

# Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit der mobilen Geodatenerfassung mit Freihandmesssystemen

**Boris Resnik,  
Universität Rostock**

**Erst die gezielte Kombination von verschiedenen Sensoren und Messverfahren ergibt eine effektive Möglichkeit, Geodaten im mittleren Maßstabbereich kostengünstig zu erfassen. Neben den GPS-Empfängern treten dabei insbesondere polare Handssysteme vermehrt in Erscheinung, da sie die bekannten Nachteile des GPS-Verfahrens teilweise ausgleichen können.**

## 1 Einführung

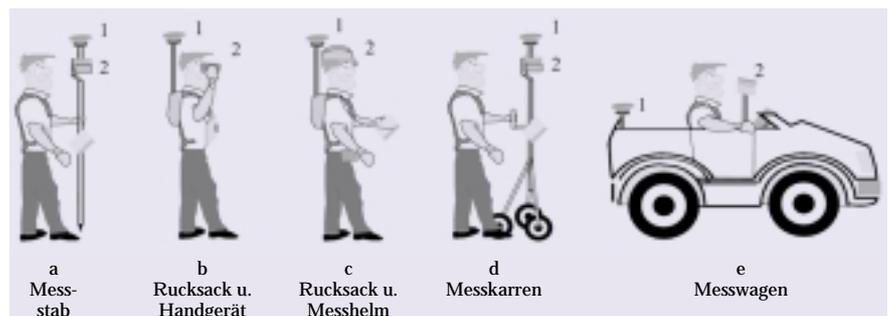
Geo-Informationssysteme (GIS) haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung in allen Tätigkeitsbereichen gewonnen, in denen mit Karten und anderen raumbezogenen Daten gearbeitet wird. Wesentlicher Bestandteil aller Geo-Informationssysteme sind digitale Daten. Bei der Erfassung dieser Daten wird in der Regel der Raumbezug der einzelnen Objekte in Koordinatenform erfasst, wobei alle bekannten Vermessungsmethoden als direkte Datenlieferanten dienen können. Die Genauigkeitsanforderungen ergeben sich dabei im Wesentlichen aus dem Zielmaßstab, für den die Daten erhoben werden, wobei der Begriff „Maßstab“ ausschließlich in Bezug auf die Generalisierungsstufe der Objekte zu verstehen ist. Bei der Felderfassung im mittleren Maßstabbereich (ab 1:10 000) müssen für das klassische Vermessungswesen eher ungewöhnliche Positionierungsgenauigkeiten ab  $\pm 1$  m gewährleistet werden.

In der Aufbauphase eines GIS-Datenbestandes erfolgt die Datenerfassung in der Regel auf der Basis der Digitalisierung von analogen Kartenbeständen am Bildschirm. Ergänzend dazu werden Methoden der Luftbild- und Satellitenbilddauswertung eingesetzt [1]. Mit dem Abschluss der Ersterfassung und dem Beginn der Fortführung gewinnt die „selektive“ Felderfassung der morphologisch oder thematisch ausgewählten und veränderten Einzelobjekte an Bedeutung. Während im konventionellen Vermessungsbereich die exakte Lagebestimmung im Gelände seit jeher Gegenstand ist, bedient sich die GIS-Fortführung im mittleren Maßstabbereich bisher oftmals noch sehr einfacher und vielfach ungenauer Methoden (Messband, Kompass, Abschreiten usw.). Selbstverständlich ist dabei ein digitaler Datenfluss nicht gegeben und die Qualität der so gewonnenen Informationen lässt zu wünschen übrig.

Mit der Entwicklung und Verbreitung der GIS-Anwendungen werden von verschiedenen Herstellern zunehmend spezielle computergesteuerte Messsysteme auf Basis der Handheld-GPS-Empfänger angeboten, die eine kostendämpfende und

gleichzeitig geometrisch korrekte Geodatenerfassung ermöglichen sollen. Die damit bereits gesammelten Erfahrungen zeigen allerdings, dass auch die satellitengestützten Verfahren keine allumfassende Problemlösung darstellen. Vielmehr scheint erst die gezielte Kombination der verschiedenen Verfahren bzw. Sensoren eine effektive und somit kostengünstige Feldarbeit zu ermöglichen. Neben den GPS-Empfängern treten dabei insbesondere polare Handssysteme vermehrt in Erscheinung, da sie den Ausgleich von gewissen Nachteilen des GPS-Verfahrens bei großen Abschattungen bzw. bei der Einmessung unzugänglicher Punkte ermöglichen.

Die modernen Handheld-Empfänger und -Totalstationen sind sehr kompakt gebaut und können auf verschiedene Weise kombiniert werden. Die konventionelle geodätische Lösung für die GPS-Antenne ist z. B. der Vermessungsstab, an dem auch andere Sensoren und Feldcomputer übereinander montiert werden können (Abbildung 1a). Da bei der Geodatenerfassung im mittleren Maßstabbereich die genaue Zentrierung in der Regel entfällt, bevorzugen die Hersteller von speziellen GPS-Empfängern die



**Abb. 1: Multisensorsysteme (1 - GPS-Antenne, 2 - Polarsystem)**

Rucksacklösung. Das Polarsystem kann in diesem Fall als Handgerät bzw. als Messhelm ausgelegt werden (Abbildung 1b, 1c). Von einzelnen Dienstleistungsunternehmen wurden bereits fahrzeuggebundene Messsysteme (Pkw bzw. Messkarren) realisiert, mit denen vor allem von Straßen bzw. Wegen aus eine schnellere Datenerfassung möglich ist (Abbildung 1d, 1e).

