



Genauigkeit der von Laien durchgeführten horizontalen Seitenmessung

Gerhard Navratil, Wien, Markus Hackl, Steyr

Dieser Beitrag wurde als „reviewed paper“ angenommen.

Kurzfassung

Ein Kataster als System des Landmanagement beinhaltet sowohl technische, als auch ein soziale Komponenten. Das spiegelt sich auch in den Prozessen wider, die in einem Kataster ablaufen. Es gibt einerseits technische Abläufe wie beispielsweise die Vermessung von Grundgrenzen. Andererseits ist der Kataster aber auch als Instrument zur Entscheidungsfindung in unser Rechtssystem und damit in die Gesellschaft eingebettet. Damit sind aber nicht nur die Aussagen von Technikern relevant, sondern auch die Aussagen anderer Beteiligter, also beispielsweise von Grundstückseigentümern. Diese sind üblicherweise vermessungstechnische Laien. Trotzdem kann es vorkommen, dass sie Aussagen über Maße in der Natur treffen wie beispielsweise ‚mein Grundstück ist 23,45 m breit‘. Für die Beurteilung solcher Aussagen ist es notwendig, die Qualität der Messungen abzuschätzen. Es wurde daher ein Experiment durchgeführt, bei dem vermessungstechnische Laien mit Maßbändern verschiedene Strecken zwischen 5 und 70 m messen sollten. Die Ergebnisse zeigen, dass die größte Schwierigkeit für Laien bei der Messung die Berücksichtigung einer eventuell vorhandenen Hangneigung ist.

Schlüsselwörter: Kataster, Genauigkeit, Längennmessung

Abstract

A cadastre is a system of land management and includes technical as well as social components. The processes within a cadastre reflect these components. There are technical processes like surveying parcel boundaries. On the other hand, a cadastre is an instrument for decision-making within our legal system and therefore within our society. Therefore, not only statements by technicians are relevant, but also statements by other persons like land owners. Such persons are usually not trained in surveying but it is still possible that they make statements on measures, e.g. 'my parcel has a width of 23,45 m'. The judgement of such statements requires an assessment of the quality of these measurements. We therefore carried out an experiment where amateurs in surveying had to measure distances between 5 and 70 m using a tape measure. The results show that amateurs have problems with the slope.

Keywords: cadastre, accuracy, distance measurement

1. Einleitung

Der Kataster ist ein technisches System, bei dem jedoch Entscheidungen nicht immer von Technikern getroffen werden. Im Streitfall kommt es auch vor, dass Richter in Situationen entscheiden, in denen Techniker gefragt werden sollten. Richter beurteilen jedoch eine Situation im Kataster nicht nach statistischen Merkmalen, sondern in absoluten Begriffen [1]. Für einen Richter hat also eine Messung mit einem Maßband dieselbe Beweiskraft wie eine Messung mit einem elektronischen Distanzmessgerät. Im Gegensatz dazu arbeiten Techniker immer mit Überbestimmung. Damit ist es möglich, eventuelle Fehler aufzudecken. Zusätzlich können auch Genauigkeiten für die einzelnen Werte angegeben werden. Diese Genauigkeiten werden dann vom Techniker in seiner Entscheidungsfindung berücksichtigt. Diese unterschiedliche Herangehensweise bewirkt, dass ein Jurist und ein Techniker zu unterschiedlichen Entscheidungen kommen kön-

nen. Das schafft Probleme in einem kombinierten System wie dem Kataster. Eine ausführliche Diskussion dieser Aspekte wurde bereits publiziert [2].

Neben Technikern und Juristen sind auch Grundstückseigentümer in Entscheidungsprozesse im Kataster eingebunden. Diese sind im Allgemeinen vermessungstechnische Laien, glauben aber oftmals trotzdem, Abmessungen exakt nachprüfen zu können. Dies wird vor allem dann wichtig, wenn Grundstücksbreiten vorgegeben oder Abstände einzuhalten sind. Die in diesem Artikel präsentierte Untersuchung soll zeigen, wie schwer es für Laien ist, mit einfachen Hilfsmitteln wie Rollmaßbändern horizontale Distanzen zu messen. Speziell bei der Kommunikation mit Laien und Juristen ist es wichtig, solche Probleme mit Zahlen belegen zu können. Das erlaubt zudem eine bessere Analyse von Fehlerquellen und dementsprechend eine Beurteilung ähnlicher Fälle. Bei der Untersuchung wurden Distanzen

gewählt, wie sie bei Grundstücken auftreten können. Mit dem Begriff Distanz wird im weiteren Verlauf immer die horizontale Distanz gemeint. Schräge Messungen werden als Strecke bezeichnet.

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen zur Genauigkeit von Messmethoden und deren Verbesserung (aktuelle Beispiele sind [3], [4] [5]). Auch zum Thema Streckenmessung mit Maßbändern gibt es entsprechende Arbeiten (beispielsweise [6], [7], [8] und [9]). Es wird jedoch bei solchen Untersuchungen mit wenigen Ausnahmen (beispielsweise [10]) davon ausgegangen, dass die Messung von Experten durchgeführt wird. Das erlaubt die Verwendung komplexer Messanordnungen und Korrekturmethode. Scheinbar einfache Messmethoden wie die Maßbandmessung werden jedoch häufig nicht von Experten, sondern von Laien durchgeführt. Da gerade im Bereich des Katasters oft solche Messungen im Streitfall zur Argumentation verwendet werden, ist es notwendig, auch hier die erreichbare Genauigkeit zu kennen. Daher wurde ein Experiment mit einer Gruppe erwachsener Personen durchgeführt um zu untersuchen, ob und unter welchen Voraussetzungen Probleme mit der Messung auftreten. Die Aufgabe für die Versuchspersonen bestand darin, die Distanzen zwischen vorgegebenen Punkten mit Maßbändern zu bestimmen. Die Punkte wurden in Linien angeordnet. Um die Auswirkung von Höhenunterschieden auf die Qualität der Messung abzuschätzen, wurden Linien mit unterschiedlichem Gefälle gewählt.

