

# Fußgängernavigation durch Messung des Fußversatzes

Exposee zur Diplomarbeit an der Universität Bremen

von *Dschen Reinecke*, 29. Mai 2006

**Abstract** Bei verschiedenen Gegebenheiten ist es nicht möglich auf Navigations-Infrastruktur zurückzugreifen oder aufwändige Systeme zu transportieren. Um trotzdem eine Navigation zu ermöglichen, soll untersucht werden, ob und wie eine Positionierung mittels mehrerer Abstandsmessungen zwischen den Füßen möglich ist. Aus den Distanzen zwischen den Fersen und Vorderfüßen der beiden Füße lässt sich der Versatz der Füße berechnen und damit die Position fort-schreiben.

## 1 Motivation

Bei Rettungseinsätzen ist es oft wünschenswert zu wissen, wo sich Retter befinden. Einerseits kann die Einsatzleitung mit dieser Information besser die Kräfte koordinieren, andererseits kann auch dem Retter eine Navigation angeboten werden, wenn die menschlichen Sinne keine Orientierung bieten (Rauch, Dunkelheit oder auch strukturlose Umgebung).

Verschiedene Verfahren existieren zur Positionsbestimmung. Die wenigsten sind allerdings bei Rettungseinsätzen sinnvoll nutzbar (siehe Abschnitt 2 Navigation/Positionierung). Zwei Ansätze, deren grundsätzliche Idee den Anforderungen an einen Rettungseinsatz genügen würden existieren (siehe Abschnitt 3.1 Foot-To-Foot und Abschnitt 3.2 Geta-Sandals). Der eine besteht allerdings nur aus theoretische Überlegungen und einer Simulation, der andere bietet eine unbrauchbare Genauigkeit. In der Diplomarbeit soll untersucht werden, ob ein einfaches, nutzbares Verfahren mit verfügbaren Sensoren möglich ist. Dazu wird zunächst eine Simulation durchgeführt und anschließend mittels realer Sensordaten die Positionierungs-Software optimiert. Es soll auch geprüft werden, ob weitere Sensoren die Positionsgenauigkeit deutlich verbessern können.

## 2 Navigation/Positionierung

Zur Navigation, bzw. Positionsbestimmung gibt es sehr unterschiedliche Ansätze. Allerdings sind nicht alle für Fußgänger in Gebäuden oder beliebiger Umgebung geeignet.

### 2.1 Infrastruktur-Systeme

Eine Infrastruktur mit bekannter Position liefert die Basis zur Positionsbestimmung. Die ermittelte Position ist absolut, also in Längen- und Breitengrad (ggf. auch Höhe) ausdrückbar.

- **gegebene Infrastruktur**

Es gibt in der Umwelt Positionsmarken, die vorhanden sind und nicht extra zu dieser Positionsbestimmung angebracht worden sind, also gegebene Infrastruktur: Gebäude, bzw. Bebauung, Landschaftspunkte oder Radio-, Mobilfunk- (vgl. [Heise 2001]) und WLAN-Sender (vgl. [Bahl and Padmanabhan 2000] und [Ekahau 2006]) in Verbindung mit einer Landkarte

oder Stadtplan. Auch das Erdmagnetfeld oder Sonnenstand, bzw. Stand der Sterne gehören hierzu. Aber auch GPS, obwohl zu Navigationszwecken eingerichtet, wird als gegebene Infrastruktur angesehen [Röfer 2002, S. 17].

- **eigene Infrastruktur**

Es können Funk- oder Infrarot-Positionssender für den Zweck der Navigation angebracht wurden sein. Okuda, Yeh, Wu, Chang und Chu [Okuda et al. 2005, Abschnitt 4] nutzen z.B. RFDI-Tags im Fußboden als Referenzpositionen.