## **2 Testmessungen mit Handheld-GPS-Empfängern**

Seit dem Erreichen des Endausbauzustandes des Global-Positioning-Systems (GPS) bietet seine Nutzung häufig wirtschaftliche und leistungstechnische Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren bei der Lösung von Vermessungsaufgaben in einem breiten Genauigkeitsspektrum. So werden z.B. vielfach Zentimeter- bzw. Millimetergenauigkeiten bei der GPS-Anwendung in der Ingenieur-, Landes- oder Liegenschaftsvermessung usw. gefordert. Solche Genauigkeiten sind im Allgemeinen nur bei der Verwendung von Trägerphasen als primären Messgrößen sowie der Bestimmung der Phasemehrdeutigkeiten und relativer Positionierung möglich. Da bei der Geodatenerfassung in den Bereichen Planung, Umwelt, Wasser-, Land- und Forstwirtschaft, Katastrophenschutz usw. oftmals lediglich Genauigkeiten im Meterbereich gefordert werden, können GPS- bzw. DGPS-Codemessungen mit den relativ preiswerten Handheld-Empfängern durchgeführt werden. Unter den Nutzern dieser Geräte ist inzwischen eine starke Euphorie anzutreffen, die sich unter anderem auf gesunkene Preise und die einfache Gerätebedienung begründet. Sehr oft wird dabei nicht berücksichtigt, dass diese Empfänger nur eine begrenzte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der gewonnenen Informationen gewährleisten.

Während im Vermessungswesen die Zuverlässigkeit der präzisen GPS-Beobachtungen mit einer gewissen Skepsis betrachtet wird und bereits mehrfach umfangreiche Genauigkeitsuntersuchungen durchgeführt wurden, orientieren sich die Anwender von Handheld-Empfängern meistens an den Verkaufsangaben der Hersteller. Um zuverlässige Genauigkeitsaussagen auch für solche Messungen zu schaffen, wurden am Institut für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock im Winter 1998–1999 umfangreiche Testmessungen durchgeführt [7]. Seit diesen Untersuchungen fanden einige prinzipielle Änderungen statt, die die Genauigkeit der getesteten Geräte erheblich beeinflussen. Zum einen wurden im Mai 2000 die Maßnahmen zur absichtlichen Verringerung der Systemgenauigkeit durch Selective Availability (SA) komplett abgeschaltet. Zum anderen befinden wir uns gegenwärtig in einer Phase maximaler Sonnenaktivitäten, wodurch der ionosphärische Einfluss auf die Ausbreitung der GPS-Signale um den mehrfachen Betrag angestiegen ist. Vor diesem Hintergrund sind die Untersuchungen unter Einbeziehung zusätzlicher Geräte im Winter 2000–2001 fortgeführt worden.

Es wurden Messungen in einer Ortslage und in einem Waldgebiet vorgenommen. Die in der Ortslage durchgeführten Testmessungen beziehen sich auf das im Jahr 1998 festgelegte klassische Netz aus 25 Kontrollpunkten (Abbildung 2). Die Punkte dieses Testfeldes wurden so gewählt, dass eine Abschattung von 15 bis zu 40% fast ausschließlich durch Hauswände verursacht wird. Bei der Auswertung wurden die aus den GPS-Messungen abgeleiteten Koordinaten mit den terrestrischen Referenzwerten (elektronische Tachymetrie) verglichen und der mittlere Punktfehler  $s_p = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$  ermittelt, der bekanntlich aus den getrennt berechneten Standardabweichungen in den beiden Koordinatenrichtungen  $s_x$  und  $s_y$  abgeleitet werden kann.



Abb. 2: Testfeld „Parkplatz“

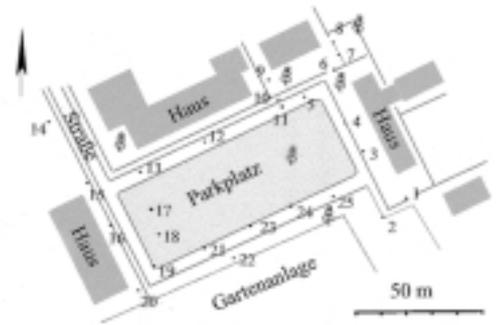


Abb. 3: Testfeld „Wald“



In den Jahren 1998–1999 wurden die Handheld-Empfänger von fünf Herstellern in den Vergleich einbezogen, wobei sich die Standardabweichungen der Lagebestimmungen ohne Korrekturdaten bei allen Empfängern sehr ähnelten und in der überwiegenden Mehrzahl im 30-m-Bereich bewegten. Aus den wiederholten Messungen in den Jahren 2000–2001 wurde ersichtlich, dass gerade die Anwender der Code-GPS-Empfänger im Einzelpunktmodus (ohne Korrekturdienste) von der Abschaltung der SA-Maßnahmen einen besonders großen Nutzen hatten. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse hat sich erheblich verbessert, wobei aber auch

deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Empfängern festgestellt werden konnten (Tabelle 1). Im Gegensatz zu dieser mehrfachen Genauigkeitssteigerung hatte die Abschaltung der SA-Maßnahmen auf die Genauigkeit der DGPS-Positionierung nur eine relativ geringe Auswirkung von 10–50%.