Kapitel 2 enthält eine kurze Zusammenfassung der Diskussion bezüglich rechtlicher und technischer Entscheidungsprozesse. Dabei wird auch auf die Problematik der Maßbandmessung eingegangen. Das Beispiel verwendet einen komplexeren Zusammenhang, bei dem nicht nur Fragen der Messgenauigkeit, sondern auch Fragen der Definitionsgenauigkeit zu behandeln sind. Leider ist dem Autor kein besseres Beispiel bekannt, das vollständig ausjudiziert wäre. In Kapitel 3 beschreiben wir eine Versuchsanordnung zur Beantwortung der Frage nach der Genauigkeit von Maßbandmessungen durch vermessungstechnische Laien. Kapitel 4 enthält die Ergebnisse des Versuchs. In Kapitel 5 diskutieren wir die Ergebnisse und beschreiben die Auswirkung auf die in Kapitel 2 beschriebene Problematik. Kapitel 6 fasst die Ergebnisse noch einmal kurz zusammen.

2. Ein Fallbeispiel

In der österreichischen Rechtsprechung gibt es eine Entscheidung des Verwaltungsgerichtshofes bezüglich Naturmaßen im Kataster ([1], [11]). Dabei wurde eine in der Salzburger Bauordnung vorgeschriebene minimale Distanz nicht eingehalten. Die geforderte Distanz war 4 m während die tatsächliche Distanz nur 3,96 m betrug. Das wurde vom Verwaltungsgerichtshof nicht als geringfügige Abweichung angesehen, obwohl es sich um eine relative Abweichung von 1% handelt.

Ein Problem an dieser Fragestellung ist die Definition der beteiligten Objekte. Während sich das Gebäude selbst noch recht einfach definieren lässt, gibt es bei der Definition der Grenze Unsicherheiten. Ein Beispiel soll die Problematik verdeutlichen. Dazu betrachten wir die in Abbildung 1 dargestellte, einfache Situation [2]. Das Bauwerk ist definiert durch das aufstrebende Mauerwerk und steht exakt parallel zur Grundstücksgrenze. Die Grundstücksgrenze ist in der Natur ersichtlich (beispielsweise durch einen Zaun) und zusätzlich existieren an den Punkten 1 und 2 Grenzzeichen. Untersucht wird der Normalabstand eines Punktes von der Grundstücksgrenze. Dieser soll mit der minimalen Distanz von 4 m verglichen werden.

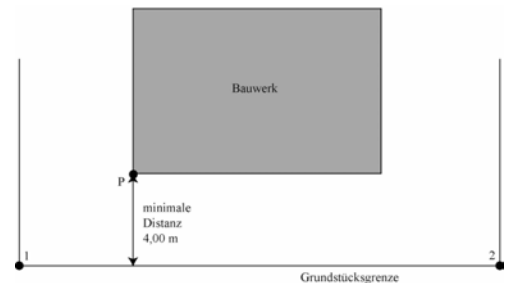


Abb. 1: Schematische Darstellung des Problems [2]

Die Distanz zwischen dem Punkt P und der Grundstücksgrenze, definiert durch die Grenzzeichen an den Punkten 1 und 2, kann auf zwei verschiedene Arten ermittelt werden. Die erste Möglichkeit ist die direkte Messung der Distanz (beispielsweise mittels Maßband). Diese liefert in unserem Beispiel einen Wert von 3,99 m. Die zweite Möglichkeit ist die Bestimmung von Koordinaten der drei Punkte P, 1 und 2 in einem gemeinsamen Koordinatensystem und die Ermittlung des Normalabstandes über die Hesse-Form [12]:

$$d = \begin{pmatrix} \frac{\Delta y_{12}}{s_{12}} \\ -\frac{\Delta x_{12}}{s_{12}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x_{1P} \\ \Delta y_{1P} \end{pmatrix}.$$

Beide Methoden sollten theoretisch zu denselben Ergebnissen führen. Bei der praktischen Umsetzung ergeben sich jedoch einige Fragen:

- Wurden die Grenzzeichen eventuell im Zuge der Errichtung des Zaunes verschoben?
- Steht der Zaun exakt auf der Grenze oder ist er aus irgendwelchen Gründen versetzt?
- Ist der Verlauf des Zaunes auch wirklich geradlinig? Die Beurteilung der Geradlinigkeit kann beispielsweise durch Bewuchs erschwert werden.

Die Anwendung der Hesse-Form verlangt die Kenntnis der Koordinatendifferenzen. Daher nehmen wir folgende Koordinaten aus der Koordinatendatenbank an:

	y	x
1	115,79	751,50
2	132,77	627,63

Zusätzlich wurden bei einer (ebenfalls fiktiven) Naturstandsaufnahme folgende Koordinaten ermittelt:

	Y	X
1'	115,85	751,55
2'	132,80	627,67
P'	125,45	651,84

Nun gibt es einige Möglichkeiten, wie die Entscheidung getroffen werden kann, ob die Distanz 4 m unterschreitet:

- Wir verwenden ausschließlich die Maßbandmessung
- Wir verwenden ausschließlich die Naturstandsaufnahme
- Wir verwenden die Koordinaten des Katasters und den in der Naturstandsaufnahme zusätzlich bestimmten Punkt P.

Für alle drei Varianten können Argumente gefunden werden, jede Methode hat aber auch Nachteile.