Bei Rettungseinsätzen ist die Nutzung dieser Systeme problematisch, da eine Navigations-Infrastruktur oft nicht nutzbar ist, bzw. teilweise gar nicht vorhanden. GPS ist in Gebäuden und Straßenschluchten kaum empfangbar (vgl. [Ladetto and Merminod 2002], [Brands and Phillips 2003, S. 114] und Beaugard 2006, S. 1f und S. 7f)), zur Navigation mittels Landmarken ist eine Karte (oder auch ein Raumplan) notwendig, es ist aber nicht sicher, ob diese verfügbar ist und mit den tatsächlichen Gegebenheiten bei einem Rettungseinsatz übereinstimmt (so können z.B. Hindernisse durch umgefallene Möbel, aber auch neue Wege durch eingestürzte Wände hinzugekommen sein). Himmelskörper können durch eine Bewölkung verdeckt sein und sind in Gebäuden nicht sichtbar.

## 2.2 infrastrukturlose Systeme

Bei diesen Systemen zur Navigation benötigte Sensoren werden am Körper (bzw. am Fahrzeug) mitgeführt. Es können nur Positionsveränderungen zu einem Startpunkt bestimmt werden, also eine relative Position. Üblicherweise wird die Bewegungsrichtung getrennt von der Wegstrecke, bzw. Geschwindigkeit ermittelt. Diese Art der Navigation, bei der zurückgelegte Distanzen und Richtungen aufsummiert werden nennt sich Koppelnavigation (engl. dead reckoning) und war vor der Einführung von GPS in der Luft- und Seefahrt das wichtigste Mittel zur Positionsbestimmung [Wikipedia 2006].

### 2.2.1 Beschleunigungsmessung

Durch eine doppelte Integration der Beschleunigung kann die Distanz und Geschwindigkeit ermittelt werden. Bei sehr hochwertigen und aufwändigen Meßgeräten und regelmäßigen Beschleunigungsupdates (Stehenbleiben bei Ladetto, van Seeters, Sokolowski, Sagan, Merminod [Ladetto et al. 2002, S. 6] oder bei den Fußauftritten bei Brands and Phillips [Brands and Phillips 2003, S. 113 und 118]) kann eine gute, bis sehr gute Meßgenauigkeit erreicht werden. Das von Ladetto, van Seeters, Sokolowski, Sagan, Merminod benutzte Gerät wird zur Landvermessung genutzt und dient in seiner Untersuchung als Referenz. Günstige Sensoren ohne Ausrichtungsupdates haben extrem schlechte Positionierungsgenauigkeiten: Brands and Phillips haben in ihrer Simulation auf einer Strecke von 850m eine Fehlpositionierung um 2.500m ermittelt. Da bei Rettungseinsätzen keine Pausen für Beschleunigungsupdates gemacht werden können und auch kein aufwändiges Meßequipment mitgeführt werden kann, ist dieses Verfahren nicht gut geeignet.

### 2.2.2 Raddrehung

Bei Fahrzeugen kann eine sehr genaue Distanzmessung durch die Umdrehungen der Räder ermittelt werden, wenn deren Umfang bekannt ist. Ein kleiner Fehler ergibt sich durch Schlupf auf rutschigem oder lockeren Untergrund. So bewährt wie dieses Verfahren bei Fahrzeugen ist, so unbrauchbar ist es für Fußgänger.

### 2.2.3 Schritterkennung

Viele Ansätze basieren auf der Erkennung von Schritten. Das Produkt der Schrittzahl und der Schrittlänge ist die zurückgelegte Distanz. Die Schrittlänge wird durch unterschiedliche Ansätze ermittelt:

- **feste Werte**

Es wird eine feste Schrittlänge angenommen, diese kann Nutzerabhängig sein. Bei einem einheitlichen Gehen, ist die Distanzermittlung recht gut (vgl. Beauregard [Beauregard 2006, S. 4]).

- **schrittfrequenzabhängige Werte**

Donelan, Kram und Kuo [Donelan et al. 2002, S. 3717ff] zeigen, daß die Schrittlänge von der Schrittfrequenz abhängt (vgl. auch die Untersuchung von Kim, Jang, Hwang und Park [Kim et al. 2004, S. 276f]). Dies ist zumindest bei einem unbeeinflussten Gehen der Fall. Verschiedene Ansätze machen sich dies zu Nutze und ermitteln vor dem Einsatz eine nutzerabhängige Tabelle mit der Zuordnung Schrittfrequenz nach Schrittlänge (z.B. Ladetto und Merminod [Ladetto and Merminod 2002, S. 3] und Randell, Djiallis und Muller [Randell et al. 2003, Abschnitt 4.2.2]). Andere Ansätze arbeiten nicht nutzerabhängig mit einer Formel oder Tabelle (z.B. Kim, Jang, Hwang und Park [Kim et al. 2004, S. 277]).

