Höhenbestimmung in einem Gebäude mit einem digitalen Barometer für die Navigation von Fußgängern

Günther Retscher und Michael Kistenich, Wien

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld wurde ein Verfaheren zur korrekten Stockwerksbestimmung in mehrstöckigen Gebäuden entwickelt. Dabei wird ein digitales Barometer untersucht und die Ergebnisse in diesem Beitrag mitgeteilt.

1 Einleitung

Im FWF-Projekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) [Gartner et al., 2004] beschäftigen wir uns mit der Lokalisierung und Navigation von Fußgängern im Gebäuden und im städtischen Umfeld. Dabei kommen verschiedene Sensoren und Lokalisierungsmethoden zum Einsatz. Speziell für die Positionsbestimmung in Gebäuden wurden in letzter Zeit eine Reihe von Verfahren entwickelt, welche Signale wie Infrarot, Ultraschall, Radiosignale und digitale Bilder zur Positionsbestimmung nutzen [siehe Retscher und Kistenich, 2005]. Für einen Großteil dieser Verfahren gilt jedoch, dass die Lage des Nutzers innerhalb eines bestimmten Bereichs, zum Beispiel eines Stockwerks, gut bestimmt werden kann. Die Höhe allerdings und somit die Unterscheidungsmöglichkeit zwischen mehreren übereinander liegenden Bereichen ist zumeist nur sehr unzureichend bestimmt. Daher kann es dem Nutzer passieren, dass er seine Lage richtig bestimmt, aber nicht dem richtigen Stockwerk zuordnen kann. Dies kann zu einer fehlerhaften 3D-Positionierung führen und ist somit sehr unbefriedigend. Eine Möglichkeit, diese Umstand zu beheben, besteht darin, ein Positionierungssystem mit einen Sensor zu unterstützen, der zusätzlich eine Höhenbestimmung ausführt. Als Sensor kann ein digitales Barometer dienen, welches den Luftdruck misst. Im folgenden werden vorerst die physikalischen Grundlagen der barometrischen Höhenbestimmung kurz zusammengestellt und im Anschluss die Ergebnisse von Testmessungen mit einem Sensor in unserem Bürogebäude der TU Wien beschrieben.

2 Physikalische Grundlagen

Der Luftdruck ist eine Funktion der Höhe. Diese Gesetzmäßigkeit bildet die Grundlage für die barometrische Höhenmessung. Umgekehrt gilt aber auch, dass die Höhe eine Funktion des Luftdrucks ist. Dadurch wird die Bestimmung der Höhe aus Luftdruckmessungen ermöglicht. Allgemein kann zwischen Absolutdruck und Differenzdruck unterschieden werden. Der Absolutdruck bezeichnet dabei den Druck über absolut Null und hat ein ideales Vakuum als Referenzdruck. Wird der Referenzdruck frei gewählt, was bedeutet, dass er größer oder kleiner als der gemessene Druck sein kann, spricht man von Differenzdruck. Bei der barometrischen Höhenbestimmung arbeitet man mit dem Differenzdruck und ermittelt nur Druckdifferenzen in Bezug zu einem Referenzdruck. Der gemessene Luftdruck ist vor allem von der Höhe und der Lufttemperatur abhängig, wird aber auch geringfügig von der Luftfeuchtigkeit und der geographischen Breite beeinflusst [Kahmen, 1997].

Die Barometerformel von Jordan dient zur Umrechnung von Luftdruckdifferenzen in Höhendifferenzen unter Einbeziehung verschiedenster Störeinflüsse [Jordan et al., 1955; Kahmen, 1997]. Um auch die Einflüsse der Temperatur, der Schwerebeschleunigung, der geographischen Breite und der Luftfeuchtigkeit zu berücksichtigen, erweiterte Jordan die Grundgleichung um weitere Korrekturglieder. Gleichung (1) ist die endgültige Form der Barometerformel von Jordan [Jordan et al., 1955]:

$$\Delta H = 18400\ lg\frac{B_1}{B_2}(1+\alpha t_m)\cdot\left(1+0{,}377\frac{e_m}{p_m}\right)\cdot$$
$$(1+\beta cos\ 2\varphi_m)\cdot\left(1+\frac{2H_m}{r}\right) \qquad (1)$$

mit

- ΔH Höhendifferenz der beiden Punkte,
- B_1 Druck an der unteren Station,
- B_2 Druck an der oberen Station,
- α Ausdehnungskoeffizient,
- t_m Mittelwert der Temperatur beider Stationen,
- e_m Mittelwert des Dampfdrucks beider Stationen,
- p_m Mittelwert des Luftdrucks beider Stationen,
- β von der Erdabplattung abhängiger Schwerekoeffizient,
- φ_m Mittelwert der geographischen Breite beider Stationen,
- H_m Mittelwert der Höhe der beiden Stationen und
- r Erdradius.

