

# Test und Integration von Sensoren für die Positionsbestimmung in einem Fußgängernavigationssystem

Günther Retscher und Christoph Hiller

## Zusammenfassung

Mobile und portable Navigationssysteme sollen dem Nutzer dabei helfen, ein gewünschtes Ziel möglichst schnell zu finden. Alle kommerziellen Systeme greifen dabei auf eine Positionsbestimmung mittels GNSS zurück. Da aber vor allem im urbanen Umfeld durch die starke Abschattungsproblematik oft Signalausfälle auftreten und somit die Positionierung mittels GNSS nicht immer möglich ist, müssen auch Koppelnavigationssensoren zum Einsatz kommen. Das FWF-Projekt NAVIO beschäftigt sich mit der Fußgängernavigation im städtischen Umfeld und in Gebäuden. Als Teil dieses Projekts beschäftigt sich diese Arbeit vorwiegend mit der Positionsbestimmung im urbanen Gebiet. Für die praktischen Testmessungen wurden zwei verschiedene Testgebiete ausgewählt. Es handelt sich hierbei zum einen um den Schlosspark in Schönbrunn, wo optimale Bedingungen für die GNSS-Positionierung gegeben sind, und zum anderen um ein städtisches Testgebiet rund um unser Institutsgebäude der TU Wien im vierten Wiener Gemeindebezirk. In diesem Gebiet sollten aber nicht nur der GPS-Sensor, sondern auch die Koppelnavigationssensoren getestet werden. Die Testergebnisse zeigen, dass die Messgenauigkeiten sehr stark von den Einsatzgebieten abhängen, da je nach Gebiet unterschiedliche Abschattungen vorliegen und somit unterschiedlicher Empfang der GPS-Signale gegeben ist. Die Differenzen der gemessenen Koordinaten zu ihren Referenzwerten betragen zwischen 1 und 3 m bei freier Sicht zum Himmel, im verbauten Gebiet treten aber nicht selten Differenzen von über 10 m auf. Um die anfallenden Abweichungen zu minimieren wird eine Kalmanfilterung und Integration anderer Sensoren in das System durchgeführt. So kann eine hohe Zuverlässigkeit für die Positionierung und Zielführung in einem Fußgängernavigationssystem realisiert werden.

## Summary

*Mobile portable navigation systems for pedestrians should help the user in finding his desired location as quickly as possible. All commercial systems use satellite positioning systems (GNSS). Due to obstructions in urban areas, the use of dead reckoning sensors is essential in modern navigation systems. In the research project NAVIO founded by the Austrian Science Foundation we are working on the development of a navigation service for combined indoor/outdoor environments. As a part of this project, this work predominantly concentrates on the position determination in urban zones. For testing of the employed location sensors two different test areas were selected, i. e. one in the park of Schönbrunn palace which provides free satellite visibility and one in an urban area in the surroundings of our University building in the 4th district of Vienna. In the second test area not only the GPS positioning is*

*tested but also the employed dead reckoning sensors. The test measurements show that the achievable positioning accuracies depend very much on the selected test area. Usually deviations in the range 1 to 3 m are obtained in areas with free satellite visibility and up to 10 m in urban areas. For the integration of the sensors and the optimal estimation of the current user's location a Kalman filter approach is employed. Using this approach a continuous position determination with a high reliability and guidance of the user can be achieved.*

## 1 Einleitung und Motivation

Die menschlichen Tätigkeiten wurden in den letzten 50 Jahren im Zuge der Mechanisierung und Maschinisierung der Gesellschaft automatisiert. Der Computer hat die Arbeits- und Privatwelt immer weiter erobert. Durch dieses rasche Vordringen des Computers und in weiterer Folge durch das Vordringen von PDAs sowie die rasante Entwicklung im Bereich des Internets und der Messtechniken entwickeln sich immer neue Anwendungsbereiche der Geodäsie. Autonavigationssysteme sind hierbei nur eines von vielen Beispielen für den rasanten Fortschritt der Technik. Anstelle von fix in einem Fahrzeug montierten Systemen kommen heutzutage vermehrt mobile, portable Systeme zum Einsatz, die auch für die Navigation von Fußgängern eingesetzt werden können. Dabei wird immer häufiger gewünscht, dass nicht nur die Positionsbestimmung außerhalb, sondern auch in Gebäuden möglich ist. Das NAVIO-Projekt (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld), welches sich mit eben diesen Bereichen beschäftigt, läuft derzeit an der TU Wien und soll die Realisierung der Outdoor- und Indoornavigation ermöglichen.

## 2 State-of-the-Art in der Mobilien Positionierung

Die Position wird durch Koordinatenpaare oder -tripel angegeben, welche in Bezug auf ein übergeordnetes Koordinatensystem stehen. Bei der absoluten Positionierung arbeitet man z. B. mit einem GPS-Empfänger. Die 3D-Position des Empfängers wird dann in Bezug auf das Koordinatensystem des Satellitensystems GPS, dem WGS 84 (World Geodetic System 1984), durch Pseudodistanzmessung bestimmt. Dieses Verfahren wird hauptsächlich für Navigationszwecke eingesetzt. Wenn eine gute Satelliten-

konfiguration und freie Sicht zu den Satelliten gegeben sind, kann die Positionierung sogar in Echtzeit vorgenommen werden. Eine weitere Methode zur kontinuierlichen Positionierung ist die Koppelnavigation. Hier wird die laufende Ortsbestimmung aus Kurs und Geschwindigkeit durchgeführt und es wird von einem bekannten Punkt aus laufend der zurückgelegte Weg in eine Karte eingetragen. Aufgrund der Drift der Sensoren stimmen die Koppelorte im Zeitverlauf jedoch immer weniger mit der tatsächlichen Nutzerposition überein und müssen deshalb durch direkte Standortbestimmung (z.B. Satellitennavigation) korrigiert werden. Die Bestimmung des augenblicklichen Standorts erfolgt durch Berechnung der jeweils in einzelne Richtungen gelaufenen Strecken nach Geschwindigkeit und Zeit sowie der Abdrift.