- **schrittbeschleunigungsabhängige Werte**

Kim, Jang, Hwang und Park [Kim et al. 2004, S. 277] haben die durchschnittliche Beschleunigung beim Schritt in Beziehung zur Schrittlänge gesetzt und so eine Formel gefunden, die aus der ermittelten Maximalbeschleunigung in Schrittrichtung, die Schrittlänge abschätzt.

Die Schritte werden durch verschiedene Verfahren erkannt:

- **vertikale Beschleunigung**

Bei jedem Schritt hebt und senkt sich sowohl der Fuß, als auch der ganze Körper, beim Auftritt ist ein Maximalpunkt der Beschleunigung meßbar, aus diesen Meßergebnissen lassen sich die Schritte ermitteln.

- **Bewegungsbeschleunigung**

Beim Auftritt eines jeden Fußes ist dessen horizontale (und auch die Bewegungs-)Beschleunigung null, dies ist nutzbar zur Schritterkennung.

- **Drucksensoren unter dem Fuß**

Morris und Paradiso [Morris and Paradiso 2002, S. 9] und Okuda, Yeh, Wu, Chang und Chu [Okuda et al. 2005, Abschnitt 3] nutzen Drucksensoren (bzw. Schalter) unter dem Fuß, um zu erkennen ob dieser gerade aufsteht oder angehoben ist. Auch Brands und Phillips [Brands and Phillips 2003, S. 121] halten dieses Verfahren für sinnvoll zur Erkennung der Auftritte und damit der Schritte.

Allen diesen Verfahren gemein ist, daß die Richtung der Schritte nicht gut ermittelt werden kann. Ladetto, van Seeters, Sokolowski, Sagan, Merminod [Ladetto et al. 2002, S. 3f] haben in ihrem System verschiedene Gang-Modelle, die auch seitliche Schritte abdecken. Aber im allgemeinen ist schon eine leichte Kurve bei diesen Ansätzen problematisch. Besonders, da die Ausrichtung des Körpers (und noch extremer des Kopfes, vgl. Beauregard [Beauregard 2006, S. 5f]) nicht mit der Bewegungsrichtung übereinstimmen muß. Die Systeme arbeiten am besten mit einen gleichmäßigen, geraden Gang und abrupten Richtungsänderungen, sie sind also besonders ideal für Märsche, aber nicht für die Bewegungen bei einem Rettungseinsatz. Randell, Djiallis und Muller [Randell et al. 2003, Abschnitt 5.1] haben mit ihrem System bei einem Gang durch eine belebte Straße eine sichtbare Fehlpositionierung beim Testen ermittelt.

#### **2.2.4 Fußversatz**

Okuda, Yeh, Wu, Chang und Chu [Okuda et al. 2005, Abschnitt 1 und 2] hatten die Grundidee den Vektor zwischen den Schuhen zu messen und so festzustellen, in wie weit sich der Fuß bei einem Schritt relativ zum anderen, ruhenden Fuß bewegt hat. Dies geschieht mittels einer drahtlosen

Abstandsmessung. Der eine Schuh besitzt zwei Sender, der andere zwei Empfänger.

Die Ausrichtung, bzw. hieraus indirekt die Bewegungsrichtung wird bei fast allen Systemen durch Kompass oder Kreiselkompass ermittelt, die Kombination beider Systeme verbessert die Genauigkeit und Zuverlässigkeit (vgl. z.B. Kim, Jang, Hwang und Park [Kim et al. 2004, S. 277ff] und Käppi, Syrjärinne und Saarinen [Käppi et al. 2001, S. 1371f]).