Für die in der Gleichung (1) enthaltenen Koeffizienten α, β und r wird $\alpha = 0{,}003665$, $\beta = 0{,}00264$ und $r = 6370000$ m gesetzt.

Tab. 1: Parameter der Standardatmosphäre ISA 1976

Parameter		Wert	Einheit
Luftdruck auf Meeresniveau	p_0	101 325	Pa
Temperatur auf Meeresniveau	T_0	288,15	K
Abnahme der Temperatur mit der Höhe	a	0,0065	K/m
Mittlere Schwere	g_0	9,80665	m/s^2
Dichte der Luft	a	1,225	kg/m^3

Da die letzten drei Terme der Gleichung (1) nur sehr geringe Korrekturen beitragen und zur Vereinfachung der Anwendung, leitete Jordan eine vereinfachte Formel für Mitteleuropa ab. Die Größen, die darin einfließen sind B_1, B_2 und t_m. Die übrigen Größen wurden für Europa entsprechend festgelegt und sind Konstanten. Gleichung (2) zeigt die für Mitteleuropa vereinfachte Barometerformel von Jordan [Kahmen, 1997]:

$$\Delta H = 18464 \cdot (1 + 0{,}0037 t_m) \cdot (lgB_1 - lbB_2) \qquad (2)$$

Anstelle der Umrechnung der Luftdruckunterschiede in Höhenunterschiede mit der Barometerformel von Jordan kann auch von Standardhöhen ausgegangen werden. Standardhöhen sind barometrisch bestimmte Höhen, die auf der internationalen Standardatmosphäre (ISA) 1976 basieren. In diesem Fall wird in der gesamten Atmosphäre eine konstante Temperatur angenommen und es werden einige weitere Parameter entsprechend der internationalen Standardatmosphäre (ISA) 1976 festgelegt (siehe Tabelle 1). Durch die stark vereinfacht dargestellte Atmosphäre lässt sich leicht eine Beziehung zwischen Luftdruck und Höhe herstellen, ohne zusätzliche Größen messen zu müssen. Die Berechnung der Standardhöhen kann demnach direkt im Gerät erfolgen und benötigt als einzige Eingangsgröße den gemessenen Luftdruck.
Die Beziehung zwischen dem Luftdruck p und der Standardhöhe h_{SH} kann unter Festlegung der Parameter nach der internationalen Standardatmosphäre (ISA) 1976 durch Gleichung (3) hergestellt werden:

$$p = p_0 \cdot \left(\frac{T_0 - a h_{SH}}{T_0}\right)^n \qquad (3)$$

mit $n = \dfrac{g_0 T_0 \rho_0}{a p_0}$

und p_0 Luftdruck auf Meeresniveau,
T_0 Temperatur auf Meeresniveau,
a Abnahme der Temperatur mit der Höhe,
g_0 Mittlere Schwere und
ρ_0 Dichte der Luft.

Löst man nun Gleichung (3) nach h_{SH} auf, so erhält man folgende Gleichung für die Standardhöhe:

$$h_{SH} = \frac{T_0}{a} \cdot \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{n}}\right) \qquad (4)$$

Aus Gleichung (4) sieht man, dass die Standardhöhe im Wesentlichen vom bestimmten Luftdruck abhängt.

3 Sensoren für die barometrische Höhenbestimmung

Im Projekt NAVIO wurde das digitale Barometer PTB220 der Fa. Vaisala eingesetzt (siehe Abbildung 1). Dieses Barometer wurde so konstruiert, dass es einen großen Bereich des möglichen Druck- und Temperaturspektrums abdeckt. Es kann sowohl für Barometermessungen bei Raumtemperatur, als auch bei automatischen Wetterstationen eingesetzt werden. Die Arbeitstemperatur reicht von − 40 bis + 60 °C und der Bereich, in dem der Druck gemessen werden kann, liegt zwischen 500 und 1100 hPa. Das Vaisala PTB220 arbeitet mit einem BAROCAP Sensor aus Silikon, der von der Firma Vaisala für barometrische Druckmessungen entwickelt wurde. Von der Firma wird der Sensor als wenig temperaturabhängig und langzeitstabil, sowie sehr robust gegen Erschütterungen beschrieben. Der Aufbau eines BAROCAP Drucksensors ist in Abbildung 2 dargestellt. Eine Silikonschicht bildet die Grundplatte des Sensors. Darauf liegt getrennt durch eine Glasplatte eine weitere Silikonschicht auf. Diese zweite Schicht ist so geformt, dass zwischen den beiden Silikonschichten ein Hohlraum entsteht, in dem sich ein Vakuum befindet. Durch zwei Einschnitte an der oberen