Handelsübliche Navigationssysteme verwenden GNSS für die absolute Positionsbestimmung. Als Alternative kann die Verwendung von Mobilfunknetzen dienen; hier wird die Position über die Mobilfunkzellen bestimmt und ist dementsprechend genau/ungenau (Retscher 2002). Im Indoor-Bereich können eigene Verfahren zum Einsatz kommen (siehe Retscher und Kistenich 2006), die auch bereits zur Verfügung stehende kabellose Infrastruktur nutzen können, wie z.B. WLAN (Wireless Local Area Networks) oder in Zukunft UWB (Ultra Wide Band).

Es sind bereits Navigationssysteme für Fußgänger am Markt erhältlich. Eines davon ist das von uns getestete GyroDRM III der Firma PointResearch Corporation (siehe Abschnitt 3). Doch auch andere Firmen haben schon ihre Produkte auf den Markt gebracht, so z.B. Asus oder auch Garmin. Im Folgenden sollen diese Systeme nun kurz vorgestellt werden.

Abb. 1: MyPal A620 Pocket-PC von Asus (nach 3DNews 2005)



Der Asus MyPal A620 ist ein kompakter Taschen-PC (siehe Abb. 1), der mit der entsprechenden Software (Destinator 3.0) zu einem Navigationssystem aufgerüstet werden kann. Außerdem ist bei dem MyPal eine externe GPS-Antenne nötig (Asus 2005).

Der NÜVI von Garmin (siehe Abb. 2) vereint drei Geräte in einem, denn er ist ein tragbarer GPS-Empfänger,



Abb. 2: Der NÜVI von Garmin (nach Garmin 2005)

ein digitaler Reiseführer und digitales Entertainment System. In Kombination mit detaillierten Karten macht es der NÜVI einfach, den gewünschten Weg zu finden. Das Gerät bietet einen Touchscreen zur Menüführung und kann im Fahrzeug montiert werden.

Die Produkte der Baureihe NÜVI bieten Navigationslösungen an, welche auch für Fußgänger zu nutzen sind. Die Firma Garmin hat auch andere Geräte im Angebot, wie z.B. den Streetpilot c320. Dieses Produkt von Garmin ist bereits WAAS-/EGNOS-fähig und verfügt über einen internen Phasetrac 12™-Empfänger. Dieser ist aber für Fußgänger leider unbrauchbar, da er nicht ohne Netzgerät betrieben werden kann. Durch den Einsatz der SIRF-Technologie können auch schwache Satellitensignale empfangen werden.



Abb. 3: Möglichkeiten der Wegdarstellung auf Mobiltelefonen (nach Wayfinder 2005)

Weiterhin sind am Markt noch eine Vielzahl von Systemen erhältlich, die eine Navigation mittels Mobiltelefonen ermöglichen. Abb. 3 zeigt einige Beispiele. Wie zu sehen ist, gibt es verschiedene Varianten der Präsentation. So kann eine Übersichtskarte mit dem darin eingezeichneten Weg gezeigt werden, oder die Wegbeschreibung erfolgt über kleine Kartenausschnitte des jeweiligen Gebietes, wo ein Richtungswechsel vorgenommen werden muss.

### 3 Das Fußgängernavigationssystem NAVIO

Die Herausforderungen in der Fußgängernavigation, die im Projekt NAVIO behandelt werden, sind folgende:

- Fähigkeit, die Bewegung von Fußgängern in Echtzeit darzustellen
- Möglichkeit, den Benutzer in 3D mit hoher Genauigkeit zu lokalisieren (d.h. man möchte auch in der Lage sein, das richtige Stockwerk in einem mehrstöckigen Gebäude anzugeben)
- Durchführbarkeit eines nahtlosen Übergangs in der Positionsbestimmung vom Indoor- zum Outdoor-Bereich und umgekehrt.

Hierfür muss die Navigation die Position, Orientierung, Bewegung des Nutzers und geografische Informationen, die der Realitätswahrnehmung eines Fußgängers entsprechen sollen, anbieten können.

Das NAVIO-System enthält folgende Sensoren (siehe Abb. 4):

- GyroDRM III von PointResearch,
- aus dem Hause Garmin der eTrex Summit,
- von Honeywell der HMR 3000 Kompass
- und von Vaisala das PTB 220 Barometer.