Bei der Analyse der vorgestellten Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Effektivität der Korrekturen mit wachsender Entfernung zur Referenz- bzw. Sendestation abnimmt und die Genauigkeitsangaben für bestimmte DGPS-

Dienste nicht ohne weiteres auf andere Bundesländer übertragbar sind. Die in der Tabelle 1 angegebenen Genauigkeitsangaben treffen außerdem für Punkte mit mittleren Abschattungen von ca. 25% zu. Unter günstigeren Bedingungen (vollständige Horizontfreiheit) werden diese Werte etwa um den Faktor 1,5 übertroffen. Dagegen zeigt sich in Punktlagen mit starker Abschattung von 40–50% – wie sie oft in Ortslagen vorkommen – eine um ca. 50% höhere Ungenauigkeit (siehe auch Abschnitt 3).

Bei den Messungen im Wald kann dagegen nur bedingt von einer Abschattung gesprochen werden, weil die GPS-Signale durch Belaubung und dünne Äste nicht voll reflektiert, sondern nur unterschiedlich stark gedämpft bzw. verzerrt werden. Um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit kurzzeitiger GPS-Messungen unter solchen Bedingungen zu überprüfen, wurde ein zweites Testnetz aus elf markierten Punkten in einem zum Teil sehr dichten Waldstück mit hohen Laub- und Nadelbäumen angelegt (Abbildung 3). Die bereits abgeschlossenen Testmessungen in der blätterlosen Vegetationsperiode (Tabelle 2) haben bewiesen, dass GPS-Messungen durchaus auch in sehr dichtem Wald ohne direkte „Sichtverbindung“ zu den Satelliten

Tab. 1: Ergebnisse der Testmessungen in der Ortslage (Abschattung von ca. 25%)

| Empfänger         | Korrekturdienst        | Zahl der Messungen | Mittlerer Punktfehler [m] |
|-------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| Garmin, Sammit    | -                      | 75                 | 10,6                      |
| Garmin, 12        | -                      | 50                 | 8,9                       |
| Magellan, 315     | -                      | 75                 | 9,8                       |
| Breithaupt, Espos | -                      | 100                | 7,6                       |
| Garmin, II Plus   | -                      | 800                | 4,9                       |
| Leica, GS 50      | -                      | 300                | 2,9                       |
| Garmin II Plus    | ALF, Frankfurt/M.      | 60                 | 3,9                       |
| Garmin II Plus    | Küstenfunk, Wustrow    | 150                | 3,2                       |
| Breithaupt, Espos | AMDS, Berlin           | 150                | 4,0                       |
| Leica, GS 50      | ALF, Frankfurt/M.      | 200                | 1,6                       |
| Leica, GS 50      | Eigene Referenzstation | 75                 | 1,2                       |

**Tab. 2: Ergebnisse der Testmessungen im Wald (Abschattung von ca. 55%)**

| Empfänger         | Korrekturdienst     | Zahl der Messungen | Mittlerer Punktfehler [m] |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Garmin, Sammit    | -                   | 44                 | 21                        |
| Garmin, 12        | -                   | 44                 | 22                        |
| Magellan, 315     | -                   | 44                 | 17                        |
| Breithaupt, Espos | -                   | 88                 | 8,7                       |
| Garmin, II Plus   | -                   | 240                | 7,3                       |
| Leica, GS 50      | -                   | 88                 | 4,7                       |
| Garmin, II Plus   | Küstenfunk, Wustrow | 66                 | 5,8                       |
| Garmin, II Plus   | ALF, Frankfurt      | 44                 | 6,5                       |
| Breithaupt, Espos | AMDS, Berlin        | 44                 | 7,8                       |
| Leica, GS 50      | ALF, Frankfurt      | 132                | 3,3                       |

möglich sind. Die berechneten Koordinaten zeigen dabei allerdings eigenartige Variationen und eine größere Anzahl von Ausreißern.

Bei der Verarbeitung von stark gestörten sowie sehr schwachen Satellitensignalen wurde bei allen getesteten Empfängern eine deutliche Genauigkeitsverschlechterung um etwa den Faktor 1,6–2,0 im Vergleich zum Testfeld „Parkplatz“ (Tabelle 1) festgestellt. Dies tritt besonders bei den Handheld-Empfängern mit einer integrierten Antenne (Garmin Sammit und 12, Magellan 315) auf. Die deutlich besseren Eigenschaften des Empfängers GS 50 (Leica) wurden auch durch diese Testmessungen bestätigt. Diese Tatsache kann daher auch als Rechtfertigung des wesentlich höheren Preises dieser Geräte gelten. Abgesehen vom schlechteren Empfang der Satellitensignale wird man bei den Waldmessungen mit häufigen Störungen und Unterbrechungen des Korrektursignals konfrontiert, was sich in einem wesentlich höheren Zeitaufwand auswirkt. Die Anwendung des DGPS-Verfahrens ist in diesem Fall aufgrund der bescheidenen Genauigkeitssteigerung von ca. 30% aus wirtschaftlichen Gründen nicht immer zu rechtfertigen.