Abb. 1: Vaisala Barometer PTB220A

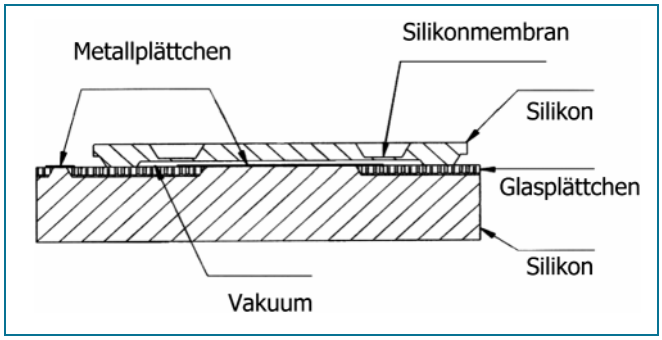

Abb. 2: Aufbau eines BAROCAP Drucksensors [nach VAISALA, 2000]

Silikonschicht entstehen zwei Silikonmembrane, die den Umgebungsdruck an den Hohlraum übertragen. Die obere Silikonschicht und ein dünnes Metallplättchen im Hohlraum bilden einen Kondensator, über den der Druck in eine elektrische Spannung umgewandelt wird. Bei den Messungen erhitzt sich der Sensor nicht selbst und auch die Elastizität des Silikons wird nur zu einem geringen Prozentsatz beansprucht.
Das PTB220 Barometer gibt es in verschiedenen Ausführungen mit ein bis drei Drucksensoren. Die endgültige Druckkalibrierung wird mit einem Ruska 2465 Prüfer durchgeführt und erfolgte bei dem verwendeten Sensor im Juli 2004. Der Vaisala PTB220 liefert als Ausgabewert nur den gemessenen Druck. Dieser muss dann mit Hilfe der Barometerformel von Jordan (Gleichung (1) oder (2)), unter Berücksichtigung verschiedener Korrekturen, in Höhen umgerechnet werden [Vaisala, 2000].

4 Testmessungen in einem Bürogebäude der TU Wien

Als Messgebiet diente das Elektrotechnische Institutsgebäude der TU Wien in der Gußhausstraße 27–29 im 4. Wiener Gemeindebezirk. Das Gebäude hat fünf Stockwerke und eine Dachterrasse im sechsten Stock, sowie drei Stiegenhäuser. Am Dach befinden sich 11 Messpfeiler, die ein Teil des österreichischen Festpunktfeldes fünfter Ordnung sind. Ihre Höhe im Landessystem ist somit bekannt. Um auch die Höhe des Erdgeschosses im Landessystem zu erhalten, wurde von einem Höhenfestpunkt am Karlsplatz ausgehend ein Nivellement in das Stiegenhaus des Gebäudes gelegt. So wurden die Referenzhöhen mit einer ausreichenden Genauigkeit bestimmt. Im Gebäude ist eine Klimaanlage installiert, die die Temperatur im gesamten Gebäude sehr konstant hält. Die Temperatur spielt eine wichtige Rolle bei der barometrischen Höhenmessung. Aus diesem Grund wird versucht, sie möglichst genau zu bestimmen. Dazu wurde ein Stangenschleuderthermometer von Schubert verwendet. Mit dem Vaisala Barometer PTB220 wurden drei verschiedene Untersuchungen durchgeführt. In einem ersten Schritt soll die Drift des Gerätes festgestellt werden. Dann wird untersucht, ob ein funktionaler Zusammenhang zwischen Druck- und Höhendifferenz besteht und daraus eine Kennlinie abgeleitet werden kann. Und zum Abschluss gilt es die Frage zu beantworten, ob mit Hilfe des PTB220 die verschiedenen Stockwerke bestimmt werden können. Die einzelnen Fragestellungen werden im Folgenden behandelt.