Das GyroDRM ist eines der wenigen kommerziell erhältlichen Multisensor-Navigationsysteme für Fußgänger. Es wird von der amerikanischen Firma PointResearch Corporation, die mittlerweile zur Fa. Honeywell gehört, erzeugt. Die Abkürzung DRM im Produktnamen steht für »Dead Reckoning Module«, wobei Dead Reckoning der Koppelnavigation entspricht. Außerdem ist auch ein eingebauter Kreisel zu finden, daher der Name GyroDRM. Die einzelnen Sensoren des Gerätes sind ein 12-Kanal Standard Positioning Service (SPS) GPS-Empfänger, ein Magnetometer, ein Wendekreis mit zwei Freiheitsgraden, ein dreiachsiger Beschleunigungssensor, ein barometrischer Drucksensor sowie ein Thermometer. Das GyroDRM bestimmt die Positionsänderung eines Nutzers in Bezug auf einen Startpunkt oder einen Initialisierungspunkt. Dies geschieht durch die Messung der Richtung und des zurückgelegten Weges bei jedem Schritt. Die Richtungsmessung erfolgt dabei mit dem elektronischen Kompass und Kreisel, die Bestimmung der Entfernung durch die Registrierung jedes Schrittes mit den Beschleunigungssensoren und einer vorher eingestellten Schrittlänge. Die Messungen werden kontinuierlich durchgeführt und ergeben einen Raumvektor. Diese werden zusammengeführt und ergeben die aktuelle Position des Nutzers (vgl. Levi et al. 1996).

Der eTrex Summit aus dem Hause Garmin (Garmin 2005) ist ein 12-Kanal GPS-Empfänger für den Einhandbetrieb. Er hat eine im Gerät integrierte GPS-Antenne und enthält zusätzlich einen elektronischen Kompass und einen barometrischen Höhenmesser. Durch den eingebauten Kompass kann der eTrex Summit auch bei Stillstand eine zuverlässige Richtungsangabe gewährleisten. Bei Bewegung werden weitere Daten zur Verfügung gestellt, wie z.B. die Geschwindigkeit, die Bewegungsrichtung, die Zeit oder aber auch die Entfernung zum Ziel.

Der HMR 3000 ist ein digitaler magnetischer Kompass der Firma Honeywell (2006). Neben der Richtung werden auch die Längsneigung (engl. pitch) und die Verrollung (engl. roll) des Sensormoduls bestimmt und zur Korrektur der Richtung verwendet. Der Kompass erreicht laut Hersteller eine Richtungsgenauigkeit von 0,5° mit 0,1° Auflösung.

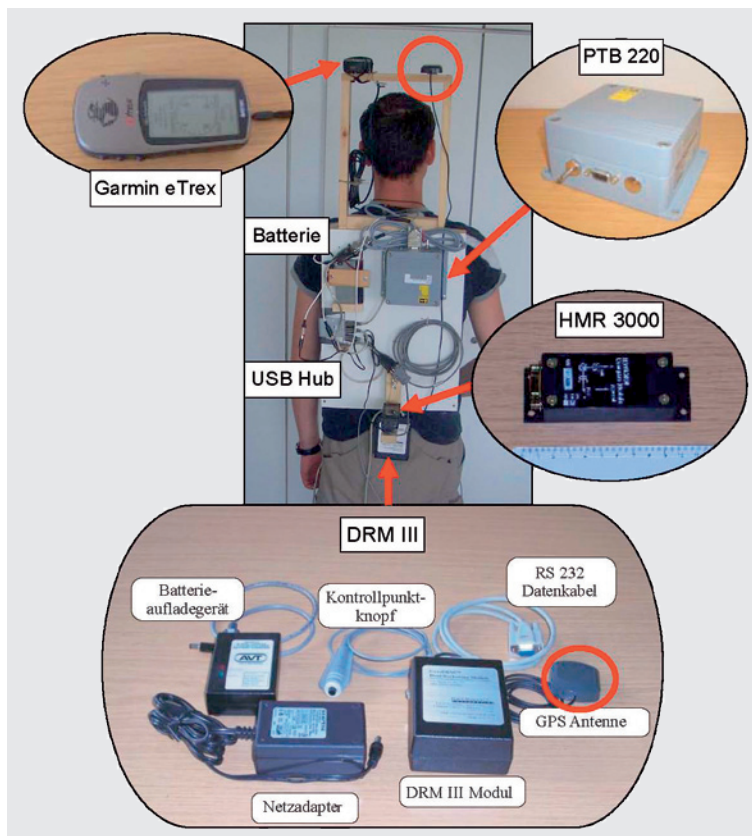


Abb. 4: Der Prototyp des Fußgängernavigationssystems NAVIO

Das PTB 220 ist ein digitales Barometer der Firma Vaisala (2006). Die Vaisala BAROCAP®-Digitalbarometer wurden für zahlreiche Anwendungen mit weiten Druck- und Temperatureinsatzbereichen konzipiert. Sie sind z. B. für den Einsatz in Wetterstationen, Datenerfassungsbojen, als Schiffsbarometer und vieles mehr geeignet. Der Sensor kann auch zur relativen Höhenmessung eingesetzt werden (siehe Retscher und Kistenich 2005).

Erst durch eine Auswahl geeigneter Messwerte der oben beschriebenen Sensoren und deren Integration in ein System ist eine kontinuierliche und zuverlässige Positionsbestimmung eines Fußgängers möglich. Daher werden die Sensoren zu einem Messsystem kombiniert und miteinander verlinkt. Dadurch kann dann eine Zusammenführung der Daten und in weiterer Folge eine zielführende Navigation erreicht werden. Für die Datenerfassung und die Auswertung steht ein MATLAB-Programm zur Verfügung, das im Rahmen des Projekts entwickelt wurde.