Ein Richter würde in einem Gerichtsverfahren möglicherweise die erste Variante wählen, da sie für ihn am leichtesten zu verstehen ist. Der Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass die Position der Grenze nicht mit der Position des Zaunes übereinstimmen muss. Wir gehen zwar im Allgemeinen davon aus, dass Zäune entlang der Grundstücksgrenze errichtet werden, eine entsprechende Bedingung ist aber nicht gegeben. Daher kann es durchaus vorkommen, dass die

Position des Objektes ‚Zaun‘ und die Position des Rechtsobjektes ‚Grundstücksgrenze‘ voneinander abweichen. Dazu kommt noch eine Unsicherheit in der Bestimmung des Wertes. Bei der in diesem Beispiel zu treffenden Entscheidung kann bereits eine Abweichung von wenigen Zentimetern zu einem falschen Ergebnis führen. Die erste Variante würde in unserem Beispiel zu der Entscheidung führen, dass die Distanz zu gering ist – wenn auch nur um 1 cm.

Die Standardprozedur im österreichischen Kataster ist die dritte Variante. Sie beruht darauf, dass die Koordinaten der Grenzpunkte die Grenze definieren und nicht verändert werden dürfen. Die Koordinaten des Punktes am Bauwerk sind aber nicht in der Koordinatendatenbank. Daher müssen die Koordinaten des Bauwerkes in Relation zu den zuvor bestimmten Koordinaten der Grundstücksgrenze gesetzt werden. Sollten die dabei verwendeten Festpunkte nicht mehr vorhanden sein, so können sich eventuell vorhandene Spannungen des Festpunktfeldes im Ergebnis niederschlagen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich auch Festpunkte bewegen können. Eine Bewegung um wenige Zentimeter innerhalb eines Jahrzehnts ist durchaus vorstellbar, kann sich aber im angenommenen Beispiel auf die Entscheidung auswirken. Für die so bestimmte Distanz zwischen Bauwerk und Grundstücksgrenze ergibt sich ein Wert von 3,96 m, der Abstand wäre also zu gering.

Variante zwei ist ein Kompromiss. Dabei tritt jedoch wieder das Problem auf, dass die Grenze in der Natur neu bestimmt werden muss. Abweichungen können wie bei der ersten Variante zu falschen Entscheidungen führen. Im verwendeten Beispiel ergibt sich eine Distanz von 4,01 m. Somit wäre die Distanz groß genug.

Eine rein auf den Koordinaten basierende Betrachtung ist jedoch nicht ausreichend. Die Vermessungsverordnung [13] definiert 15 cm als Mindestanforderung für die Genauigkeit der Festpunkte. Daraus resultiert eine Unschärfe der Definition der Grenzpunkte in der Natur. Eine neuerliche Vermessung müsste eine Klaffung von über 15 cm aufweisen, um die Verschiedenheit der Punkte zweifelsfrei zu beweisen. Für die Standardabweichung der einzelnen Koordinaten ergibt sich bei gleich genau angenommenen Koordinaten ein Wert von 3,5 cm. Dabei erfolgt der Übergang von absoluten Schranken auf Standardabweichung unter Verwendung der dreifachen Standardabweichung, innerhalb derer 99% aller Realisierungen liegen. Die so bestimmte

Standardabweichung kann nun verwendet werden, um mit Hilfe des einfachen Fehlerfortpflanzungsgesetzes ([14], S. 44) die Standardabweichung der berechneten Distanz zu ermitteln. Es ergibt sich ein Wert von 4,5 cm. Mit Hilfe eines statistischen Tests kann nun geprüft werden, ob die Distanz die geforderten 4 m nachweislich unterschreitet. Leider kann die Hypothese bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% nicht angenommen werden, da die Stichprobe zu klein ist.

Bei der Verwendung von Koordinaten ist es also möglich, die Genauigkeit des Ergebnisses abzuschätzen und zu testen, ob die notwendige Distanz eingehalten wurde. Ähnliche Betrachtungen müssen auch dann angestellt werden, wenn der Richter statt der Koordinaten eine Maßbandmessung verwendet. Dazu ist es jedoch notwendig, die erreichte Genauigkeit zu kennen. Das ist im Allgemeinen bei von Laien durchgeführten Messungen nicht der Fall. Daher wurde untersucht, wie gut die Messungen von Laien sind.

3. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Genauigkeit von Maßbandmessungen

Im letzten Abschnitt haben wir gesehen, dass es unterschiedliche Möglichkeiten gibt, wie ein Richter die Distanz bestimmen kann. Es ist also durchaus möglich, dass eine Entscheidung auch aufgrund einer Maßbandmessung getroffen wird, die von Laien durchgeführt wurde. Die Aufgabe der Vermesser ist es nun, die Grenzen einer solchen Messung nachzuweisen und zu kommunizieren. Ein erster Versuch dafür ist die hier vorgestellte Untersuchung. Dazu wurde eine Gruppe von Versuchspersonen zusammengestellt. Die Personen sollten unterschiedliche Distanzen entlang verschiedener Linien bestimmen. Die Ergebnisse wurden ausgewertet und mit Soll-Werten verglichen, die mit einem modernen Tachymeter ermittelt wurden.

3.1 Versuchsgruppe

Die Versuchsgruppe bestand aus 17 Personen. Es wurden Personen aus möglichst vielen Berufsgruppen hinzugezogen, Vermessungstechniker wurden allerdings nicht berücksichtigt. 11 Männer und 6 Frauen gehörten der Versuchsgruppe an. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Verteilung der vertretenen Berufsgruppen. Von den 17 Personen waren 5 aus der Altersgruppe zwischen 20 und 30 Jahren und 4 aus der Gruppe zwischen 50 und 60 Jahren. Die übrigen Personen waren alle zwischen 30 und 50 Jahre alt.