### 3 ähnliche Ansätze

In der Diplomarbeit soll ein infrastrukturloses System entwickelt und untersucht werden. Die Positionserkennung basiert auf dem Fußversatz (vgl. Abschnitt 2.2.4 Fußversatz). Dem Autor sind zwei ähnliche Ansätze bekannt:

#### 3.1 Foot-To-Foot

Brands und Phillips präsentieren in Ihrer Veröffentlichung *Foot-to-Foot Range Measurement as an Aid to Personal Navigation* [Brands and Phillips 2003] ein System, welches mittels Beschleunigungsmessung jeden Schritt berechnet. Durch Beschleunigungsupdates beim Auftritt wird die Meßgenauigkeit verbessert. Durch eine Funk-Abstandsmessung zwischen den Füßen erfolgt eine Korrektur der berechneten Position. Da der Öffnungswinkel vom ruhenden Fuß zum bewegten Fuß vor und nach dem Schritt etwa  $90^\circ$  beträgt, kann eine Positionskorrektur in zwei Dimensionen erfolgen (siehe Abbildung 1). Die Veröffentlichung basiert leider nur auf einer Simulation. Es gibt keine realen Versuche, die aufzeigen, daß die vergleichsweise genaue Positionierung aus der Simulation auch tatsächlich erzielbar ist.

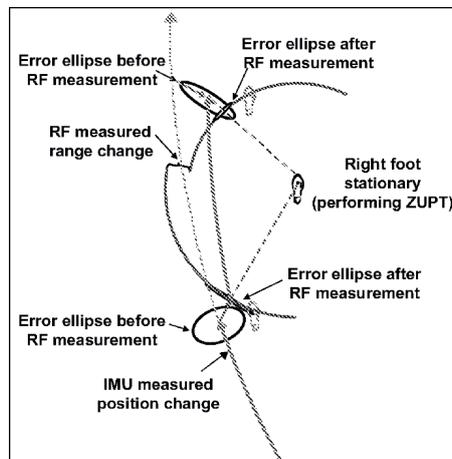


Abbildung 1: Foot-To-Foot-System (Bild: [Brands and Phillips 2003, S. 116])

#### 3.2 Geta-Sandals

Okuda, Yeh, Wu, Chang und Chu [Okuda et al. 2005] hatten versucht ein System auf Basis des Fußversatzes zu bauen. In *The GETA Sandals: A Footprint Location Tracking System* beschreiben sie, warum ihnen die Umsetzung verschiedene Probleme bereitete, so daß von der Grundidee Abstand genommen wurde und die endgültige Version nur mit einem Sender arbeitet, die Ausrichtung über einen Kompaß-Modul bestimmt wird und auf Grund von großen Positionierungsfehler mittels RDID-Chips an Referenzpositionen der Großteil der Positionierung erfolgt.

## 4 geplantes Verfahren

Das geplante Fußversatz-Verfahren der Diplomarbeit funktioniert folgendermaßen: In dem Moment beim Gehen, wo beide Füße auf dem Boden stehen, wird von der Ferse des einen Schuhs (in Abbildung 2 der linke Schuh) ein Signal ausgesendet und von zwei Empfängern im anderen Schuh (hier der rechte Schuh) empfangen. Anschließend wird ein weiteres Signal von der Fußspitze des ersten Schuhs ausgesendet und ebenfalls von beiden Empfängern empfangen. Abhängig vom eingesetzten technischen Verfahren (Funk, Ultraschall, Infrarotlicht) wird aus der Laufzeit oder dem Phasenversatz (siehe [Brands and Phillips 2003, S. 114f]) die Entfernung bestimmt und damit kann, bei Einbeziehung der bekannten Abstände der beiden Sender und der beiden Empfänger, der Versatz (Abstand längs und quer, so wie die Ausrichtung) der Schuhe errechnet werden.