#### 4 Ergebnisse von Testmessungen

Zum Test der Sensoren des NAVIO-Systems wurden verschiedene Testgebiete ausgewählt. Im Testgebiet 1, welches sich beim Schloss Schönbrunn befindet, kann gezeigt werden, welche Genauigkeiten mit GPS-Messungen erreichbar sind, denn hier gibt es fast keine Abschattungen und somit ist die Satellitenverfügbarkeit ideal. Das

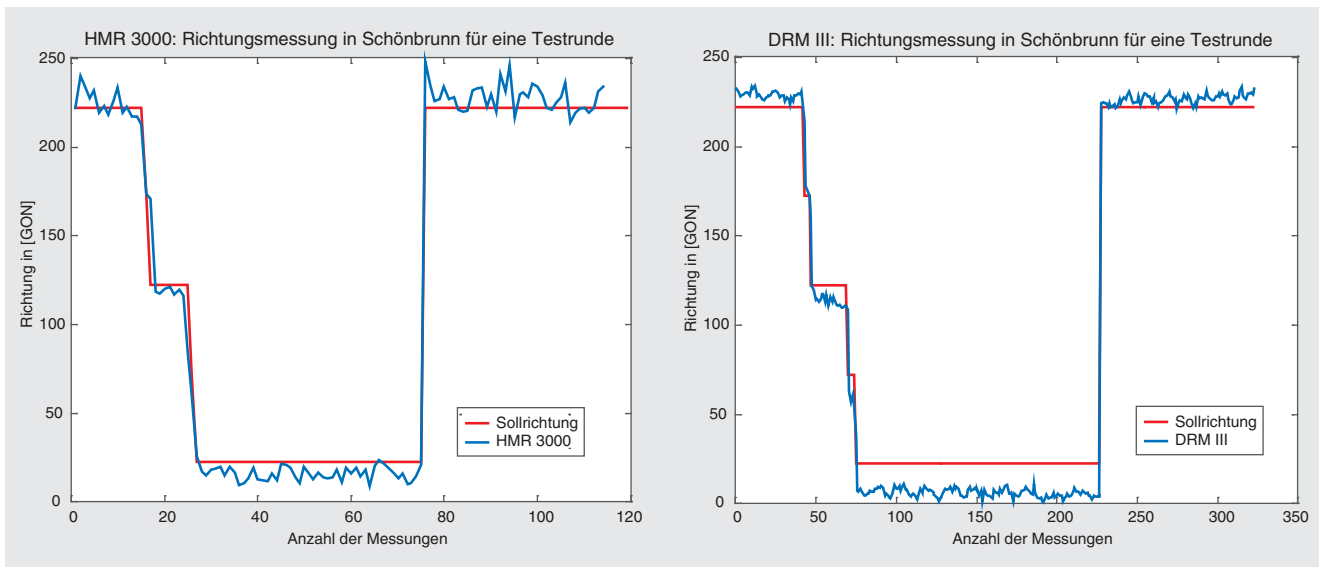


Abb. 5: Richtungsmessung des HMR 3000 (links) und des DRM III (rechts)

zweite Testgebiet befindet sich im städtischen Umfeld in der Umgebung unseres Institutsgebäudes der TU Wien im vierten Wiener Gemeindebezirk. Ein Problem in diesem Messgebiet stellt die schlechte GPS-Verfügbarkeit dar. Grund hierfür sind die großen Abschattungen durch Gebäude und Bäume in den engen Gassenschluchten. Hier kann getestet werden, wie sich die Koppelnavigation verhält, bzw. welche Genauigkeiten erreicht werden können, wenn die GPS-Messungen für einen längeren Zeitraum ausfallen. Zusätzlich fanden noch Tests in unserem Gebäude statt. Hierzu wurde eine Referenztrajektorie vom Haupteingang bis zu unseren Büroräumen im 3. Stock gelegt.

Nachdem Kalibrierungsmessungen durchgeführt worden waren, konnte mit den Messungen in den Testgebieten begonnen werden. Der Messablauf sieht wie folgt aus. Vorab werden alle in das System integrierten Sensoren aktiviert und mit der Erfassungssoftware verbunden, um mit der Datenaufzeichnung beginnen zu können. Wenn die Testperson am Startpunkt der bereits durch Markierungen gekennzeichneten Trasse angekommen ist kann mit der Datenaufzeichnung begonnen werden.

#### 4.1 Ergebnisse der Richtungsmessungen

Zur Richtungsmessung wurden zwei Sensoren verwendet, einerseits der im DRM III integrierte Kompass und Kreisel, andererseits der HMR 3000. Die Messungen wurden getrennt ausgewertet, um ihre Genauigkeiten und Messergebnisse vergleichen zu können. Die Richtungsbestimmung ist für die Koppelnavigation von großer Bedeutung. Neben der direkten Messung der Richtung mit dem HMR 3000 oder DRM III kann die absolute Richtung noch indirekt aus den Unterschieden der GPS-Koordinaten benachbarter Punkte aus den Messungen des im DRM III integrierten GPS-Empfängers oder des Garmin eTrex berechnet werden.