4.1 Bestimmung der Drift des Vaisala PTB220

Um die Drift des PTB220 bestimmen zu können, wurden verschiedene statische Messungen über längere Zeiträume durchgeführt. Zwei Messungen mit einer Dauer von einer Stunde erfolgten im Freien und zwei Messungen mit einer Dauer von zwei Stunden, sowie eine 48 Stunden Langzeitmessung erfolgten unter Laborbedingungen. Die Labormessungen wurden im Messkeller des Instituts für Geodäsie und Geophysik durchgeführt. Während der Messungen herrschte dort eine konstante Temperatur von 21 °C. Der Einfluss der Drift in der ersten halben Stunde der Messungen wird besonders genau untersucht, da die im weiteren Verlauf der Untersuchungen durchgeführten Messungen diese Zeitdauer nicht überschreiten.
Abbildung 3 zeigt eine der beiden Messungen im Freien, die auf dem Dach des Gebäudes auf einem Messpfeiler (Nummer 11) ausgeführt wurde. Die Höhe des Pfeilers beträgt 200,05 m. Die Messung erfolgte statisch auf dem Pfeiler und dauerte eine Stunde, von 18:00 bis 19:00 Uhr abends. Die Abtastrate betrug eine Messung pro Sekunde, was einem Gesamtumfang von etwa 3600 Messungen entspricht. Die Temperatur zu Beginn der Messung betrug 16,5 °C und sank bis zum Ende der Messung auf 15,8 °C ab. Ein Referenzdruck für die Messungen im Freien wurde von einer Wetterstation erhalten. Mit Hilfe des Referenzdrucks und den daraus ermittelten Druckschwankungen werden die beiden Messungen korrigiert. Die maximalen positiven und negativen Höhendifferenzen in der ersten halben Stunde dieser Messung betragen + 42 cm und − 64 cm. Die Bandbreite der ersten halben Stunde beträgt daher 106 cm. Wie in Abbildung 3 gut zu erkennen ist, bleiben die Messwerte über die gesamte Messdauer von einer Stunde innerhalb dieser Bandbreite ohne wegzudriften. Dies zeigt auch der Messwert nach einer halben Stunde, der nur um 4 cm vom Anfangswert entfernt ist. Die Messwerte ändern sich teilweise sehr sprunghaft, was auf den Wind zurückzuführen ist, der während der Messung am Dach wehte.
Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Langzeitmessung, die beinahe 50 Stunden dauerte und bei einer Abtastrate von zehn Sekunden etwa 17 600 Messungen lieferte. Die Langzeitmessung begann um 13 Uhr und endete zwei Tage später um 15 Uhr.
Von 18:00 bis 24:00 (bzw. 23:00) Uhr steigt der Luftdruck um 2,22 hPa am ersten Tag beziehungsweise 0,94 hPa am zweiten Tag an. In der Zeit von 24:00 (bzw. 23:00) bis 8:00 Uhr verhält sich der Luftdruck unterschiedlich; einmal steigt er um 0,75 hPa und einmal fällt er um 0,98 hPa. Von 8:00 bis 18:00 Uhr fällt der Luftdruck um 3,28 hPa.

