

Untersuchungen zum Präzisionsnivellement

Die Laufendhaltung der Landeshöhennetze erfordert einen erheblichen personellen Aufwand. Beträchtliche Fortschritte sind in den letzten Jahren gerätetechnisch erreicht worden. Es stehen moderne Präzisionsinstrumente zur Verfügung, die eine automatische digitale Ablesung und einen durchgehenden Datenfluss zur Auswertesoftware ermöglichen. Dabei geht die Ablesung wesentlich schneller, als mit herkömmlichen analogen Instrumenten.

Es ist daher durchaus angebracht darüber nachzudenken, ob ein Festhalten an der traditionellen Ablestechnologie *Rückblick-Vorblick-Vorblick-Rückblick (RVVR)*, die vor allem die Zuverlässigkeit der Ablesung steigern und Einsinkeffekte verringern soll, noch zeitgemäß ist, oder ob sich effektivere Technologien finden lassen.

Es ist bei der traditionellen Technologie zu beachten, dass die beiden Ablesungspaare *RV* und *VR* hochgradig miteinander korreliert sind. Das bedeutet, dass das zweite Beobachtungspaar nur wenig zusätzliche neue Information enthält. Wenn Ablesefehler entfallen bzw. stark vermindert sind und wegen der deutlich höheren Ablesegeschwindigkeit auch systematische Fehler etwa durch Einsinkeffekte klein sind, kann möglicherweise auf die Hälfte der Ablesungen verzichtet werden und so ein Zeitgewinn erreicht werden, ohne die Qualität und Genauigkeit der Netze zu gefährden.

Im Rahmen einer Diplomarbeit im Sommersemester 2006 wurden daher verschiedene Technologien vergleichend untersucht und auch satellitengestützte Höhenbestimmungen mit in die Betrachtungen einbezogen.

Die verschiedenen Messtechnologien

Die einfachste Messreihenfolge besteht in der Messung von Rück- und Vorblick zu einer Latte auf jedem Instrumentenstandpunkt. Wenn man zwei Latten verwendet, ändert sich an der Messreihenfolge nichts, aber es geht deutlich schneller, da Instrument und eine der Latten immer gleichzeitig weiterbewegt werden können (Methode *RV-RV-...*). Allerdings wird ein zusätzlicher Messgehilfe benötigt.

Um systematische Effekte zu verringern, kann man die Ablesereihenfolge auch alternierend umtauschen (Methode *RV-VR-...*).

Und schließlich kann auch die traditionelle Messreihenfolge *RVVR-....* verwendet werden.

Testschleife und Teststrecke

Die Testmessungen sollten einerseits bei optimalen und gleich bleibenden Bedingungen durchgeführt werden. Es durften keine störenden Einflüsse durch starken Straßenverkehr auftreten. Die Niv-Strecken sollten entlang befestigter Straßen verlaufen, um Einsinkeffekte so gering wie möglich zu halten. Neben den Nivel-

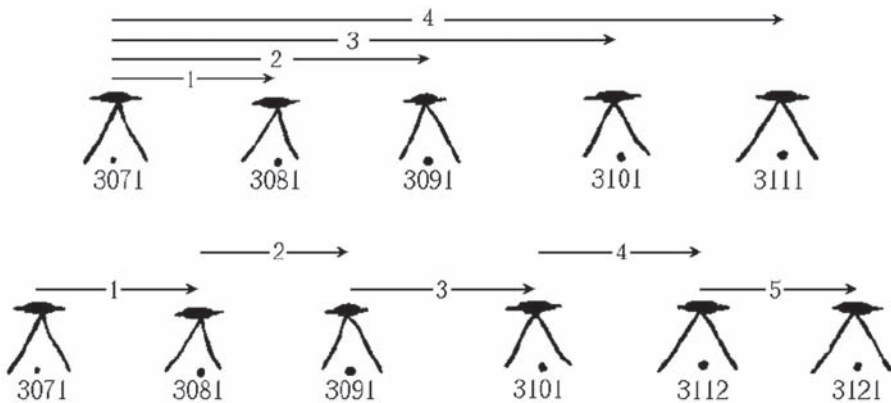


Abb. 3: Anordnungen bei den Messungen in Stahnsdorf

werden, dass alle Verfahren unter nahezu gleichen Bedingungen durchgeführt werden konnten.

Um auch realistische Messungsbedingungen einbeziehen zu können, wurden die verschiedenen Verfahren auf einem Ausschnitt einer Nivellementslinie in Stahnsdorf untersucht. Diese Linie verläuft entlang einer stark befahrenen Bundesstraße und auch für die GNSS-Messungen liegen keine optimalen Bedingungen vor.

GNSS-Messungen

Auf den drei Festpunkten der Schleife in Vorwerk wurden mit drei kombinierten Legacy-E GPS/GLONASS-Empfangssystemen der Firma TOPCON etwa 5,5 Stunden gemessen. Eine Zweitmessung wurde mit 2 Stunden Beobachtungszeit und einem Aufzeichnungsintervall von 1 Sekunde durchgeführt.