In Abb. 5 sind die kontinuierliche Richtungsmessung der beiden Sensoren und die Sollrichtung, welche aus den vorliegenden Positionen gerechnet wurde, dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Messwerte einem systematischen Fehlereinfluss unterliegen. Dieser Fehler wird als Bodyoffset bezeichnet, und vor der Beurteilung der zufälligen Fehler abgetrennt. Durch die Vielzahl der Wiederholungen der Messungen kann festgestellt werden, dass der Bodyoffset einer Zufallsvariablen entspricht und hauptsächlich von der Befestigung der Sensoren am Körper des Fußgängers abhängt. Der Offset variiert in Testgebiet 1 für den HMR 3000 zwischen  $\pm 9$  gon und für das DRM III zwischen  $\pm 15$  gon. Die Standardabweichungen der Messungen liegen beim HMR 3000 zwischen 4,1 und 7,3 gon und beim DRM III zwischen 2,3 und 4,5 gon. Das niedrigere Systemrauschen des DRM III spiegelt sich auch in den berechneten Richtungsänderungen wider, wie in Abb. 5 rechts zu sehen ist.

Die indirekte Bestimmung der Richtungen erfolgt aus der Differenz von GPS-Koordinaten. Die Genauigkeit dieser Methode hängt wesentlich vom Abstand zwischen den Punkten ab. Der Einfluss dieser bekannten Tatsache (je kürzer die Basislänge desto unsicherer ist die Richtungsbestimmung) soll an dieser Stelle nicht weiter untersucht werden. Die Berechnung der Richtungen erfolgt synchron zu der Messwernerfassung, als Zeitintervall wurden drei Sekunden gewählt. In dieser Zeit bewegt sich ein Fußgänger 1,5 bis 2,5 m. Tab. 1 zeigt eine Gegenüberstellung der Richtungsbestimmung des Garmin eTrex und des DRM III.

#### 4.2 Ergebnisse der Messung des zurückgelegten Weges

Die Bestimmung des zurückgelegten Weges erfolgt mit Hilfe der in das DRM III integrierten Beschleunigungssensoren, welche eine Schritterkennung ermöglichen. Diese

Tab. 1: Vergleich der Richtungsbestimmung im Messsystem in Testgebiet 1

	Richtung aus GPS		Richtung gemessen	
	Garmin eTrex	DRM III	HMR 3000	DRM III
Offset in [gon]	$\pm 1$	$\pm 8$	$\pm 9$	$\pm 15$
Standardabw. in [gon]	2–3	3–7	4,1–7,3	2,3–4,5
Verfügbarkeit	nur bei sehr gutem GPS-Empfang	nur bei sehr gutem GPS-Empfang	kontinuierlich	kontinuierlich
Vor- und Nachteile	kein Offset, niedriges Messrauschen	geringer Offset, großes Messrauschen	geringer Offset, großes Messrauschen	großer Offset, geringes Messrauschen

Sensoren messen die Beschleunigungen des Beckens. Die Schwierigkeit liegt darin, das Signal vom Messrauschen zu trennen. Eine Methode der Schritterkennung mittels Beschleunigungssensoren, die vielfach angewandt wird, wurde von Levi et al. (1996) entwickelt. Die Bewegungen des Beckens lassen sich als eine Überlagerung von Rotationen und Translationen beschreiben (Skolaut 2002). Tests bezüglich der Bewegungsanalyse wurden von Stokes et al. (1989) durchgeführt.

Allgemein kann gesagt werden, dass das Becken Längs-, Lateral- und Vertikalbewegungen ausführt. Den zurückgelegten Weg erhält man, indem man die Schrittlängen im Voraus bestimmt. Hierfür werden Strecken mit bekannter Länge abgegangen und die Schritte gezählt. Nach mehrmaligem Durchlauf dieser Prozedur kann eine mittlere Schrittlänge ermittelt werden.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Schrittlängen abhängig von der Fortbewegungsgeschwindigkeit sind. Die Fortbewegungsgeschwindigkeit schwankt zwischen 1,2 m/s (entspricht 4 km/h) und etwa 2 bis 2,5 m/s (7 bzw. 9 km/h). In letzterem Geschwindigkeitsbereich, man spricht vom Übergang zum Laufen, erfährt die Schrittlänge eine sprunghafte Verkürzung, um von da an wieder stetig zu wachsen. Dieser Sprung in der Schrittlänge steht im Zusammenhang mit der Steigerung der Schrittfrequenz. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schrittzahlen nur geringe Differenzen aufweisen, wenn mit normaler Geschwindigkeit gegangen wird und somit kann von einer zuverlässigen Zählung ausgegangen werden (Hiller 2006).