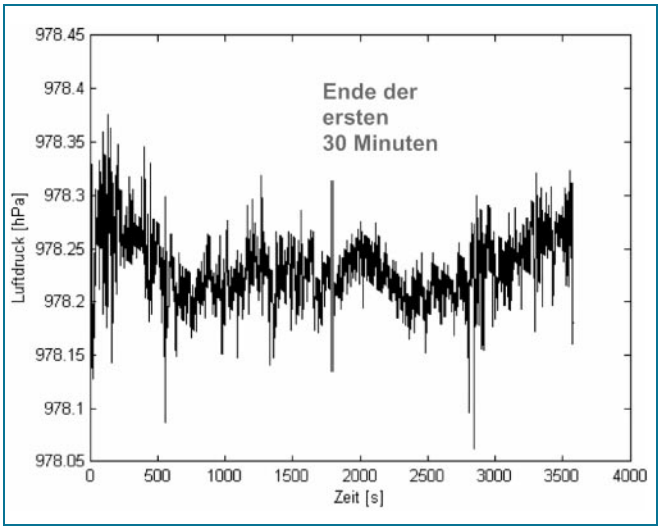

Abb. 3: Statische Messung mit dem PTB220 auf dem Messpfeiler 11 am Dach

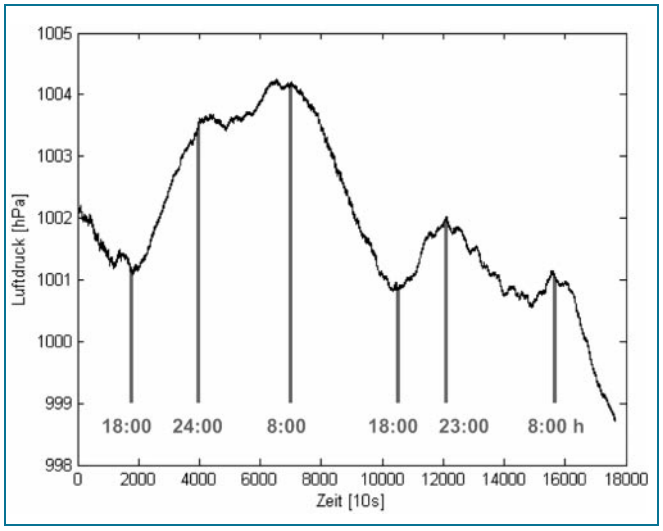

Abb. 4: Langzeitmessung mit dem PTB220 im Messkeller unter Laborbedingungen

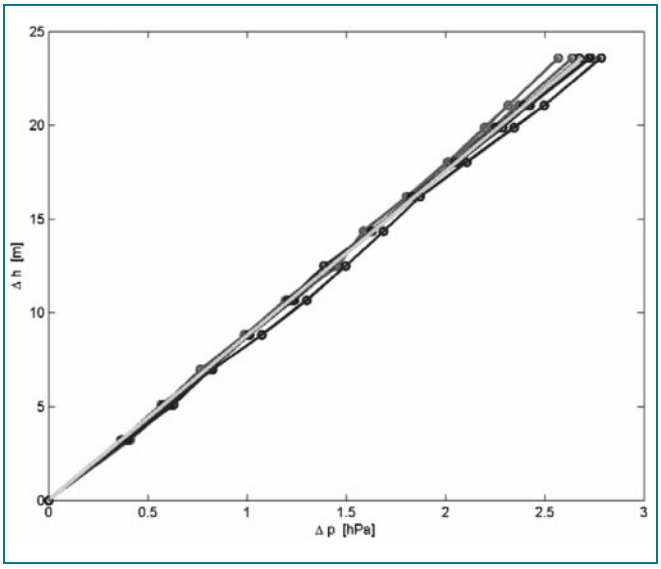

Abb. 5: Kennlinie aus sechs Messungen mit dem PTB220 am Morgen

Der Luftdruck im Messkeller folgt demnach einem Zyklus von Ansteigen, willkürlichem Schwanken und Fallen. Dies trat auch bei weiteren Messungen im Messkeller auf. Dieser Zyklus des Luftdrucks ist auf die im Gebäude installierte Klimaanlage zurückzuführen. Um trotz des Einflusses der Klimaanlage eine mögliche Drift aufzudekken, wird der gemessene Luftdruck an den markanten Zeitpunkten 8:00, 18:00 und 24:00 Uhr an den zwei aufeinanderfolgenden Messtagen verglichen. Der Luftdruck sinkt hier entweder um 3,32 hPa, 0,31 hPa und 1,59 hPa. Aus diesen Werten ist keine Drift ersichtlich. Dies bestätigen auch die abgeleiteten maximalen positiven und negativen Höhendifferenzen der Langzeitmessung. Diese betragen + 12,81 m und − 7,98 m. Die Bandbreite aller Messungen innerhalb von 50 Stunden beträgt daher 20,79 m.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei den statischen Messungen mit dem PTB220 keine Drift festgestellt werden konnte. Jedoch ist der Einfluss von Wind, Temperatur und der Klimaanlage auf den Luftdruck gut sichtbar. Für den Zeitraum der ersten halben Stunde des Betriebs, der für die weiteren Messungen entscheidend ist, wurde eine Luftdruckschwankung von rund + 0,15 hPa festgestellt. Bei einer Auflösung von 0,01 hPa ist der Vaisala PTB220 damit als stabil zu betrachten und es wird in der Folge keine Drift berücksichtigt.

4.2 Bestimmung einer Kennlinie des Vaisala PTB220

Im folgenden wurde untersucht, ob ein funktionaler Zusammenhang zwischen Druck- und Höhendifferenz besteht und dieser durch eine Kennlinie beschrieben werden kann. Wenn dem so ist, dann können die Höhendifferenzen über die Kennlinie direkt aus den Luftdruckdifferenzen bestimmt werden. Um einen guten Überblick über das Verhältnis zwischen Druck und Höhe über den gesamten Tag zu bekommen, wurden am Morgen, zu Mittag und am Abend jeweils sechs Messungen im Gebäude durchgeführt. Dabei wurden jeweils drei Messungen im Erdgeschoss und drei Messungen im Dachgeschoss begonnen. Die Messungen wurden im Stiegenhaus 1 durchgeführt und umfassten eine jeweils zwei Minuten dauernde statische Messung auf jedem Halbstock. Die Abtastrate betrug eine Messung pro Sekunde, wodurch an jedem Standpunkt rund 120 Messungen vorgenommen wurden. Die Temperatur wurde bei jeder Messung im Erdgeschoss, sowie im 2., 4. und 6. Stock mit dem Stangenschleuderthermometer von Schubert bestimmt. Für die dazwischen liegenden Standpunkte der Messung wurde die Temperatur interpoliert. Dieses Vorgehen scheint angesichts einer Temperaturdifferenz von zwei bis drei Grad im gesamten Gebäude aufgrund der Klimaanlage gerechtfertigt.