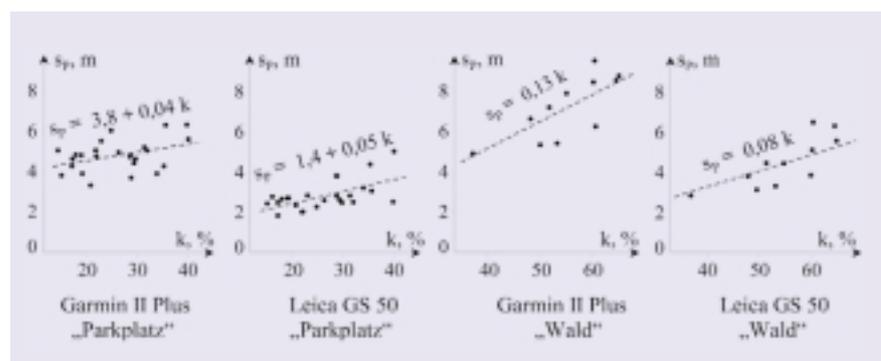
### 3 Analyse der Testergebnisse

Für den ungestörten Empfang von GPS-Signalen muss bekanntermaßen die sog. „Sichtverbindung“ zu den entsprechenden Satelliten bestehen, die durch Bebauung oder

Vegetation erheblich eingeschränkt werden kann. Die vorgestellten Genauigkeitsabschätzungen entsprechen deswegen den Punkten mit den Abschattungen von ca. 25% (Ortslage) bzw. 55% (Wald) und sind nicht ohne weiteres auf Messungen unter anderen Bedingungen übertragbar. Um den Zusammenhang zwischen Abschattung und Genauigkeit empirisch zu ermitteln, wurde für alle Kontrollpunkte die Einschränkung der Horizontfreiheit durch einfache Azimut- und Elevationswinkelmessungen bzw. durch digitale Photographie in Form von Abschattungskoeffizienten  $k$  (%) erfasst [4]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden exemplarisch anhand von umfangreichen Messungen mit den Empfängern Garmin II Plus und Leica GS 50 veranschaulicht (Abbildung 4). Aus diesen Graphiken ist ersichtlich, dass schon bei einer Abschattung von 40% in der Ortslage und von 60% im Wald eine Verdoppelung der Messunsicherheit auftreten kann.

Die Positionsabweichungen durch die (derzeit abgeschalteten) SA-Maßnahmen hatten einen extrem kurzperiodischen Charakter. Um sie durch DGPS-Korrekturen sicher ausgleichen zu können, musste früher deren Gültigkeit auf einige Sekunden begrenzt werden. Weil nach Abschaltung der SA-Maßnahmen die meisten verbliebenen Fehlereinflüsse (Orbitfehler, ionosphärische und troposphärische Laufzeitfehler usw.) nur einen sehr geringen Signalanteil mit Perioden von weniger als einer Minute haben, können zzt. die Korrekturwerte wesentlich länger ohne Genauigkeitsverluste verwendet werden. Diese Tatsache wurde exemplarisch mit dem System Espos überprüft, indem bei allen 25 Punkten des Testfeldes „Parkplatz“ nach dem Beginn der Messungen der AMDS-Korrekturdatenempfänger ausgeschaltet wurde. Die mit einer Messrate von 5 Sekunden gespeicherten Koordinaten wurden getrennt ausgewertet, so dass für jedes Korrekturalter die eigene Standardabweichung berechnet werden konnte. Die Ergebnisse von drei unabhängigen Messreihen werden in der Abbildung 5 dargestellt und beweisen, dass auch Korrekturwerte von 40–50 sec keine wesentliche Genauigkeitsverschlechterung verursachen und durchaus verwendet werden können.

Die Leistungsfähigkeit moderner Handheld-Empfänger geht über die Grundfunktion „Positionsanzeige“ weit hinaus. Mit diesen Geräten können z. B. die Koordinaten aus mehreren Epochen automatisch gespeichert bzw. gemittelt werden. Die Genauigkeitssteigerung durch sol-

**Abb. 4: Einfluss der Abschattung auf die Positionierungsgenauigkeit**

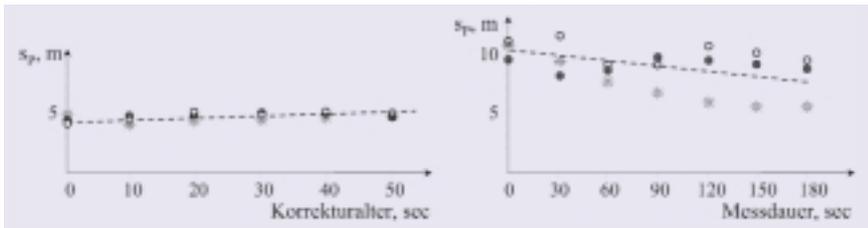


Abb. 5: Positionierungsgenauigkeit mit dem Empfänger Espos (Breithaupt)

che verlängerten Messungen in der Ortslage wurde bereits bei früheren Tests untersucht, wobei keine signifikante Verbesserung der Ergebnisse festgestellt wurde [7]. Da die Dämpfung bzw. Beugung der GPS-Signale durch Vegetation eine relativ kurzperiodische Fehlerquelle darstellt, müssen die Genauigkeitsvorteile der verlängerten Messungen bei den Waldmessungen etwas deutlicher ausfallen. Diese Tatsache wurde mit dem System Espos im Einzelpunktmodus beim Testfeld „Wald“ untersucht. Die gespeicherten Ergebnisse von 36 Messepochen (Messrate von 5 sec) für jeden Kontrollpunkt wurden für diese Zwecke schrittweise um 30 Sekunden gekürzt. Bei der Auswertung wurden die mittleren Koordinaten und die entsprechenden Standardabweichungen für die so entstandenen Messintervalle ermittelt (Abbildung 5). Obwohl man aus wirtschaftlichen Gründen bei den meisten Vermessungsaufgaben um möglichst kurze Beobachtungszeiten bemüht ist, kann anhand dieser Ergebnisse die Verlängerung der GPS-Messungen bis zu einigen Minuten besonders für Punkte mit einer starken Vegetationsabschattung durchaus empfohlen werden.