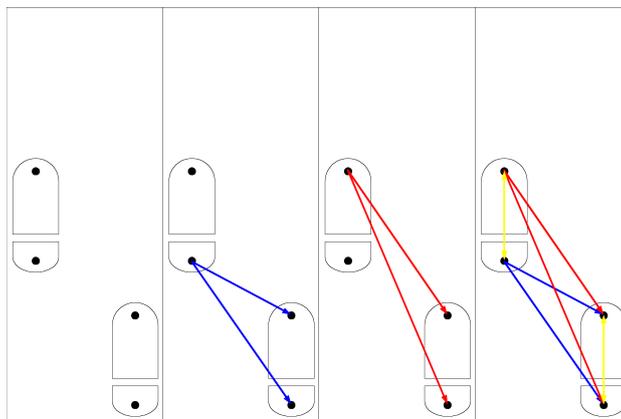


Abbildung 2: Ausgangslage, Abstandsmessungen und bekannte Abstände

Die gemessenen und bekannten Distanzen und Benennungen dieser sind in Abbildung 3 ersichtlich.

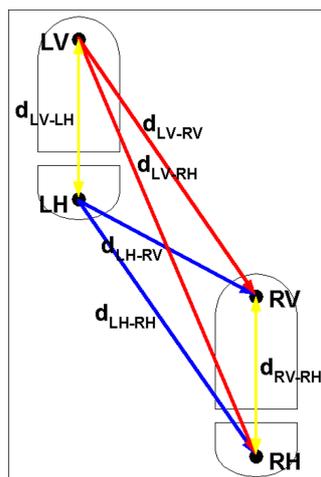


Abbildung 3: Benennung der gemessenen und bekannten Distanzen

Wenn ein (Halb-)Schritt getan wurde (Bewegung eines Fußes), erfolgt wieder die doppelte Abstandsmessung (siehe Abbildung 4). Aus den gemessenen und konstanten Distanzen (siehe Abbildung 5) und der bekannten Position und Ausrichtung des stehenden Fußes lassen sich durch folgende Formeln die neue Position und Ausrichtung des bewegten Fußes errechnen.

Die Positionierung erfolgt relativ zur Startposition und -ausrichtung des Linken Fußes.

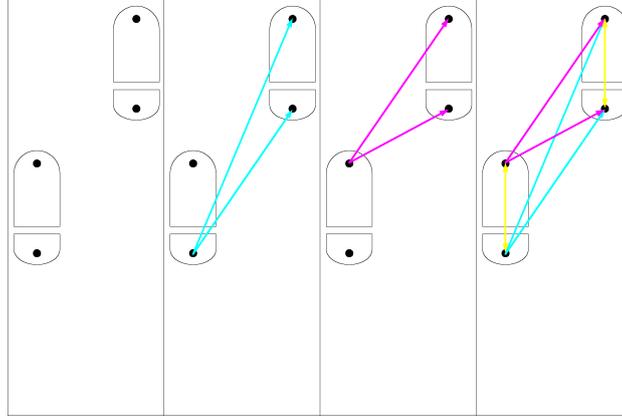


Abbildung 4: Ein Schritt vor, Abstandsmessungen und bekannte Abstände

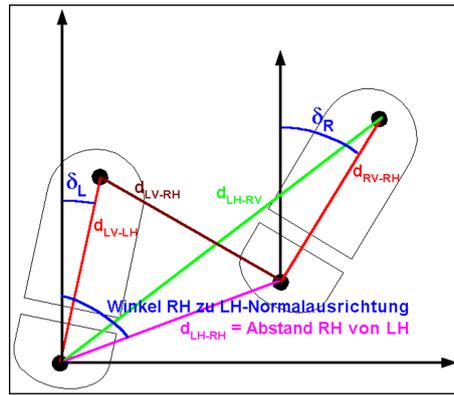


Abbildung 5: Benötigte und errechnete Winkel und Distanzen

konstant	$d_{LV-LH}$ $d_{RV-RH}$
bekannt	Position LH Ausrichtung L = $\delta_L$
gemessen	$d_{LH-RH}$ $d_{LH-RV}$ $d_{LV-RH}$
unbenutzt	$d_{LV-RV}$

Abstand RH von LH =  $d_{LH-RH}$

Winkel RH zu LH-Normalausrichtung =  $\frac{\text{acos}(d_{LV-LH}^2 + d_{LH-RH}^2 - d_{LH-RV}^2)}{2 \cdot d_{LV-LH} \cdot d_{LH-RH}} - \delta_L$