Ausgehend von den sechs Messreihen der jeweiligen Tageszeit wird eine Kennlinie bestimmt. Da die Messreihen einen annähernd linearen Verlauf haben, wird auch die Kennlinie durch einen linearen Ansatz modelliert. Abbildung 5 zeigt die Kennlinie, die aus Messungen am Morgen abgeleitet werden kann. Bei den Messungen wurde sowohl dreimal im Erdgeschoss als auch am Dach begonnen.

Die sechs Messreihen am Morgen stimmen gut mit der Kennlinie überein und zeigen auch voneinander kaum Abweichungen. Es macht keinen Unterschied, wo die Messungen begonnen wurden. Für die Kennlinie erhält man folgende Gleichung:

$$h = 8{,}769 \cdot p \tag{5}$$

Weitere Kennlinien zu unterschiedlichen Tageszeiten wurden berechnet und diese sind in der Diplomarbeit von Kistenich (2005) enthalten. Die Messungen haben ergeben, dass eine Kennlinie für das Gebäude bestimmt werden kann. Es ist sogar möglich, den unterschiedlichen Tageszeiten, Morgen, Mittag und Abends, unterschiedliche Kennlinien zuzuordnen. Diese sind jeweils linear und werden in Form von Geraden modelliert. Die Steigung der Kennlinie ist am Morgen am größten und sinkt immer mehr bis zum Abend. Es scheint wahrscheinlich, dass dies im direkten Zusammenhang mit dem vorhin beobach-

teten Luftdruckabfall zwischen 8:00 und 18:00 Uhr steht (vergleiche Abbildung 4).

4.3 Höhenbestimmung mit dem Vaisala PTB220

Abbildung 6 zeigt die Höhenbestimmung im Gebäude ausgehend vom Eingang in den 3. Stock, in dem sich unser Institut befindet, und weiter auf das Messdach. Die Höhenunterschiede wurden aus den Druckdifferenzen mit der Barometerformel von Jordan berechnet. Die Samplerate betrug eine Messung pro Sekunde, wobei die Messungen kinematisch durchgeführt wurden.
In Abbildung 6 können die einzelnen Stockwerke, die bei der Messung abgegangen wurden, eindeutig voneinander unterschieden werden. Dies wird auch durch die Berechnungen bestätigt. Insgesamt wurden 18 Messungen durchgeführt, bei denen jeweils vier Stockwerke abgegangen wurden. In 91 % der Fälle liegen alle Messungen eines Stockwerks innerhalb einer Soll-Ist-Höhendifferenz von ± 1 m. Bei den übrigen 9 % gibt es zumindest eine Messung, die diesen Wert überschreitet. Der Großteil der Messungen liegt aber deutlich darunter, wodurch die Messungen mit einer größeren Soll-Ist-Höhendifferenz als ± 1 m als Ausreißer angesehen werden können. Dies wird dadurch bestätigt, dass bei 80 % der Messungen die Standardabweichung der Soll-Ist-Höhendifferenz unter 50 cm liegt. Der größte Ausreißer aller 72 Messungen weist eine Soll-Ist-Höhendifferenz von 1,38 m auf. Auffallend ist, dass beinahe alle Ausreißer in jenen Messungen, die zur Mittagszeit durchgeführt wurden, vorkommen. Bei diesen Messungen liegen nur in 75 % der Fälle alle Messungen eines Stockwerks innerhalb einer Soll-Ist-Höhendifferenz von ± 1 m. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sich in dieser Zeit mehr Personen als sonst im Gebäude aufhalten, die durch das ständige Öffnen von Fenstern und Türen eine stärkere Luftzirkulation und damit verbunden eine Luftdruckveränderung verursachen. Die Morgen- und Abendmessungen sind frei von Ausreißern. Die Höhendifferenz zum Erdgeschoss kann demnach genau genug bestimmt werden, um den Nutzer dem richtigen Stockwerk zuzuordnen. Anstelle der Barometerformel von Jordan kann auch die mitteleuropäische Näherungsformel von Jordan (Gleichung (2)), da sich keine signifikanten Unterschiede bei der Auswertung ergaben.