### 4.3 GPS-Messungen

Die unterschiedlichen Testgebiete zeigen die Grenzen der GPS-Messungen auf. Wie Abb. 6 zeigt, kann der Garmin eTrex Summit auch im verbauten Gebiet gute Ergebnisse liefern, doch leider fallen auch Messungen an, welche nicht für Navigationszwecke nutzbar sind. Messrunde 1 in Abb. 6 weist Unterbrechungen auf, was auf einen Aus-

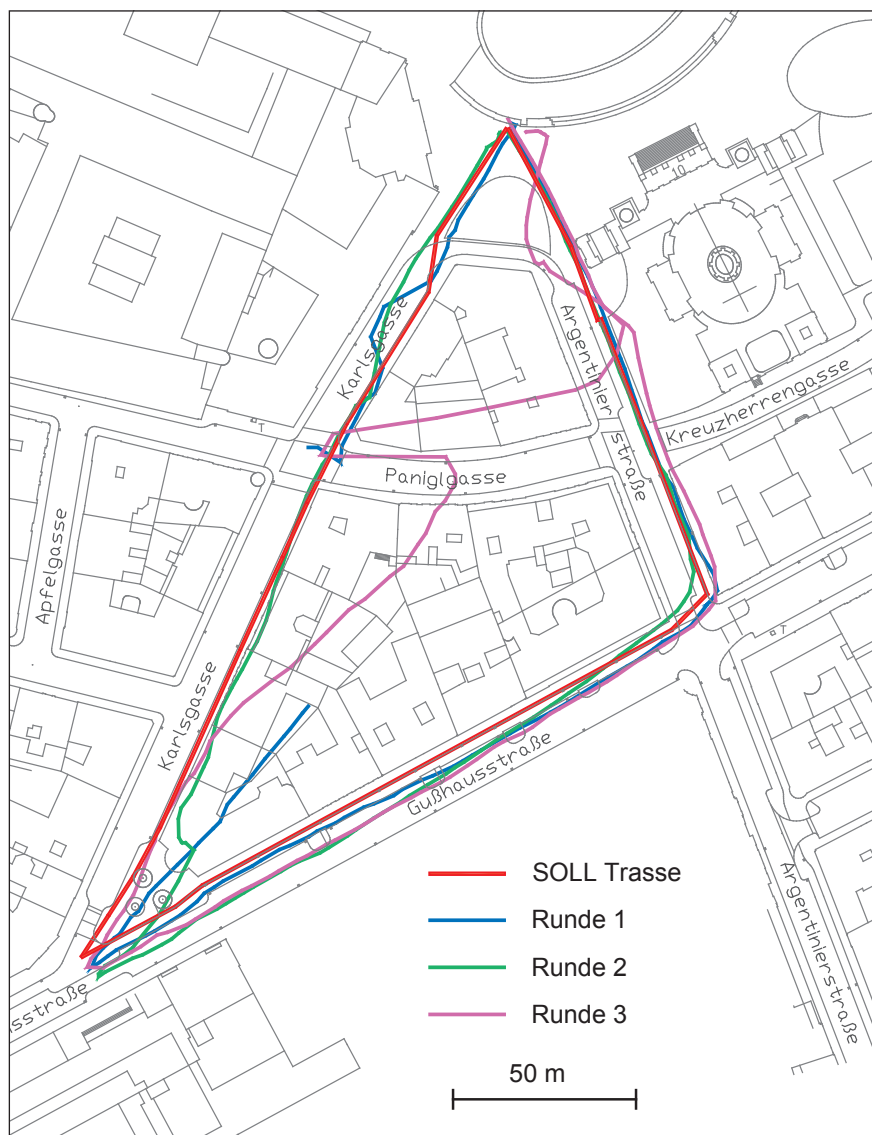


Abb. 6: Drei Messrunden des Garmin eTrex GPS Empfängers in Testgebiet 2

fall des GPS-Empfangs hinweist. An solchen Stellen wäre daher eine Positionierung nur mit GPS nicht zielführend. Runde 2 liefert ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis, wohingegen bei Messrunde 3 sehr große Abweichungen auftreten. Auch diese Runde würde den Genauigkeitsansprüchen einer Navigation nicht genügen.

#### 4.4 Kombinierte Lösung aus GPS und Koppelnavigation

Abb. 7 zeigt einen Vergleich der Messungen des DRM III in Testgebiet 1 (Schlosspark Schönbrunn) für zwei un-

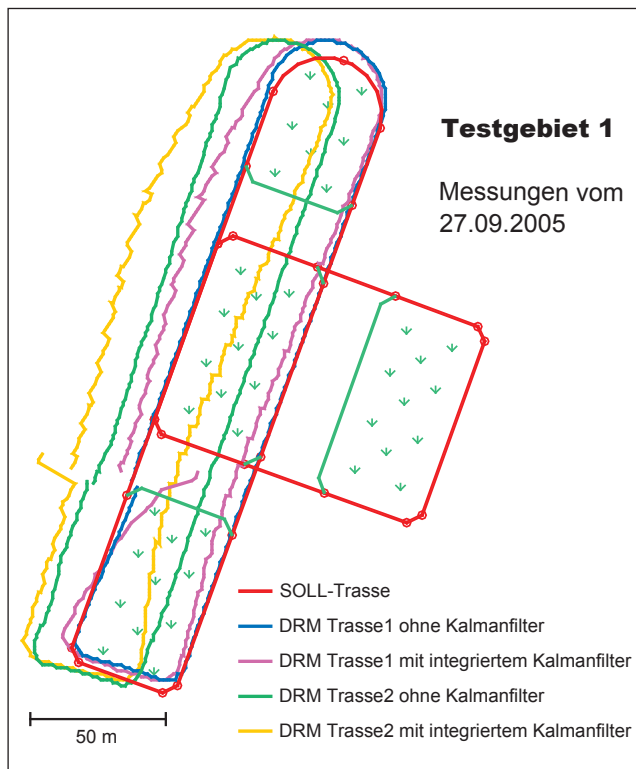


Abb. 7: Vergleich von zwei Messrunden des GyroDRM III mit und ohne aktivierten geräteinternen Kalmanfilter im Testgebiet 1

