Höhe und die Kursrichtung ermittelt werden. Diese Größen stellen Pseudobeobachtungen dar und liefern einen zusätzlichen Input zur integrierten Positionsbestimmung. Die Methode, eine digitale Karte als künstlichen Sensor einzusetzen, nennt man „Map-aiding“.

### **4.3 Trajektorienanpassung**

Die Ausgangssituation ist: Die aktuelle Position des blinden Fußgängers liegt in absoluten Koordinaten vor; des Weiteren sind die für den momentanen Zeitpunkt relevanten Informationen (z.B. Hinderniswarnungen bzw. Zielführungshinweise) relativ zu den Elementen der digitalen Karte verortet. Die Aufgabe der Trajektorienanpassung (engl.: map matching) ist es, die Position in die Vektorstruktur der digitalen Karte, d.h. auf eine Kante bzw. in einen Knoten des Modellwegs, abzubilden, vgl. Abb. 6.



**Abb. 6:** Anpassung einer Position bzw. Trajektorie an den Modellweg.

Algorithmen zur Trajektorienanpassung sind komplex und zeitintensiv, vor allem wenn man bei der Abbildung in die Vektorstruktur der Karte nicht nur die aktuelle Position sondern auch eine gewisse Historie der Trajektorie berücksichtigt. Vor allem im Kreuzungsbereich von Gehwegen ergibt sich dadurch eine Entscheidungshilfe, welcher der abgehenden Kanten Positionen zugeordnet werden sollen. Die Palette der Algorithmen reicht von Korrelationsmethoden bis zu affinen Transformationen. Alle Verfahren generieren in einem gewissen Sinne ein Maß zur Beschreibung der Ähnlichkeit von Trajektorie und potentieller Kantenfolge, um nach Auswahl der geeigneten Sequenz von Kanten eine linienförmige Anpassung (Alignment) der Trajektorie zu ermöglichen (MAYERHOFER 2005). Überschreitet der Offset zwischen Trajektorie und Kantenfolge einen gewissen Grenzwert, könnte der Blinde von der optimalen Route bzw. vom Wegenetz abgekommen sein.

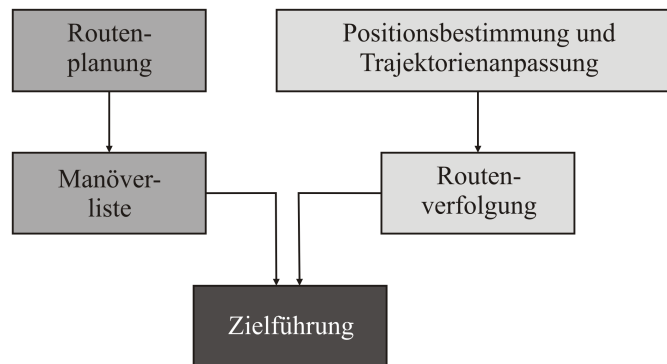
*Welche Auswirkung hat das digitale Wegenetz auf die Trajektorienanpassung?*

Bei der Ähnlichkeitsanalyse zwischen Trajektorie und Modellweg, aber vor allem beim abschließenden Alignment spielt die Qualität der metrischen Information eine wesentliche Rolle. Um das Genauigkeitsniveau der Positionsbestimmung beim Übergang zur Lageinformation halten zu können, muss die metrische Genauigkeit der Karte zumindest jener der Positionsbestimmung entsprechen. Ist die absolute, geometrische Genauigkeit der Karte wesentlich höher als jene der bestimmten Position, trägt die Metrik der Karte wesentlich zur Verbesserung der Positionsbestimmung bei.

#### 4.4 Zielführung

Die Rahmenbedingungen sind ähnlich jener in der Fahrzeugnavigation: die Zielführung hat en route, entlang einer linienhaften Trajektorie und unter Berücksichtigung einer vorgegebenen, optimalen Route zu erfolgen. Die „Zutaten“ liegen auf der Hand: Die Routenplanung liefert einen Modellweg und eine daraus ableitbare Manöverliste; des Weiteren machen Positionsbestimmung und Trajektorienanpassung eine Verfolgung des Fußgängers entlang der nominalen Route möglich. Hinsichtlich der Zielführung schreibt die Manöverliste vor „was“ zu geschehen hat (Hinderniswarnung, Instruktionen zur Richtungsänderung, Hinweise auf POIs), und die Routenverfolgung entscheidet „wann“ dies passieren muss (in einigen Metern, jetzt, unmittelbar nach, usw.), vgl. Abb. 7.