Berufsgruppe	Anzahl
Techniker	5
Handel/Gewerbe	5
Sozialberufe	2
Handwerker	2
sonstige	3

Tab. 1: Versuchsgruppe gegliedert nach Berufsgruppen

3.2 Testgebiet und Teststrecken

Die für die Durchführung des Feldversuchs benötigten Flächen wurden von dem Landwirt Karl Kranawetter zu Verfügung gestellt. Das Gebiet befindet sich nahe Steyr/Oberösterreich in 4421 Aschach an der Steyr (siehe Abbildung 2).

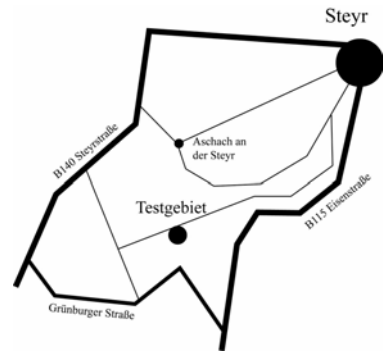


Abb. 2: Testgebiet bei Aschach an der Steyr

Es wurden 3 Linien für den Test verwendet (Abbildung 3). Auf den Linien wurden jeweils 4 Punkte mit Metallmarken stabilisiert, zwischen denen die verschiedenen Distanzen zu messen waren. Die Linien unterschieden sich durch ihre Steigung und eventuellen Hindernissen.



Abb. 3: Anordnung der Linien im Testgebiet (© Amt der oö. Landesregierung / Geol – DORIS)

Der Schwierigkeitsgrad stieg von Linie A bis C an. Jede Linie bestand aus 3 zu messenden Distanzen. Die kurze Distanz von 5 – 7 m müsste präzise zu bestimmen sein. Die mittlere Distanz von ca. 35 m sollte einer durchschnittlichen Grenzenlänge entsprechen. Die längste Distanz von 60 – 70 m war so gewählt, dass mit einem 50 m Stahlmaßband mindestens einmal angestückt werden musste.

Linie A war vom Gelände her am einfachsten zu messen (Abbildung 4). Sie verlief am Parkett entlang eines Güterweges und wies keinerlei Hindernisse auf. Sie hatte mit 1,89 m auf 62,65 m Distanz auch den geringsten Höhenunterschied.



Abb. 4: Linie A – Güterweg

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, ist bei diesem geringen Höhenunterschied die Reduktion der gemessenen Strecke auf die Horizontale sehr gering. Zudem bietet das Gelände keine Schwierigkeiten. Daher waren gute Messungen zu erwarten.

Linie A		
horizontal [m]	schräg [m]	Höhendifferenz [m]
5,543	5,546	-0,195
35,922	35,944	-1,266
62,653	62,681	-1,890

Tab. 2: Referenzdaten der Linie A

Linie B (Abbildung 5) wies die größte Steigung auf (siehe Tabelle 3). Sie verlief entlang eines Weidezauns und war ebenfalls frei von Hindernissen. Der große Höhenunterschied ließ erwarten, dass die Messungen stärker differieren, je nach Güte der Horizontierung während der Messung.



Abb. 5: Linie B – entlang eines Weidezauns

Linie B		
horizontal [m]	schräg [m]	Höhendifferenz [m]
6,063	6,124	-0,861
36,128	36,991	-7,497
69,399	70,939	-14,701

Tab. 3: Referenzdaten der Strecke B

Bei der Linie C (Abbildung 6) waren die Messpunkte zusätzlich zur vorhandenen Steigung an einen Waldrand gesetzt. So traten zwischen den einzelnen Punkten Hindernisse wie Sträucher und Bäume auf und es war keine direkte Sichtverbindung zwischen den Punkten gegeben.



Abb. 6: Linie C – Waldrand

Tabelle 4 zeigt, dass die Strecke C mit 11,46 m Höhendifferenz etwas flacher als Strecke B ist. Aus diesem Grund sind hier kleinere Messabweichungen durch die Horizontierung zu erwarten. Problematisch ist jedoch die fehlende direkte Sicht.

Strecke C		
horizontal [m]	schräg [m]	Höhendifferenz [m]
7,017	7,063	-0,806
38,141	38,71	-6,614
61,522	62,581	-11,463

Tab. 4: Referenzdaten der Linie C

3.3 Messgerät

Die Referenzdaten wurden mit Hilfe eines Trimble 5600IR erfasst. Die Genauigkeit der Streckenmessung wird vom Hersteller mit $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ angegeben. Alle Punkte wurden doppelt aufgenommen und die Ergebnisse anschließend gemittelt. Die dabei auftretenden Abweichungen waren im zu erwartenden Bereich weniger Millimeter. So kann die Referenzmessung im Vergleich zur erwarteten Genauigkeiten der Versuchsmessung als fehlerfrei angesehen werden.

Den Mitgliedern der Versuchsgruppe wurden 50 m Stahlmessbänder mit Zentimeterteilung und Fluchtstangen mit 1,2 m Länge zur Verfügung gestellt. Auf die Bereitstellung von elektronischen Distanzmessern und Winkelmessern wurde verzichtet, da Laien im Allgemeinen nur selten über derartige technische Hilfsmittel verfügen. Außerdem kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Versuchspersonen gemessene Strecken mit Hilfe von Winkelsätzen auf die Horizontale reduzieren können.

3.4 Aufgabenstellung

Den Mitgliedern der Versuchsgruppe wurde aufgetragen, Distanzen zu bestimmen. Es sollten jeweils die Distanzen der Punkte zum ersten Punkt ermittelt werden. Es gab keine Einführung in die Arbeitsmethodik, da kein Expertenwissen die Ergebnisse verfälschen sollte. Jedes Mitglied der Gruppe sollte die Strecken selbst bestimmen. Dazu war die Hilfe weiterer Mitglieder notwendig. Somit ist die Arbeitsweise der Teilnehmer nicht unabhängig.