Ausrichtung R =  $\delta_R = 180^\circ - \frac{\text{acos}(d_{RV-RH}^2 + d_{LH-RH}^2 - d_{LH-RV}^2)}{2 \cdot d_{RV-RH} \cdot d_{LH-RH}} - \text{Winkel RH zu LH-Normalausrichtung}$

$x$ -Versatz RH zu LH =  $d_{LH-RH} \cdot \sin(\text{Winkel RH zu LH-Normalausrichtung})$

$y$ -Versatz RH zu LH =  $\sqrt{d_{LH-RH}^2 - (x\text{-Versatz RH zu LH})^2}$

Es ist bei der Messung sogar eine Distanz mehr ermittelt worden, als tatsächlich zur Berechnung notwendig ist (in dem Beispiel  $d_{LV-RV}$ ). Mit dieser können Meßungenauigkeiten verkleinert werden.

Mit den ermittelten Distanzen wäre noch eine Spiegelposition (siehe Abbildung 6) möglich, allerdings durch Vorwissen (der rechte Fuß ist rechts vom linken Fuß) kann auf die richtige Position geschlossen werden.

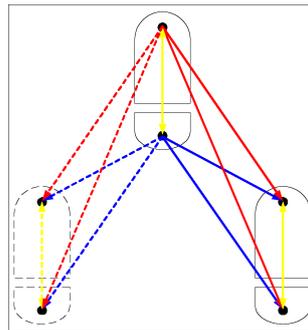


Abbildung 6: Spiegel-Fehler

Anders als in anderen Verfahren (vgl. Abschnitt 2 Navigation/Positionierung), liefert dieses Verfahren nicht nur eine Position, sondern zwei: Für jeden Fuß eine. Auch die Route wird für die Füße getrennt berechnet. Die Position des Nutzers kann als der Mittelpunkt zwischen den beiden Fersen angenommen werden. Zu jedem Auftrittspunkt wird die Position und die Ausrichtung des Fußes gespeichert (siehe Abbildung 7). Zusätzlich wird noch eine Verlässlichkeit der ermittelten Position durch Aufsummierung der möglichen Fehler berechnet.

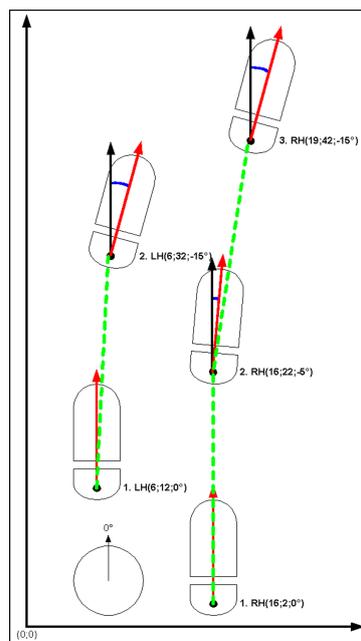


Abbildung 7: Eine kurze Route

## 4.1 zu erwartende Probleme

Verschiedene Probleme ergeben sich schon aus den Vorüberlegungen, bzw. aus Veröffentlichungen zu ähnlichen Ansätzen (siehe Abschnitt 3.1 Foot-To-Foot und Abschnitt 3.2 Geta-Sandals):

- **Erkennung des Auftretens**

Es reicht nicht nur zu erkennen, daß ein Fuß auftritt (siehe Abschnitt 2.2.3 Schritterkennung), sondern es muß festgestellt werden welcher Fuß sich bewegt hat. Hierzu eignen sich Durchsensoren an jedem Fuß, oder auch Beschleunigungssensoren am Fuß.

- **Füße kreuzen sich**

Problematisch ist, daß sich die Füße kurzzeitig kreuzen können (rechter Fuß ist links des linken). Um dieses zu erkennen und nicht unter der Annahme aus Abbildung 6, den Fuß fehlerhaft zu positionieren, werden auch während des Schrittes Abstände ermittelt und so der Bewegungsablauf während des Schrittes ermittelt. Damit kann die Bahn auf der korrekten Seite fortgesetzt werden.