**Abb. 7:** Zielführungsinstruktion auf Basis einer Manöverliste und Routenverfolgung.

Sämtliche Zielführungsinformationen müssen dem Blinden in geeigneter Form übermittelt werden: durch Sprach- od. Tongenerierung, mittels Morsegeber oder einer Mini-Brailletastatur. Falls die Ausgabe akustisch erfolgt, darf der Umgebungslärm, der blinden Personen zur Orientierung gilt, nicht unterdrückt werden (LOOMIS et al. 1998).

*Welche Beiträge liefert die digitale Wegenetzkarte zu einer effizienten Zielführung?*

Aus der digitalen Wegenetzkarte werden die für die Zielführung relevanten, semantischen Inhalte (Hinderniswarnungen, Zielführungsinstruktionen) und thematische Informationen über POIs entnommen. Bei den Details kommt es besonders auf Hindernisse an, welche mit dem Blindenstock nicht ertastet werden können (vgl. Abb. 8). Neben der Semantik hat die Topologie, d.h. die Lage der Objekte relativ zum aktuellen Standort des Blinden, große Bedeutung. Wenn aus der Karte Instruktionen zu Richtungsänderungen berechnet werden, spielt auch die Geometrie eine entscheidende Rolle.



**Abb. 8:** Hindernisse, welche mit dem Blindenstock nicht ertastet werden können.

## 5 Ausblick

Das im Projekt PONTES zu entwickelnde Navigationssystem ist schwerpunktmäßig auf Positionsbestimmung und Zielführung in Echtzeit ausgerichtet. In einem weiteren, künftigen Projekt namens ODILIA (Juli 2006 bis Oktober 2007) soll es Blinden möglich gemacht werden, zu Hause auf einem Desktop das Abgehen einer Route im virtuellen Wegenetz zu

trainieren, um sich dann von einer mobilen Einheit zielsicher führen zu lassen. Eine solche, integrierte Informations- und Navigationsplattform trägt daher nicht nur zur sicheren Mobilität und zur Mobilitätssteigerung sondern auch zum Mobilitätstraining entscheidend bei (PETRIE et al. 1996).

Die Informationskomponente in ODILIA zeichnet sich durch zwei innovative Ansätze aus: Zum Ersten wird bei der Modellierung eines Wegenetzes und der Geodatenbank untersucht, in welchem Ausmaß die Vorerfassung der Geodaten GIS-gestützt automatisiert werden kann. Zum Zweiten soll es dem Blinden ermöglicht werden, gemäß einer „Learning-by-doing“-Strategie (erstmaliges Abgehen einer Route in Begleitung eines Mobilitätstrainers) selbst Daten zu erfassen und in den Datenbestand individuell einzubringen. Beide Ansätze reduzieren den Aufwand der Datenerfassung bei der Wegenetzmodellierung im Vorfeld der eigentlichen Applikation.

Für die Navigationskomponente im Allgemeinen und die Positionsbestimmung im Besonderen wird ODILIA zum Härtetest, zumal das System nicht nur außerhalb von Gebäuden, sondern auch innerhalb und zusätzlich bei Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln eingesetzt werden soll.

## Literatur

- Helal, A., S.E. Moore, & B. Ramachandran (2001): Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled. In: IEEE, 2001, 149-156.
- Hofmann-Wellenhof, B., K. Legat, & M. Wieser (2003): Navigation – principles of positioning and guidance. Springer, Wien.
- Ladetto, Q. & B. Merminod (2002): In Step with INS – Navigation for the Blind, Tracking Emergency Crews. In: GPS World, Vol. 13, No. 10, 30-38.
- Legat, K. (2002): Pedestrian navigation. Dissertation, Graz University of Technology.
- Loomis, J.M., R.G. Golledge, & R.L. Klatzky (1998): Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance. In: Presence, Vol. 7, No. 2, 193-203.
- Mayerhofer, B. (2005): Map-Matching in der Fußgängernavigation für blinde Personen. Magisterarbeit, Technische Universität Graz.
- Petrie, H., V. Johnson, T. Strothotte, A. Raab, S. Fritz, & R. Michel (1996): MOBIC: Designing a Travel Aid for Blind and Elderly People. In: Journal of Navigation, Vol. 49, 45-52.
- Pressl, B. (2005): Digitale Karte zur Zielführung in einem Navigationssystem für blinde Personen. Magisterarbeit, Technische Universität Graz.
- Wieser, M., K. Legat, & B. Hofmann-Wellenhof (2005): Navigation of Visually Impaired Pedestrians – A Tailored Concept for an Urban Environment. In: Proceedings of the European Navigation Conference GNSS 2005 on CD-ROM, Munich.