#### 4 Testmessungen mit polaren Handmesssystemen

Die auf den Nahbereich abgestimmten polaren Multisensorsysteme aus Laserentfernungsmesser, elektronischem Kompass und Neigungssensor werden seit einigen Jahren von mehreren Firmen angeboten und sind erfolgreich in einem breiten Anwendungsspektrum im Einsatz [3]. Neben anderen geometrischen Informationen können mit diesen Geräten die Koordinaten der erfassten Objekte durch Messung des

nach magnetisch Nord orientierten horizontalen Winkels, des Zenitwinkels und der Raumstrecke von einem bereits koordinierten Standpunkt aus ermittelt werden. Damit können diese Geräte die Handheld-GPS-Empfänger bei großen Abschattungen bzw. bei der Einmessung unzugänglicher Objekte effizient ergänzen. Das Genauigkeitspotenzial der kommerziell verfügbaren polaren Messsysteme wurde am Institut für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock

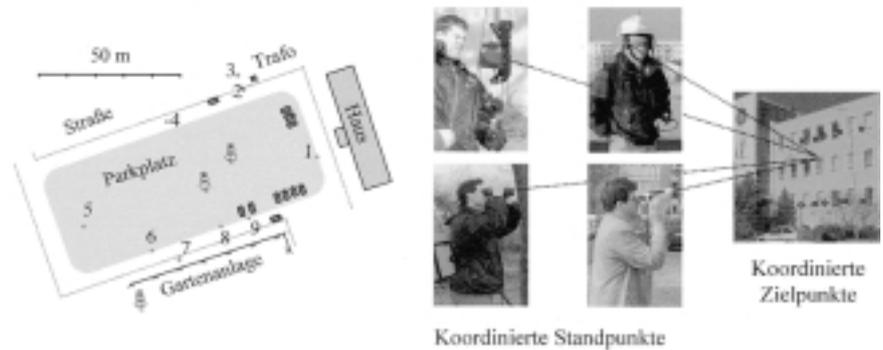


Abb. 6: Genauigkeitstests für polare Handmesssysteme

durch umfangreiche Testmessungen untersucht.

Für diese Testmessungen standen die Messsysteme Mapstar-Ladis (Breithaupt), Vektor (Leica) sowie Generation-II-Surveyor und LaserAce-300 (MDL) zur Verfügung. Von den koordinierten Punkten des oben erwähnten Testfeldes „Park-

platz“ (Abbildung 6) wurden die ebenfalls mit hoher Genauigkeit bestimmten Zielpunkte an der Hauswand eines angrenzenden Gebäudes eingemessen. Durch die standardmäßige statistische Auswertung der Messungen konnten zuverlässige empirische Standardabweichungen für die gemessenen Entfernungen  $s_D$  und Höhenunterschiede  $s_H$  berechnet werden. Eine Übersicht dieser Werte geben die entsprechenden Spalten der Tabelle 3. Aus diesen Experimenten wurde ersichtlich, dass sich die Entfernungs- bzw. Höhenabweichungen in der überwiegenden Mehrzahl im dm-Bereich bewegten, was bei den geforderten Positionierungsgenauigkeiten ab  $\pm 1$  m keine Probleme verursachen sollte. Die ermittelten magnetischen Azimute unterliegen dagegen in bewohnten Gebieten starken Schwan-

kungen und werden gelegentlich bis zu 7–8 gon verfälscht, was sich auch in den entsprechenden Standardabweichungen  $s_A$  widerspiegelt.

Da die durch vielfältige Einflüsse verursachten Azimutabweichungen an einem Messpunkt zum Großteil in allen gemessenen Richtungen gleichartig auftreten, lassen sie sich

Tab. 3: Ergebnisse der Testmessungen mit den Freihandsystemen

| Gerät                                       | Zahl der Messungen | Empirische Standardabweichungen |              |                  |                    |
|---|--------------------|---------------------------------|--------------|------------------|--------------------|
|   |                    | Entfernung $s_D$ m              | Höhe $s_H$ m | Azimut $s_A$ gon | Richtung $s_R$ gon |
| Mapstar-Ladis, Breithaupt                   | 450                | 0,1                             | 0,2          | 2,2              | 0,9                |
| Vektor, Leica                               | 220                | 0,2                             | 0,2          | 1,9              | 0,7                |
| Generation-II-Surveyor, MDL                 | 120                | 0,3                             | 0,3          | 2,9              | 0,9                |
| LaserAce-300 mit Horizontalwinkelgeber, MDL | 120                | 0,1                             | 0,2          | -                | 0,2                |

durch Differenzbildung zum Teil eliminieren. Die verbleibenden Standardabweichungen der Richtungsmessungen  $s_R$  sind entweder auf kurzfristige Störungen des magnetischen Feldes oder auf mangelnde Anzielgenauigkeit ohne Fernrohr zurückzuführen. Die Zuverlässigkeit der Richtungsmessungen kann wesentlich verbessert werden, wenn anstatt des elektronischen Kompasses ein „lowcost“ Horizontalwinkelgeber (z. B. LaserAce-300) eingesetzt wird.