- **Meßfehler**

Geringe Meßfehler lassen sich durch Mittelung mit der zusätzlichen Distanz verkleinern, größere Fehler werden durch Vorwissen herausgefiltert: Der maximal mögliche Abstand der Füße ist bekannt, genauso wie die maximal mögliche Verdrehung gegeneinander. Es kann auch die Schrittfrequenz und die damit zusammenhängende ungefähre Schrittlänge (vgl. Abschnitt 2.2.3 schrittfrequenzabhängige Werte) zur Fehlererkennung herangezogen werden. Prinzipiell kann auch die Empfangsstärke der Distanzmessung noch als redundante Information ausgewertet werden. Dies ist allerdings für diese Diplomarbeit nicht geplant.

- **Höhenunterschiede**

Höhenunterschiede, wie sie z.B. beim Treppensteigen auftreten, werden in diesem System nicht berücksichtigt. Weiter wird angenommen, daß der Untergrund eben sei. Es ist möglich mittels barometrischem Höhenmesser, einer dritten Sender/Empfänger-Einheit am Knöchel oder mittels vertikalem Beschleunigungsmesser Höhenänderungen und Bodenunebenheiten zu erkennen und in die Berechnung einfließen zu lassen.

- **Hindernisse**

Bei dem geplanten Einsatzzweck ist damit zu rechnen, daß Hindernisse auf dem Boden liegen (Steine oder Trümmer), über die mit einem großen Schritt hinweg gestiegen werden kann. Diese verhindern Distanzmessungen mittels Infrarotlicht, auch Ultraschall wird hiervon beeinträchtigt. Aber auch Wasser oder Matsch und Störungen durch Rauch und Staub können die Messung beeinträchtigen. Eine Distanzmessung mittels Funk scheint hier am besten geeignet. Abhängig von den technischen Möglichkeiten wird allerdings für diese Diplomarbeit ggf. auf eine andere Technik zurückgegriffen, die Hindernisse nicht beherrscht. Den Beweis der Funktion dieses Positionierungssystems beeinträchtigt dieses allerdings nicht.

## 5 sequentieller Ablauf

Die Untersuchung zu der Diplomarbeit gliedert sich in drei Bereiche:

### 5.1 Simulation

Zunächst wird Gesichtet, welche Arten von Distanzsensoren nutzbar sind. Mittels der in den Datenblättern und Literatur spezifizierten Fehler und Störgrößen der Sensoren wird eine Modell-Berechnung durchgeführt. Anhand dieser ergibt sich ob eine zufriedenstellenden Positionsgenauigkeit möglich ist. Im Umkehrschluß wird auch ermittelt welche Anforderungen Sensoren mindestens

erfüllen müssen, um eine gute Positionierung zu ermöglichen. Die Berechnung erfolgt mittels einer zunächst nur basal implementierten Positionsberechnungs-Software. Gegebenenfalls muß das Konzept um weitere Sensoren erweitert werden, falls es sich ergibt, daß verfügbare Distanzsensoren zu ungenau sind.

## 5.2 Aufbau

Nach der Simulation wird eine Meßaufbau aufgebaut und mit den Sensoren verschiedenen Wege aufgezeichnet. Diese Daten dienen dann als Basis zur Verfeinerung der Positionsberechnungs-Software.

## 5.3 Tests

Es ist geplant einen Parkur sowohl im Gebäude, als auch außerhalb abzulaufen, dabei werden nicht nur vorwärts-Schritte, sondern auch seitwärts- und rückwärts-Schritte, so wie Kurven vorkommen. Auch das Kreuzen der Füße wird durchgeführt. Als Referenz dient dabei im Freien ein GPS-Empfänger. Dieser wird zur Steigerung der Genauigkeit differentiell ausgewertet (hier also relativ zu einer bekannten Startposition). Die ermittelten Routen werden in Landkarten, bzw. Grundrißpläne eingetragen, um so visuell die Genauigkeit aufzeigen zu können.