4.4 Höhenbestimmung im Aufzug

Bisher wurden die Messungen nur im Schritttempo durchgeführt. Um herauszufinden, wie der Vaisala PTB220 auf größere Geschwindigkeiten reagiert und wie lange er braucht, um sich einer neuen Situation anzupassen, wurde eine Messung im Aufzug durchgeführt. Bei der Messung fuhr man im Erdgeschoss beginnend viermal in den dritten Stock und wieder retour. Dabei wurden bei jedem Halt im Erdgeschoss und im dritten Stock 20 Messungen durchgeführt, bevor wieder der Aufzug benutzt wurde. Abbildung 7 zeigt die bestimmten Höhendifferenzen der Messungen.
Man kann in der Abbildung 7 gut die beiden Ebenen des Erdgeschosses und des dritten Stockes erkennen. In 87 % der Fälle liegen alle Messungen eines Stockwerks innerhalb einer Soll-Ist-Höhendifferenz von ± 1 m. Der größte Ausreißer erreicht 1,67 m. Mit Ausnahme von zwei Standardabweichungen befinden sich alle innerhalb von ± 0,5 m. Das richtige Stockwerk kann also auch, wenn man mit dem Aufzug fährt, richtig bestimmt werden. Der Sensor muss sich nicht an die neue Situation anpassen und misst sofort den richtigen Luftdruck. Die Höhenbestimmung ist also im gesamten Bereich des Gebäudes möglich.

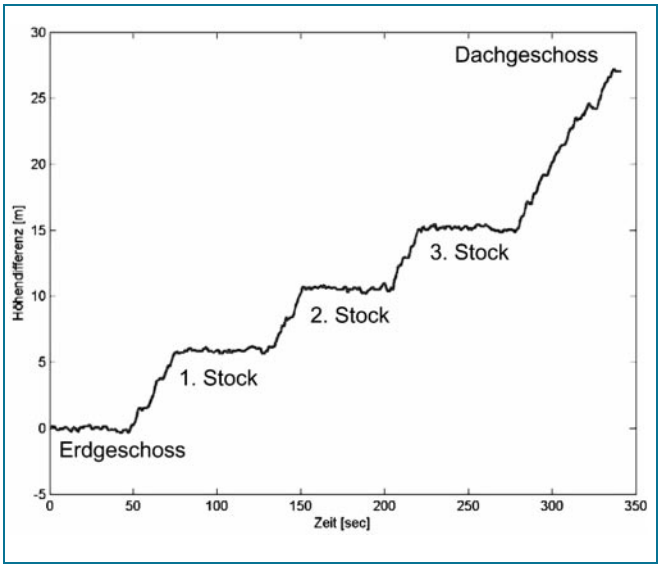

Abb. 6: Höhenbestimmung mit der Barometerformel von Jordan

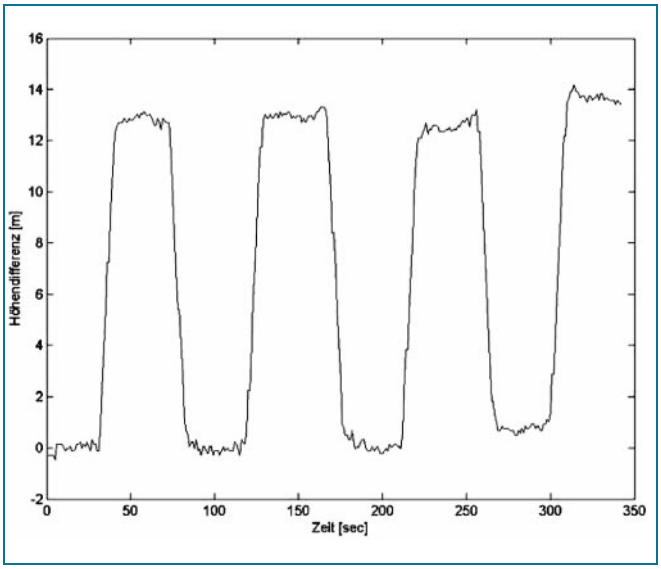

Abb. 7: Kinematische Höhenbestimmung im Erdgeschoss und 3.Stock bei der Messung im Aufzug

5 Zusammenfassung und Ausblick

In den beschriebenen Untersuchungen konnte eindeutig festgestellt werden, dass mit einem digitalen Barometer eine Bestimmung des korrekten Stockwerks eines mobi-