Da die Testmessungen mit den Systemen Vektor (Fernglas), Mapstar-Ladis und LaserAce-300 (Messstab) bzw. Generation-II-Surveyor (Messhelm) parallel durchgeführt werden konnten, war die Möglichkeit gegeben, diese Geräte bzw. Ausführungen direkt zu vergleichen. Zu den Vorteilen des Stabsystems gehört offensichtlich die bessere Zentrierbarkeit, konstante Instrumentenhöhe und stabile Orientierung bei der Steuerung des Messablaufs. Diese Vorteile machen sich besonders bei kurzen Entfernungen bis zu 30 m bemerkbar. Das optische System des Fernglases bringt bei kurzen Entfernungen und Messungen „von Hand“ keine Genauigkeitsvorteile, da die Anzielung bei der Betätigung der Steuerungstaste sehr oft erheblich verfälscht wird. Eine wesentlich bessere Zielidentifikation lässt sich jedoch bei den Entfernungen ab ca. 50 m feststellen, so dass sich die genannten Vorteile beider Systeme bei Messungen bis zu 100 m weitgehend kompensieren. Die Anwendung des Messhelms ist nach unseren Erfahrungen nur dann vorteilhaft, wenn der Anwender bei der Datenerfassung im Gelände auf beide Hände zur Steuerung anderer Sensoren bzw. zur sichereren Fortbewegung angewiesen ist. Zu den Nachteilen des Systems zählt unter anderem die relativ große horizontale Exzentrizität von ca. 20 cm zwischen Mess- und Anzielsystem, die besonders bei kurzen Entfernungen die Genauigkeit beeinflusst.

Bei den in der Tabelle 1 aufgelisteten Ergebnissen handelt es sich sicherlich um ungünstigste Bedingungen für Azimutmessungen, weil die Winkelmessungen durch die in der

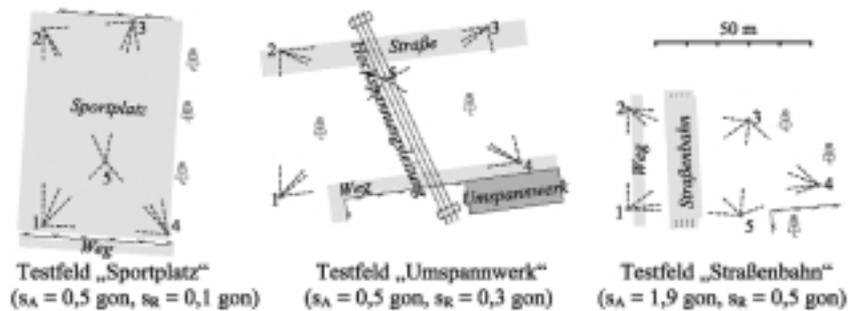


Abb. 7: Testfelder für Messungen

unmittelbaren Nähe von den Standpunkten befindlichen Autos und Stromanlagen erheblich beeinflusst worden sein könnten. Um das Genauigkeitspotenzial der kommerziellen polaren Messsysteme bei verschiedenen Bedingungen zu untersuchen, wurden weitere Testfelder geringer Ausdehnung mit je fünf markierten Punkten (Abbildung 7) vorbereitet. Unter Beibehaltung der einmal vorgenommenen Einstellungen wurden die Vermessungsstative auf den Kontrollpunkten nacheinander mit dem Messsystem Mapstar-Ladis bzw. mit der Zieltafel besetzt. Abschließend wurden sowohl die ermittelten Azimute als auch die Richtungen mit den Referenzwerten (elektronische Tachymetrie) verglichen. Wie aus den in der Abbildung 7 vorgestellten Ergebnissen ersichtlich wird, unterscheiden sich die Standardabweichungen der Azimutmessungen für die verschiedenen Messfelder erheblich und variieren zwischen 0,5 und 2 gon. Dabei ist die untere Grenze dieses Bereiches auf die mangelnde Anziel- bzw. Ablesegenauigkeit bei den ansonsten optimalen „störfreien“ Bedingungen zurückzuführen.

Letztlich ist die Genauigkeit der Lagebestimmung mit polaren Handsystemen im Wesentlichen von der Qualität der Winkelmessung abhängig. Je

größer die gemessene Distanz  $D$  ist, desto stärker wirkt sich die Azimutabweichung auf die Koordinatenberechnung aus. Als ein zweidimensionales Genauigkeitsmaß für grobe Abschätzungen kann der mittlere Punktfehler  $s_p = s_A^{(\text{rad})} \cdot D$  verwendet werden. Die Zuverlässigkeit der Georeferenzierung in der Ortslage kann wesentlich verbessert werden, wenn anstatt der Azimute die Richtungen in Bezug auf einen bereits koordinierten Zielpunkt ermittelt werden. Der mittlere Punktfehler kann in diesem Fall nach der Formel  $s_p = \sqrt{2} \cdot s_R^{(\text{rad})} \cdot D$  abgeschätzt werden. Bei der Berechnung der mittleren Punktfehler muss in beiden Fällen außerdem berücksichtigt werden, dass die Standpunktkoordinaten in der Regel ebenfalls mit bestimmten Abweichungen (z. B. aus der GPS-Positionierung) behaftet sind.