4. Ergebnisse des Versuches

Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse der Messungen dargestellt. Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Abweichungen als relative Angaben in Prozent dargestellt. Die Nummerierung von 1 bis 17 entspricht den jeweiligen Beobachtern. Die Reihenfolge wurde innerhalb einer Linie beibehalten, nicht jedoch bei unterschiedlichen Linien.

4.1 Linie A

Auffallend an den Resultaten der Linie A (Abbildung 7) ist, dass bei der kürzesten Distanz zwei Personen zu kurz gemessen haben. Bei Ignorieren von Durchhang des Messbandes und Schiefe der Messlinie wären nur zu lange Messungen zu erwarten gewesen. Diese Fehler können also nur durch einen fehlerhaft identifizierten Nullpunkt oder eine falsche Ablesung verursacht worden sein.

Die Mittelwerte der einzelnen Distanzen stimmen auf den Zentimeter mit den Soll-Werten überein. Lediglich bei der 35 m-Distanz gibt es eine Abweichung von 1 cm. Die Standardabweichungen betragen 1 cm, 10 cm und 11 cm. Relativ gesehen (σ_x/x) bedeutet das eine Unsicherheit von 1,5 bis 3 mm/m. Durch Eliminieren der Ausreißer (Beobachter 11 bei der kurzen Strecke und Beobachter 13 bei den beiden anderen Strecken) wachsen klarerweise die Mittelwerte während die Standardabweichungen kleiner werden. Bei horizontalem, leicht einsehbarem Gelände haben also Laien kaum Probleme beim Messen von Sperrmaßen.

4.2 Linie B

Bei der Linie B waren, wie in Abbildung 8 ersichtlich, aufgrund der Steigung die größten Messfehler zu verzeichnen. Bereits bei der kürzesten Strecke entstanden Abweichungen von bis zu 5 cm, die sich auf der langen Distanz bis auf 1,9 m vergrößerten.

Hier sind die Abweichungen hinsichtlich des Mittelwertes größer als bei Linie A. Es ergeben sich 3 cm, 70 cm und 115 cm Abweichung vom Sollwert. Die Standardabweichungen sind mit 2 cm, 27 cm und 38 cm jedoch nicht ähnlich angestiegen. Die relative Unsicherheit ist nun 2,6 bis 7,3 mm/m. Es ist also zwar die Streuung größer geworden, die systematische Verfälschung der Messung ist aber wesentlich größer als aus der Standardabweichung zu vermuten gewesen wäre.

4.3 Linie C

Bei der Linie C wurden trotz der vorhandenen Hindernisse bessere Ergebnisse als bei Linie B erzielt (Abbildung 9). Auffällig ist, dass bei der kürzesten Distanz 5 Personen zu kurze Werte maßen. Bei Linie C war die direkte Verbindung durch Buschwerk blockiert und es war somit notwendig, die Distanz parallel versetzt zu messen. Gelingt es dabei nicht, den rechten Winkel richtig einzuschätzen, so ändert sich beim