## 6 Literatur

**Bahl and Padmanabhan 2000** Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan: 'Radar: An in-building rf-based user location and tracking system', In Proceedings of the IEEE Infocom 2000, Tel-Aviv, Israel, vol. 2, Mar. 2000, pp. 775-784,  
<http://research.microsoft.com/~padmanab/papers/infocom2000.pdf>

**Beauregard 2006** Stéphane Beauregard: 'A Helmet-Mounted Pedestrian Dead Reckoning System', TZI, Universität Bremen

**Brands and Phillips 2003** Timothy J. Brand, Richard E. Phillips: 'Foot-to-Foot Range Measurement as an Aid to Personal Navigation', Institute of Navigation Annual Meeting. 59th. Held in Albuquerque, NM, 06/23/2003 to 06/25/2003. Sponsored by: ION. (Draper Report no. P-4138)

**Donelan et al. 2002** J. Maxwell Donelan, Rodger Kram, Arthur D. Kuo: 'Mechanical work for step-to-step transitions is a major determinant of the metabolic cost of human walking', The Journal of Experimental Biology 205, 3717-3727 (2002)

**Ekahau 2006** Ekahau: 'Ekahau - Innovation Through Location', besucht am 15. Mai 2006,  
<http://www.ekahau.com/?id=2100>

**Heise 2001** Heise Newsticker: 'Apotheken per SMS finden', vom 13.09.2001,  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/21031>

**Käppi et al. 2001** Jani Käppi, Jari Syrjärinne, Jukka Saarinen: 'MEMS-IMU Based Pedestrian Navigator for Handheld Devices', ION GPS 2001, 11-14 September 2001, Salt Lake City, UT, USA

**Kim et al. 2004** Jeong Won Kim, Han Jin Jang, Dong-Hwan Hwang, Chansik Park: 'A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System', Journal of Global Positioning Systems, Vol. 3, No. 1-2, 2004, 273-279,  
<http://www.gmat.unsw.edu.au/wang/jgps/v3n12/v3n12p34.pdf>

**Ladetto and Merminod 2002** Quentin Ladetto, Bertrand Merminod: 'In Step with INS: Navigation for the Blind, Tracking Emergency Crews', GPSWorld, octobre 2002 pp. 30-38, [http://topo.epfl.ch/publications/pnm\\_gpsworld.pdf](http://topo.epfl.ch/publications/pnm_gpsworld.pdf)

**Ladetto et al. 2002** Quentin Ladetto, J. van Seeters, S. Sokolowski, Z. Sagan, Bertrand Merminod: 'Digital compass and gyroscope for dismounted soldier position and navigation', NATO-RTO meetings, Istanbul, Turquie, 14-16 octobre, [http://topo.epfl.ch/publications/nato\\_ladetto.pdf](http://topo.epfl.ch/publications/nato_ladetto.pdf)

**Morris and Paradiso 2002** Stacy J. Morris, Joseph A. Paradiso: 'A Compact Wearable Sensor Package for Clinical Gait Monitoring', Offspring Vol. 1, No. 1, pp. 7-15, January 31, 2003, <http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/2002-12-SIGSS-Offspring.pdf>

**Okuda et al. 2005** Kenji Okuda, Shun-yuan Yeh, Chon-in Wu, Keng-hao Chang, Hao-hua Chu: 'The GETA Sandals: A Footprint Location Tracking System', Lecture Notes in Computer Science, Volume 3479, Apr 2005, Pages 120 - 131, [http://m11.csie.ntu.edu.tw/papers/loca\\_2005.pdf](http://m11.csie.ntu.edu.tw/papers/loca_2005.pdf)

**Randell et al. 2003** Cliff Randell, Chris Djiallis, Henk L. Muller: 'Personal Position Measurement Using Dead Reckoning', 7th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2003), 21-23 October 2003, White Plains, NY, USA. IEEE Computer Society 2003, ISBN 0-7695-2034-0, 166-175

**Röfer 2002** Thomas Röfer: Skript zu 'Kognitive Robotik I' Sensorik, Universität Bremen WiSe 2002/2003, <http://www.tzi.de/~roefer/kr02/04.pdf>

**Wikipedia 2006** Wikipedia: 'Koppelnavigation', besucht am 15. Mai 2006, <http://de.wikipedia.org/wiki/Koppelnavigation>