terschiedliche Messrunden. Dabei wurde ein kombinierte Positionslösung aus den GPS-Messungen und der Koppelnavigation mit einem geräteinternen Kalmanfilter bestimmt (DRM Trasse 1 bzw. 2 mit integriertem Kalmanfilter in Abb. 7). Im Vergleich dazu sind die Ergebnisse der GPS-Messungen dargestellt (DRM Trasse 1 bzw. 2 ohne Kalmanfilter in Abb. 7). Wie zu erkennen ist, sind in diesem Fall die reinen GPS-Messungen von höherer Genauigkeit als die gefilterten Werte. Weiterhin zeigt Abb. 7 relativ große Unterschiede zwischen den beiden Messrunden des DRM III. Dies liegt eventuell daran, dass die Messgenauigkeiten laut Hersteller bei etwa 10m bis 15m liegen und daher die Messungen in Runde 2 überdurchschnittliche hohe Genauigkeiten aufweisen.

Zur Integration und Kombination aller in Abschnitt 3 beschriebenen Sensoren wurde im Rahmen des NAVIO

Projekts ein neuer Kalmanfilteransatz (siehe Retscher 2006) eingesetzt. Bei einer kombinierten Positionsbestimmung mittels Kalmanfilterung für eine Messrunde in Testgebiet 2, bei der Messungen des Garmin eTrex herangezogen wurden, wo längere GPS-Ausfälle und große Abweichungen auftreten (vgl. Abb. 6), ergaben sich Abweichungen von der Solltrasse im Bereich weniger Meter (vgl. Abb. 4 in Thienelt et al. 2006). Die maximale Abweichung betrug 7,5 m an der Kreuzung zwischen Gusshausstrasse und Karls-gasse. Das Ergebnis bestätigt, dass unter Einbeziehung aller vorhandenen, brauchbaren Messwerte eine kontinuierliche Positionierung des Fußgängers auf jeden Fall durchgeführt werden kann, selbst wenn längere GPS-Ausfälle auftreten. Bei großen Positionierungsfehlern und großen GDOP wurde das Gewicht der GPS Messungen in der Kalmanfilterung reduziert und der Koppelnavigation ein größeres Gewicht zugewiesen. Andererseits wurde die Drift der Koppelnavigationssensoren mit guten GPS-Messungen korrigiert. Leider kann die größere Drift der Koppelnavigationssensoren (vor allem der Richtungsmessung) entlang der Gusshausstrasse und an der Kreuzung zwischen Gusshausstrasse und Karls-gasse nicht korrigiert werden, da Abschattungen durch die Gebäude und die Bäume in diesem Bereich keine GPS-Positionierung zulassen.

#### 4.5 Höhenmessung

Auch die Höhenmessung kann nicht nur auf eine Weise erfolgen. So kann man die Höhe aus den GPS-Messergebnissen erhalten oder aus den Messungen des Vaisala PTB 220. Letztere Methode ist vor allem in Gebäuden sehr wichtig, da hier GPS-Messungen entweder gar nicht durchgeführt werden können oder nur unzureichende Genauigkeit liefern. Untersuchungen dazu wurden in einer Diplomarbeit an der TU Wien durchgeführt und wurden in Retscher und Kistenich (2005) zusammengefasst. Es hat sich gezeigt, dass mit dem PTB 220 das Stockwerk sehr genau angegeben werden kann. Mehr als 90 % aller Messungen hatten eine maximale Abweichung von der Sollhöhe von weniger als 1m, wenn relativ von einer genauen Starthöhe ausgegangen wird.

### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Wie die umfangreichen Testmessungen ergaben, liegt die Schwierigkeit der Realisierung eines Fußgängernavigationssystems darin, die Sensoren so zu kombinieren, dass eine lückenlose Positionierung und in weiterer Folge eine fehlerfreie Navigation des Nutzers ermöglicht werden können. Die Richtungsmessung eines bewegten Objektes, in unserem Fall eines sich bewegenden Nutzers, ist nicht so einfach. Dadurch dass der Kompass jede Richtungsänderung registriert, der menschliche Gang aber relativ

unruhig ist, fallen viele fehlerbehaftete Messungen an. Beim DRM III werden für die Bestimmung des zurückgelegten Weges Beschleunigungssensoren eingesetzt. Die für die Schritterkennung eingesetzten Beschleunigungssensoren messen die Beschleunigung eines Fußgängers in allen drei Richtungen. Unterschiede in der Schritterkennung bei unterschiedlichen Fortbewegungsgeschwindigkeiten und daraus resultierende Differenzen der Beschleunigungen in Quer- und Fortbewegungsrichtung konnten in den Messungen festgestellt werden. Da die Beschleunigungen bei einer ruhigen, langsamen Gangart nicht so groß sind, kann der Sensor nicht jeden Schritt erkennen und daraus resultieren dann Schrittlängen von etwa 1,3 m bis 1,6 m, wohingegen 70 cm bis 80 cm realistische Werte sind, die bei einer durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit auch aus den Sensormessungen errechnet werden.