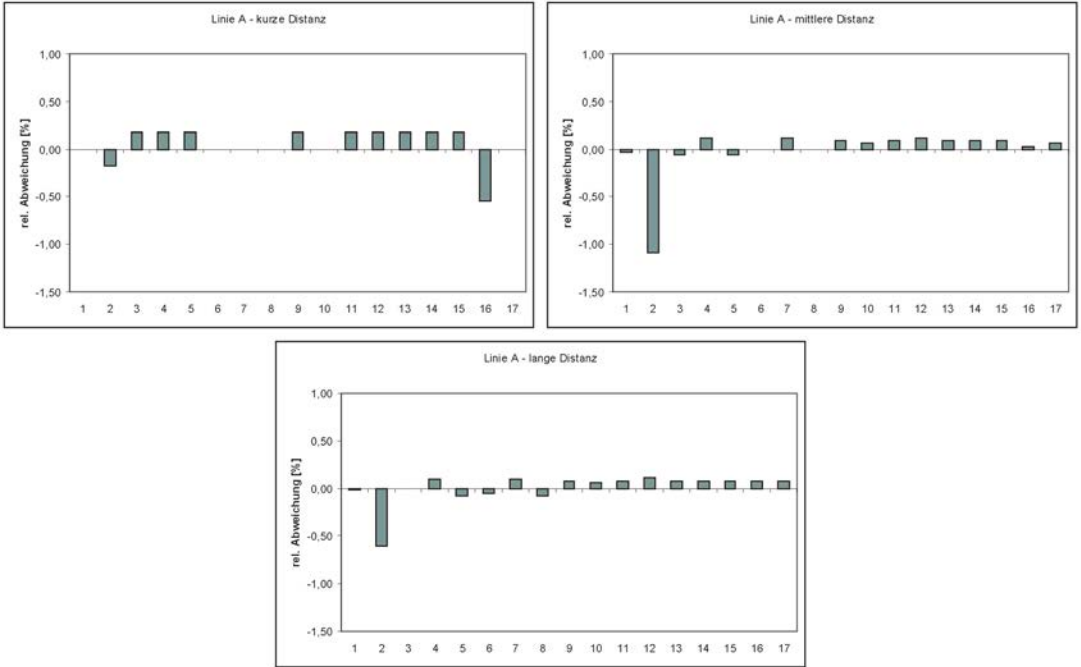


Abb. 7: Ergebnisse der Linie A

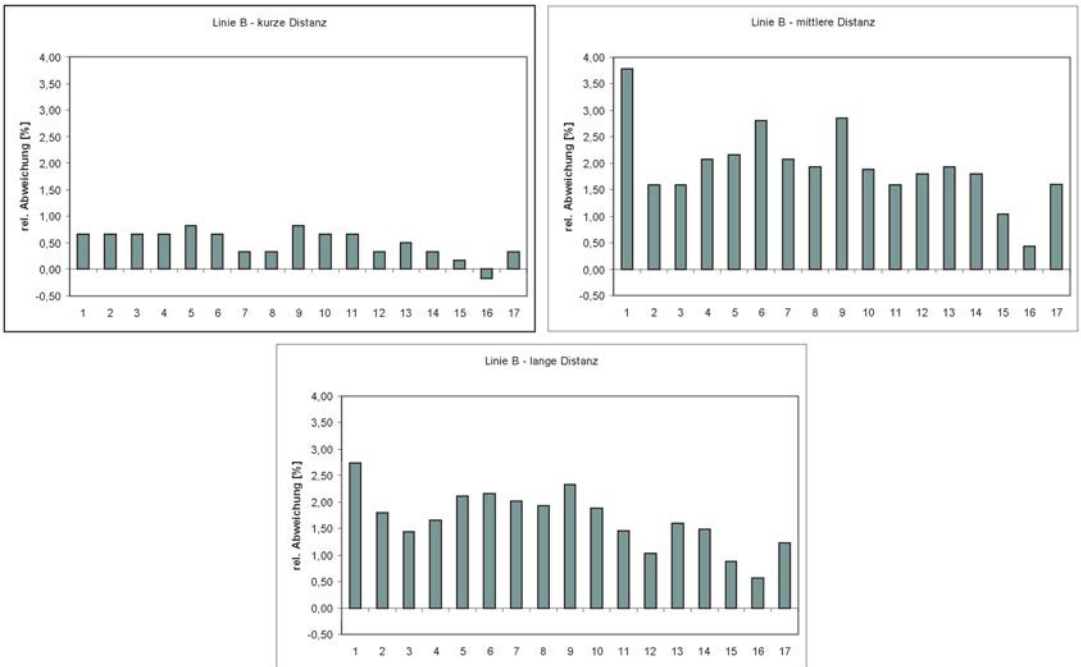


Abb. 8: Ergebnisse der Linie B

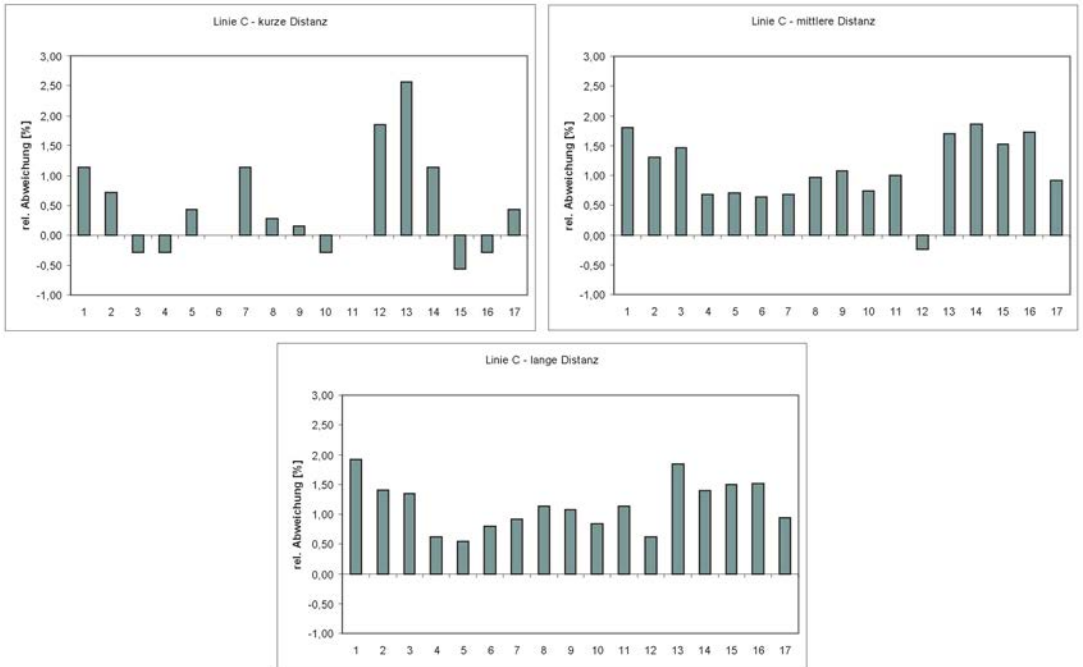


Abb. 9: Ergebnisse der Linie C

Versetzen die Distanz. Das würde auch die hohen Abweichungen von bis zu 18 cm erklären, die auf dieser kurzen Distanz aufgetreten sind. Da dieser Fehler nur an den Endpunkten auftritt, sollte er unabhängig zu der zu messenden Distanz sein.

Die Abweichungen des Mittelwertes vom Sollwert ergeben sich zu 3 cm, 42 cm und 71 cm, sind also deutlich geringer als bei der Linie B. Die Standardabweichungen liegen mit 6 cm, 21 cm und 26 cm jedoch in einem ähnlichen Bereich. Die relative Unsicherheit liegt nun bei 4 bis 8,5 mm/m, wobei die kürzeste Strecke die höchste relative Unsicherheit aufweist.

5. Diskussion

Eine Auswertung hinsichtlich Alter, Beruf und Geschlecht hat keine signifikanten Unterschiede gezeigt [15]. Die weiblichen Personen haben zwar im Schnitt eine etwas höhere Genauigkeit erreicht, die Größe der Gruppe reicht jedoch für gesicherte Aussagen nicht aus.