## 5 Analyse der Testergebnisse

Bei den Winkelmessungen mit einer konventionellen Bussole stellt sich die Magnetnadel des Kompasses automatisch in die Richtung „Magnetisch Nord“ ein, wobei die magnetischen Richtungswinkel (Azimute) mit einem passenden Teilkreis direkt ermittelt werden können. Wegen erheblichen Einflusses durch örtliche Störmassen wurden solche



Abb. 8: Zeitliche und räumliche Variationen bei den Winkelmessungen [gon]

Winkelmessungen im klassischen Vermessungswesen immer als ungenau und nicht zuverlässig betrachtet. Das Kernstück der polaren Handmesssysteme bilden elektronische Magnetsensoren, bei denen ebenfalls die magnetische Richtkraft der Erde für die Winkelmessung ausgenutzt wird [6, 8]. Weil diese Sensoren aber genauso wie die konventionellen Bussolen für örtliche magnetische Störungen anfällig sind, wird durch Ablesung von Bruchteilen des Winkels eine falsche Sicherheit vorgetauscht. Um den Ablenkungsfehler kleiner als 0,2 gon zu halten, sind bei solchen Messungen ebenfalls Hochspannungsmasten in 40 m, hohe Laternenmasten in 15 m, Gartenzäune in 10 m und eingleisige Eisenbahnlinien in mindestens 70 m zu umgehen [2]. Diese Bedingungen sind in bebauten Gebieten kaum zu erfüllen, was sich auch in den vorgestellten Ergebnissen der Testmessungen widerspiegelt.

Die grundsätzlich aufgetretenen Probleme bei den Winkelmessungen mit den elektronischen Magnetsensoren werden exemplarisch anhand von drei in einem zeitlichen Abstand von ca. einer Stunde durchgeführten Messreihen (System Mapstar-Ladis, Testfeld „Parkplatz“) veranschaulicht. Für jeden Standpunkt wurden anhand von Winkelmessungen zu mehreren koordinierten Kontrollpunkten die eigene Nadelabweichung von Gitter-Nord ermittelt. Wie aus der Abbildung 8 ersichtlich wird, zeigen die berechneten Werte innerhalb einer Messreihe signifikante Unterschiede von bis zu 6–7 gon, die durch erhebliche magnetische Störungen von den geparkten Autos, Laternen, Stromversorgungsanlagen usw. hervorgerufen werden. Da bei den Winkelmessungen in der Regel lediglich die

mittlere Nadelabweichung des Sensors berücksichtigt werden kann, können derartige Erscheinungen bei der Datenerfassung beträchtliche Probleme verursachen.

Bei allen mit elektronischen Sensoren eingeführten Neuerungen ist zu beachten, dass die Zuverlässigkeit der Messungen auf Grund der genauen Abgreifung nur scheinbar verbessert wird. So ist bei den Winkelmessungen wie bisher darauf zu achten, dass bei den unmittelbar am Instrument stehenden Personen keine Eisenteile vorhanden sein dürfen, da sie eine Ablenkung der Magnetnadel bewirken [2]. Bei der Arbeit mit asymmetrisch zueinander angeordneten elektronischen Geräten und besonders bei Messungen von einem Fahrzeug aus (siehe Abbildung 1) sind diese Bedingungen kaum zu erfüllen. Folglich herrscht in der Umgebung des Multisensorsystems ein eigenes Magnetfeld, dessen Stärke und Orientierung von der relativen Lage aller Bestandteile abhängig ist. Bei einer Drehung des Systems im Magnetfeld der Erde finden zyklische Variationen statt [5], die durch einen Vergleich der geodätischen Richtungswinkel mit den magnetischen Streichwinkeln zu mehreren kreisförmig verteilten Festpunkten festgestellt werden können. Der Einfluss dieser Variationen auf Winkelmessungen wird exemplarisch anhand von zwei nacheinander durchgeführten Kalibrierungen mit dem System Mapstar-Ladis veranschaulicht. Aus der Abbildung 9 ist der zyklische Charakter der Variationen mit Amplituden von ca. 2 bzw. 6 gon deutlich zu erkennen. Die wesentlich größeren Abweichungen bei der zweiten Messreihe wurden lediglich durch einen Rucksack mit der üblichen GPS-Ausrüstung hervorgerufen.

Um die von den elektronischen Sensoren „mitgebrachte“ Ablesegenauigkeit bei der Geodatenerfassung voll ausschöpfen zu können, muss die Kalibrierung des Polarsystems in der gleichen Konstellation durchgeführt werden, die später bei den Messungen vorgesehen ist. Wenn die Orientierung des eigenen Störfeldes gegen die Zielachse des Polarsystems bei den Messungen konstant bleibt, können bei einer solchen Kalibrierung ebenfalls die zyklischen Komponenten berücksichtigt werden. Das vorgeschlagene Modell [5] beschreibt die komplizierten Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Störfeldern nicht vollständig, kann jedoch von Nutzen sein, um die groben Fehler bei den Messungen zu vermeiden.