Zusätzlich muss ein Auswertalgorithmus eingesetzt werden, der eine optimale Positionsbestimmung aus den Messwerten aller verfügbaren Sensoren ermöglicht. Die kombinierte Positionsbestimmung erfolgt mittels einer Kalmanfilterung. Im Filter sollen nur die Messwerte verwendet werden, die einen Plausibilitätstest passiert haben und eine entsprechende Genauigkeit und Zuverlässigkeit aufweisen. Da der Schwerpunkt für gewöhnlich auf den GPS-Messungen liegt, müssen Kriterien definiert werden, wann die Messungen die vorbestimmten Genauigkeiten erreicht haben und wann nicht. Zur Beurteilung der Qualität der GPS-Messungen kann zum Beispiel der GDOP und die Standardabweichung der Positionslösung herangezogen werden. In Kombination mit der Koppelnavigation kann dann eine zuverlässige Positionierung und Navigation in urbanen Gebieten erreicht werden. Abschließend darf angeführt werden, dass das Ziel – die Positionierung und Zielführung eines Fußgängers mit dem System NAVIO – erreicht wurde und als Basis für den Einsatz dieser Technologie in der Zukunft dient. Weiterführend können die getesteten Sensoren nun in einen etwas alltagstauglicheren und benutzerfreundlicheren Prototypen integriert werden. Neben dem Einsatz als Navigationssystem für Besucher der TU Wien, wie dies im NAVIO Projekt vorgesehen ist, könnte solch ein System auch von Touristen genutzt werden, um eine Stadtführung zu erhalten. Zusätzlich dazu wäre es auch denkbar, das System mit einer Stimmausgabe zu kombinieren, um es für blinde Personen nutzbar zu machen.

#### Acknowledgements

Die in dieser Arbeit präsentierte Forschung wird zum Teil vom FWF Projekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) des Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Österreich, Projektnr. P16277-N04, unterstützt.

Die Autoren danken dem Projektmitarbeiter DI Michael Thienelt für die Unterstützung bei den Testmessungen und der Auswertung.

#### Literatur

- 3DNews (2005): 3DNews – Daily Digital Digest, <http://www.3dnews.ru/> (Letzter Zugriff: Mai 2006).
- Asus (2005): ASUS Computer GmbH (Deutschland/Österreich), <http://www.asus.de/> (Letzter Zugriff: Mai 2006).
- Garmin (2005): Garmin GPS Products, Garmin Ltd., USA, <http://www.garmin.at/index1.htm> (Letzter Zugriff: Mai 2006).
- Hiller, Ch. (2006): Test und Integration von Sensoren für die Positionsbestimmung in einem Fußgängernavigationssystem, Diplomarbeit, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, TU-Wien.
- Honeywell (2006): HMR 3000 Digital Compass Module, User's Guide, Honeywell International Inc., USA, [http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmr3000\\_manual.pdf](http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmr3000_manual.pdf) (Letzter Zugriff: Mai 2006).
- Levi R. W., Judd, T. (1996): Dead Reckoning Navigational System Using Accelerometer to Measure Foot Impacts, United States Patent No 5 583 776, 1996.
- Retscher, G. (2002): Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe: Integration in moderne Navigationssysteme. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, VGI 1/02, pp. 2–12.
- Retscher, G. (2006): A Knowledge-based Kalman Filter for an Intelligent Pedestrian Navigation System. Paper accepted for publication in Survey Review.
- Retscher, G., Kistenich, M. (2005): Höhenbestimmung in einem Gebäude mit einem digitalen Barometer für die Navigation von Fußgängern. Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), 10/2005, pp. 348–354.
- Retscher G., Kistenich, M. (2006): Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 131. Jahrgang, Heft 1/2006, pp. 25–35.
- Skolaut, G. (2002): Untersuchung von Messsensoren zum Einsatz in Navigationssystemen für Fußgänger, Diplomarbeit, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, TU-Wien.
- Stokes, V.P., Andersson, C., Forsberg, H. (1989): Rotational and Translational Movement Features of the Pelvis and Thorax during Adult Human Locomotion, Biomechanics Journal, Heft 22, Nr. 1, pp. 43–50.
- Thienelt M., Eichhorn, A., Reiterer, A. (2006): Kartenunabhängige Fußgängerortung – Prototyp eines wissenbasierten Kalman-Filters (WiKaF). Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 131. Jahrgang, Heft 4/2006.
- Vaisala (2006): PTB220 Digital Barometer, Vaisala, Finland, <http://www.vaisala.com/businessareas/instruments/servicesupport/userguides/barometricpressure/PTB220%20User%20Guide%20in%20English.pdf> (Letzter Zugriff: Mai 2006).
- Wayfinder (2005): Wayfinder Systems AB, <http://www.wayfinder.com/> (Letzter Zugriff: Mai 2006).

#### Anschrift der Autoren

Ass.-Prof. Dr.-Ing. Günther Retscher | Christoph Hiller  
 Institut für Geodäsie und Geophysik  
 Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie  
 Technische Universität Wien  
 Gusshausstraße 27-29, A-1040 Wien, Österreich  
 Tel.: +43 1 58801 12847, Fax: +43 1 58801 12894  
[gretsch@pop.tuwien.ac.at](mailto:gretsch@pop.tuwien.ac.at) | [ch\\_hiller@hotmail.com](mailto:ch_hiller@hotmail.com)