Eine Analyse der Fehler weist auf drei mögliche Ursachen für die Abweichungen hin:

- Nicht-Berücksichtigung der Abweichung von der Geraden
- Horizontierungsfehler

- Ungenaue exzentrische Messung

5.1 Fehler aufgrund der Abweichung aus der Geraden

Beim Markieren der Linien wurde zwar darauf geachtet, dass die Punkte annähernd auf einer Geraden liegen, es wurde aber nicht als strenge Bedingung eingeführt. Daher treten Abweichungen aus der Geraden auf. Abbildung 10 zeigt die Situation für Linie C.

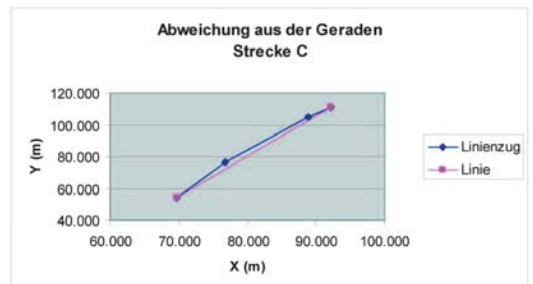


Abb. 10: Abweichungen der Punkte der Linie C von der Geraden

Bei der Aufgabenstellung wurde dieser Umstand so berücksichtigt, dass den Testpersonen folgende Aufgabe gestellt wurde:

„Bestimmen Sie die horizontalen Abstände der drei Punkte vom ersten Punkt.“

Die Personen der Versuchsgruppe sind jedoch so vorgegangen, dass immer die Abstände zwischen benachbarten Punkten gemessen und diese anschließend addiert wurden. Statt also die Distanzen 12, 13 und 14 zwischen den Punkten 1 bis 4 zu beobachten, wurden die Distanzen 12, 23 und 34 beobachtet und aus diesen Beobachtungen die gewünschten Werte abgeleitet. Diese Vorgangsweise führt jedoch zwangsläufig zu einem falschen Ergebnis, wenn die Linie nicht gerade verläuft.

Dieses fehlerhafte Verhalten wurde bei dem Versuch nicht unterbunden, da sonst eventuell Expertenwissen (des Versuchsleiters) die Ergebnisse verfälscht hätte. Da jedoch die gesamte Versuchsgruppe gleichzeitig anwesend war, sind die Fehler nicht unabhängig – fehlerhafte Methoden der ersten Person werden wahrscheinlich von den anderen Personen kopiert. Somit könnte es bei einer Wiederholung des Versuches zu einer korrekten Vorgangsweise kommen.

Der resultierende Fehler ist betragsmäßig zwar gering, kann sich aber trotzdem bereits auswirken. Die Linie C wies die größte seitliche Abweichung auf. Die Differenz zwischen Sehne und Bogen beträgt hier 10 cm. Dieser Fehler geht als systematischer Einfluss in die Beobachtungen ein. Das ist bereits 1/7 der beobachteten Abweichung des Mittelwertes. Es ist allerdings zu beachten, dass eine optische Kontrolle, ob die Punkte auch auf einer Geraden liegen, wegen der Sichthindernisse bei Linie C nicht möglich war.

Derselbe Fehler tritt auf, wenn die Messung nicht auf einmal möglich ist. Die Personen haben versucht, immer direkt die horizontierten Distanzen zu beobachten. Bei den steileren Strecken war es bei größeren Distanzen notwendig, die Messung zu stückeln. Dabei kann es leicht passieren, dass die Zwischenpunkte von der Geraden abweichen. Eine Quantifizierung des Fehlers ist jedoch nur möglich, wenn die Lage dieser Zwischenpunkte bekannt ist. Da diese Punkte nicht vermarktet und später vermessen wurden, ist hier keine Aussage möglich.

5.2 Fehler aufgrund der Abweichung aus der Horizontalen

Der zweite Einflussfaktor ist die Genauigkeit der Horizontierung. Es ist schwer, ohne technische Hilfsmittel eine horizontale Linie zu definieren, wenn es keine Anhaltspunkte gibt. Es wurde

während des Versuches vom Leiter beobachtet, dass die Personen gerade bei der Horizontierung große Probleme hatten. Selbst Hilfskräfte, die mit seitlichem Abstand die Horizontierung überprüfen sollten, waren oft nicht in der Lage, die (grobe) Horizontierung sicherzustellen. Das wirkt sich vor allem bei steilem Gelände aus.

Die Linie mit der größten Steigung war Linie B. Daher werden im Folgenden nur die Ergebnisse dieser Linie betrachtet. Tabelle 5 zeigt die Auswirkung der Horizontierung. In den ersten beiden Spalten stehen die horizontalen Distanzen und die schrägen Strecken. In der dritten Spalte stehen die Mittelwerte der Ergebnisse des Versuches. Bei jeder der drei Messungen liegt das Messergebnis zwischen der horizontalen Distanz und der schrägen Strecke. Das deutet darauf hin, dass eine unvollständige Horizontierung durchgeführt wurde. Im Vergleich mit den Ergebnissen der annähernd horizontalen Linie A wird auch klar, dass gerade bei steilem Gelände das Messergebnis eine starke systematische Verschiebung aufweisen wird.

Linie B		
horizontal [m]	schräg [m]	Mittelwerte [m]
6,063	6,124	6,09
36,128	36,991	36,83
69,399	70,939	70,55

Tab. 5: Horizontale Distanzen, schräge Strecken und Versuchsergebnisse für Linie B

5.3 Fehler aufgrund exzentrischer Messung

Die Linie C wurde absichtlich so gelegt, dass sie durch Buschwerk blockiert war. Daher war es notwendig, die Messungen exzentrisch durchzuführen. Beim Herausverlegen der Linie müssen rechte Winkel eingehalten werden und die beiden Exzenter müssen gleich lang sein. Bei korrekter Durchführung entsteht also eine rechteckige Grundrissfigur. Dabei können zwei Fehler auftreten:

- Die Exzenter sind nicht gleich lang, die originale und die gemessene Linie sind somit nicht parallel. Dieser Fehler bewirkt immer eine Vergrößerung der Distanz.
- Die Winkel weichen vom rechten Winkel ab. Es entsteht somit ein allgemeines Viereck. Dieser Fehler kann eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Distanz bewirken.