## 6 Zusammenfassende Bewertung

Da Geodaten durch die Entwicklung des GIS-Bereiches in den letzten Jahren zum wertvollen und Gewinn bringenden Rohstoff geworden sind, wird zurzeit verstärkt nach einer kostendämpfenden und gleichzeitig geometrisch korrekten Lösung bei der Datenerfassung im mittleren Maßstabbereich gesucht. Den Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsvorteilen der konventionellen geodätischen Verfahren stehen dabei vor allem kostenrelevante Nachteile entgegen. Die vorgestellten Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der kommerziell angebotenen „low-cost“ GPS- und polaren Messsysteme ließen ihre prinzipielle Eignung für die GIS-Datenerfassung erkennen. Da die Automatisierung der Erfassung mit diesen Geräten einen hohen Grad von Perfektion erreicht hat, ist es jedoch schwer oder unmöglich, bei den Messungen die aktuellen physikalischen bzw. geometrischen Bedingungen zu kontrollieren und somit grobe Fehler zu vermeiden. So können die Objektkoordinaten auch bei extrem starken Abschattungen der GPS-Signale oder bei magnetischen Störungen des elektronischen Kompasses berechnet werden. Da bei der GIS-Datenerfassung mehrfache un-

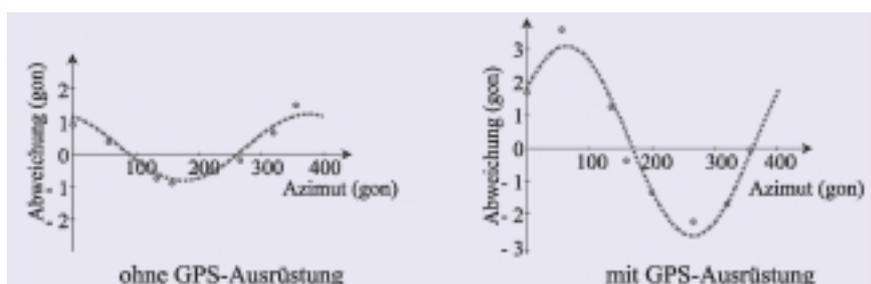


Abb. 9: Einfluss des eigenen magnetischen Feldes des Messsystems

abhängige Messungen eher eine Ausnahme sind, können diese Erscheinungen bei der späteren Datenanalyse beträchtliche Probleme verursachen. Bei der Benutzung von Handheld-GPS-Empfängern wächst dabei die Bedeutung der richtigen Voreinstellungen für den automatischen Messablauf und der entsprechenden Grenzwerte (in erster Linie die DOP-Zahl und das Signal/Rausch-Verhältnis). Bei der Anwendung von polaren Messsystemen sind dagegen die Erfahrung und Vernunft des Nutzers gefragt. Obwohl die Reichweite der Geräte in der Regel mehrere hundert Meter beträgt, können sie in der Ortslage lediglich bei Entfernungen bis zu 50–60 m sinnvoll eingesetzt werden. Wenn unmittelbar am Messpunkt starke magnetische Störfelder (geparkte Autos, Stromanlagen usw.) wirksam sind, stößt der routinemäßige Einsatz der Magnetsensoren auch bei wesentlich kleineren Entfernungen an seine Grenzen. Die Zuverlässigkeit der Georeferenzierung kann in solchen Fällen

wesentlich verbessert werden, wenn anstatt der Azimute die Richtungen in Bezug auf einen bereits koordinierten Zielpunkt ermittelt werden.

#### **Dank:**

Unser Dank gilt allen beteiligten Herstellerfirmen, die uns ihre Ausrüstung zur Verfügung gestellt haben.

#### **Literatur**

- 1 BILL, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten. Band 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- 2 DEUMLICH, F. (1988): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.
- 3 RESNIK, B. (2000): Komplettlösung für die GIS-Datenerfassung mit Freihandmesssystemen. Interner Bericht des Institutes für Geodäsie und Geoinformatik, Heft Nr. 13, S. 55–69. Universität Rostock.
- 4 RESNIK, B. (2001): Genauigkeit und Zuverlässigkeit der GPS-Positionierung mit Handheld-Empfängern. Interner Bericht des Institu-

tes für Geodäsie und Geoinformatik, Heft Nr. 14, S. 17–27. Universität Rostock.

- 5 RESNIK, B. (2001): Genauigkeit und Zuverlässigkeit der mobilen GIS-Datenerfassung mit polaren Freihandmesssystemen. Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche. Mitteilungen des Institutes für Geodäsie, Heft Nr. 19, S. 89–98. Universität Innsbruck.
- 6 RESNIK, B., BILL, R. (2000): Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- 7 RESNIK, B., HANKE, S. (2000): Genauigkeit der mobilen GIS-Datenerfassung – ein GPS-Empfängervergleich. Vermessungswesen und Raumordnung, Heft 62/1, S. 32–42. Bonn.
- 8 SCHLEMMER, H. (1996): Grundlagen der Sensorik. Wichmann Verlag, Heidelberg.

Anschrift des Verfassers:

DR. BORIS RESNIK  
 Institut für Geodäsie und  
 Geoinformatik, Universität Rostock  
 Justus-von-Liebig-Weg 6  
 18051 Rostock