Tab. 2: Vergleich der verschiedenen Auswerteergebnisse

Höhenbestimmung	Standardabweichung < 50 cm	Ausreißer < 1 m	max. Ausreißer
Barometerformel von Jordan	80 %	91 %	1,38 m
Mitteleuropäische Näherungsformel von Jordan	81 %	91 %	1,41 m
Kennlinie am Morgen	92 %	100 %	0,89 m
Kennlinie zu Mittag	62 %	62 %	1,85 m
Kennlinie am Abend	67 %	83 %	1,41 m

len Nutzers möglich ist. Für die Messungen wurde das digitale Barometer PTB220 der finnischen Fa. Vaisala eingesetzt. Die Druckdifferenzen wurden in Höhenunterschiede mit der Barometerformel von Jordan und der mitteleuropäischen Näherungsformel von Jordan umgerechnet. Dabei konnten kaum Unterschiede zwischen den Ergebnissen, die mit den beiden Gleichungen berechnet wurden, festgestellt werden. Um neben dem Luftdruck keine anderen Parameter bestimmen zu müssen, wurden drei Kennlinien für das Gebäude bestimmt, nämlich eine für den Morgen, Mittag und Abend. Mit diesen erhält man einwandfreie Ergebnisse für die lineare Umrechnung der Druckunterschiede in Höhendifferenzen. Größere Ausreißer treten nur bei der Nutzung der Kennlinie zu Mittag auf, da hier größere Luftdruckunterschiede vorherrschten und die Störeinflüsse durch Personen im Gebäude am größten sind. Tabelle 2 enthält eine Zusammenfassung aller Ergebnisse.

Literatur

[1] Gartner, G.; Frank, A.; Retscher, G. (2004) Pedestrian Navigation System in Mixed Indoor/Outdoor Environment – The NAVIO Project, in: Schrenk M. (Ed.): CORP 2004 and Geomultimedia04. Proceedings of the CORP 2004 and Geomultimedia04 Symposium, February 24–27, 2004, Vienna, Austria, pp. 165–171, http://corp.mmp.kosnet.com/CORP_CD_2004/archiv/ papers/CORP2004_GARTNER_FRANK_RETSCHER.PDF, Letzter Zugriff 07.2005

[2] Kahmen, H. (1997) Vermessungskunde. 19. Auflage, Walter de Gruyter, Belin, New York, pp. 475–482 (German)

[3] Kistenich, M. (2005) Indoor Positioning: Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden, Diplomarbeit, Institut für Geodäsie und Geophysik, TU Wien

[4] Jordan, W.; Eggert, O.; Kneissl, M. (1955) Handbuch der Vermessungskunde, Band III, Carl Ernst Poeschel Verlag, pp. 436–525

[5] Retscher, G. (2004) Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne und Intelligente Navigationssysteme und -dienste, Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation VGI, Heft 3–4, 2004, pp. 136–144

[6] Retscher, G.; Kistenich, M. (2005) Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden, Paper submitted to Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (ZfV)

[7] Vaisala (2000) PTB220 Series Digital Barometers Userÿs Guide, Benutzerhandbuch, veröffentlicht von Vaisala Oyj, 107 Seiten, siehe auch http://www.vaisala.com/businessareas/instruments/ servicesupport/userguides/barometricpressure/PTB220%20User%20Guide%20in%20English.pdf, Letzter Zugriff: 08.2005

Acknowledgements

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

Adresse der Autoren
Ass.-Prof. Dr.-Ing. Günther Retscher; Michael Kistenich
Institut für Geodäsie und Geophysik, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27–29, A-1040 Wien, Österreich
Tel.: + 43/1/5 88 01-1 28 47, Fax: + 43/1/5 88 01-1 28 94
E-mail: gretsch@pop.tuwien.ac.at oder michael.kistenich@gmx.at

Kurzfassung

Die Lokalisation und Navigation von Personen und Objekten in Gebäuden hat in letzter Zeit sehr stark an Bedeutung gewonnen. Für diese Aufgabe wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt, die jedoch größtenteils nur in der Lage sind eine zweidimensionale Positionierung auszuführen und somit eine Angabe des korrekten Stockwerkes in einem mehrstöckigem Gebäude meistens nicht möglich ist. In einer Diplomarbeit haben wir uns im Rahmen unseres Forschungsprojektes NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) mit dieser Fragestellung eingehend beschäftigt. Für die Höhenbestimmung hat sich der Einsatz eines digitalen Barometers als vorteilhaft erwiesen. Die wesentlichen Erkenntnisse und Ergebnisse von Feldversuchen werden in diesem Beitrag zusammengestellt.

Abstract

The importance for the location determination of persons and objects in multi-storey buildings systems has significantly increased in recent years. For this task several methods have been developed. Mostly they are able to locate a user, however, only in two dimensions and the correct floor of user in a multi-storey building cannot be determined. In a diploma thesis conducted at our University under the research project NAVIO (Pedestrian Navigation Systems in Combined Indoor/Outdoor Environements) we have concentrated on open questions regarding the location determination of a user on the correct floor in a building. We have found out that the use of a digital barometric pressure sensor is favourable for the height determination. The main results of field tests using such a sensor are presented in this paper.