Die Linien B und C sind ähnlich steil angelegt. Da die Linie C zusätzlich noch durch Buschwerk versperrt ist, sollte der eben besprochene Fehler

aufzutreten. Bei Betrachtung der Ergebnisse fällt aber auf, dass die etwas steilere Linie B einen wesentlich größeren Fehler aufweist als die Linie C. Bei der Linie C ist jedoch die Standardabweichung etwas größer als bei Linie B. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Exzentermessung eine größere Streuung bewirkt, sich auf den Mittelwert aber nicht so stark auswirkt wie die fehlerhafte Horizontierung.

6. Zusammenfassung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass Laien vor allem mit der Horizontierung von Strecken Probleme haben. Bei Strecken mit geringem Gefälle (speziell bei Linie A mit einer Höhendifferenz von nur 2 m auf 62 m Länge) waren die Ergebnisse der Messung mit einer Abweichung von 0 cm zwischen Mittelwert und Sollwert sowie einer Standardabweichung von 11 cm ausgezeichnet. Bei den beiden steileren Linien könnten diese Werte nicht gehalten werden. Vor allem die Abweichung zwischen Mittelwert und Sollwert ist beträchtlich angewachsen. Ursache ist der systematisch wirkende Einfluss der Horizontierung, die den Teilnehmern nicht mit ausreichender Präzision gelungen ist.

Die Genauigkeit bei der horizontalen Messung könnte durch den Einsatz präziserer Messmittel wie beispielsweise von berührungslosen Laser-Distanzmessgeräten wesentlich gesteigert werden. Eine grobe (und statistisch auch nicht gesicherte) Abschätzung eines Fehlergesetzes für den durchgeführten Versuch ergibt einen entfernungsabhängigen Fehleranteil von über 1000 ppm. Selbst die einfachsten Laser-Entfernungsmesser haben eine wesentlich bessere Messgenauigkeit, könnten also bessere Ergebnisse erzielen.

Im steileren Gelände wird sich der Einsatz besserer Messmittel nicht so stark auswirken, da hier die Horizontierung das eigentliche Problem darstellt. Dieses Problem kann jedoch nicht durch eine genauere Streckenmessung gelöst werden. Hier wäre entweder die Messung eines Höhenwinkels oder die Messung des Höhenunterschiedes notwendig. Alternativ könnte natürlich auch eine Libelle für die Horizontierung der Messlinie verwendet werden. All das war im Versuch jedoch nicht vorgesehen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Twaroch, C. (2005)*: Richter kennen keine Toleranz. Intern. Geodätische Woche, Obergurgl, Wichmann.
- [2] *Navratil, G. (angenommen)*: "Legal and Technical Aspects of Decisions on Property Boundaries – The Case of Austria." Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research.
- [3] *Böhm, J., H. Schuh, et al. (2002)*: Influence of tropospheric zenith delays obtained by GPS and VLBI on station heights. Vertical Reference Systems – IAG Symposium. H. Drewes, A. H. Dodson, L. P. S. Fortes, L. Sánchez and P. Sandoval. 124: 107–112.
- [4] *Wieser, A. (2006)*: High-sensitivity GNSS: The trade-off between availability and accuracy. 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering / 12th FIG Symposium on Deformation Measurement, Baden, Österreich.
- [5] *Retscher, G. (2007)*: "Investigations of Selected Systems for Indoor and Pedestrian Navigation." Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI) 95(2): 166–172.
- [6] *Mitter, J. (1952)*: "Die Steigerung der Bandmaßgenauigkeit mit einfachen Mitteln." Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen 40. Jahrgang(4/5): 97–102, 134–139.
- [7] *Tarczy-Hornoch, A. (1958)*: "Über die Invardraht- und Bandmessung." Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV) 83. Jahrgang(6/7): 183–189, 222–227.
- [8] *Gary, M. (1959)*: "Berechnung der Meßlänge bei frei durchhängenden Bandmaßen." Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV) 84. Jahrgang(6): 188–194.
- [9] *Gebauer, H. und W. Stoeber (1965)*: "Erfahrungen beim Einsatz des 100m-Bandes bei Vermessungsaufgaben in der Stadt Hannover." Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN) 72. Jahrgang(9): 377–381.
- [10] *Kay, S. (2006)*: "Field Area Checks Using GPS (2)." GIM International 20(1): 43–45.
- [11] *VwGH (1983)*: Erkenntnis. 83/06/0088.
- [12] *Reinhardt, F. und H. Soeder (1991)*: dtv-Atlas zur Mathematik: Grundlagen, Algebra und Geometrie (Band 1). München, dtv.
- [13] *BMWA (1994)*: Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über Vermessung und Pläne (Vermessungsverordnung 1994 – VermV). BGBl.Nr. 562/1994.
- [14] *Niemeier, W. (2002)*: Ausgleichsrechnung: Eine Einführung für Studierende und Praktiker des Vermessungs- und Geoinformationswesens. Berlin, de Gruyter.
- [15] *Hackl, M. (2007)*: Wie genau können Laien ihre Grundgrenzen messen? Seminararbeit. Wien, TU Wien, Institut für Geoinformation und Kartographie: 10.

Anschrift der Autoren

Privatdoz. Dr. Gerhard Navratil, Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, Gusshausstr. 27-29, A-1040 Wien.

E-mail: navratil@geoinfo.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Markus Hackl, Schlühlsimayrstr. 127/3, A-4400 Steyr. E-mail: markus_hackl@gmx.at