Auf den sechs Punkten des Linienabschnitts in Stahnsdorf erfolgten etwa einstündige relative Messungen mit zwei Empfängern und ebenfalls doppelt. Bei beiden Messungen wurden verschiedene Anordnungen gewählt. Zuerst wurde ein Referenzempfänger auf dem ersten

Punkt der Linie belassen und die anderen nacheinander mit größer werdender Entfernung gemessen. Danach erfolgte eine Messung bei der nur jeweils benachbarte NivP besetzt wurden. So können eventuell Abhängigkeiten der Genauigkeit von der Entfernung betrachtet werden.

Ergebnisse

Das gesamte Datenmaterial der nivellitischen Messungen in Vorwerk wurde auf eventuelle Ausreißer und Fehlmessungen hin untersucht. Die Genauigkeit der Bestimmung der Höhenunterschiede auf einem Instrumentenstandpunkt lag bei etwa 0,1 mm. Die wenigen größeren Werte lassen sich aus der örtlichen Situation erklären. Beispielsweise lag der Instrumentenstandpunkt zwischen dem Wechsellpunkt 5 und dem Festpunkt 2 000 auf unbefestigtem Gelände, woraus sich größere Unsicherheiten ergeben (Abbildung 4).

Für die verschiedenen Verfahren wurden die Standardabweichungen für einen Kilometer Doppelnivellement sowohl aus Streckenwidersprüchen, als auch aus Schleifenschlussfehlern berechnet (Tabelle 1). Es zeigt sich, dass es hinsichtlich

| | | | | | |
|--|------------|----------|----------|------------|-------------|
| Anzahl der Latten: | 2 Latten | 2 Latten | 1 Latte | 1 Latte | |
| Ursprung der Daten: | Vorwerk | Vorwerk | Vorwerk | Stahnsdorf | LGB Potsdam |
| Technologie: | 1. R-V-V-R | R-V, V-R | R-V, R-V | R-V, R-V | R-V, R-V |
| | [mm] | | | | |
| Standardabweichung aus Schleifschlussfehler: | 0,27 | 0,24 | 0,29 | 0,58 | |
| Standardabweichung aus Streckschlussfehler: | 0,31 | 0,28 | 0,32 | 0,65 | 0,39 |

Tabelle 1: Standardabweichungen für 1 km Doppelnivellement für die verschiedenen Verfahren

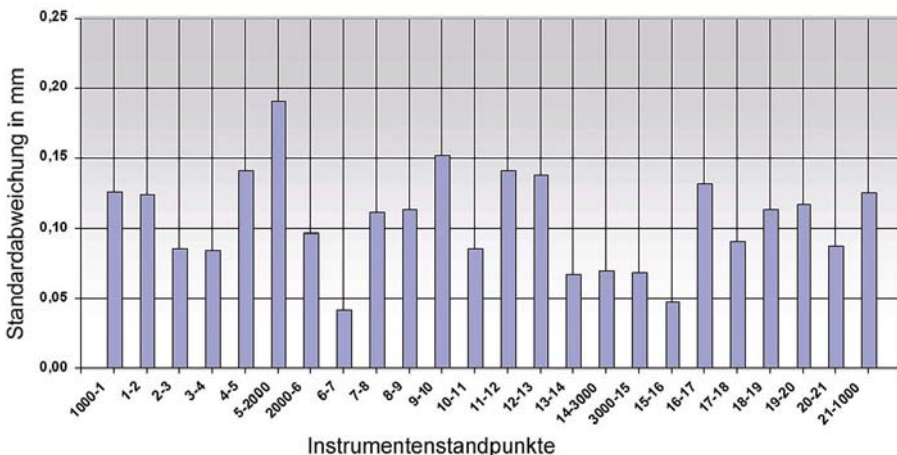


Abb. 4: Standardabweichungen der Höhenunterschiede auf den einzelnen Instrumentenstandpunkten

der Genauigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren gibt. Selbst der Einsatz von nur einer Latte liefert noch einen Wert von deutlich unter einem Millimeter. Wegen der größeren Standzeiten des Instruments und den größeren Störungen z.B. durch den Autoverkehr in Stahnsdorf ergeben sich aber etwa doppelte Werte gegenüber der Messung mit zwei Latten.

Aus Genauigkeitssicht kann keinem der Verfahren ein eindeutiger Vorzug gegeben werden. Allerdings erfolgten die Messungen im Frühjahr bei relativ niedrigen Temperaturen, was zu geringeren Einsinkeffekten als im Hochsommer geführt haben dürfte. Die untersuchten Messungen der

LGB im Nivellementsnetz 3. Ordnung, die aus verschiedenen Monaten stammten, lieferten ein vergleichbares Ergebnis.

Hinsichtlich des erforderlichen zeitlichen und personellen Aufwands unterscheiden sich die Verfahren. Dazu wurden der mittlere Zeitbedarf je Instrumentenstandpunkt aus dem gesamten Datenmaterial berechnet und gegenübergestellt (Abbildung 5). Da in den Instrumenten auch der Ablesezeitpunkt mit abgespeichert wird, ist dies leicht möglich. Die Schwankungen um die mittlere Instrumentenstandzeit waren gering.

Berücksichtigen muss man allerdings auch die Tatsache, dass bei Einsatz nur einer Latte der Zeitaufwand zwar steigt,

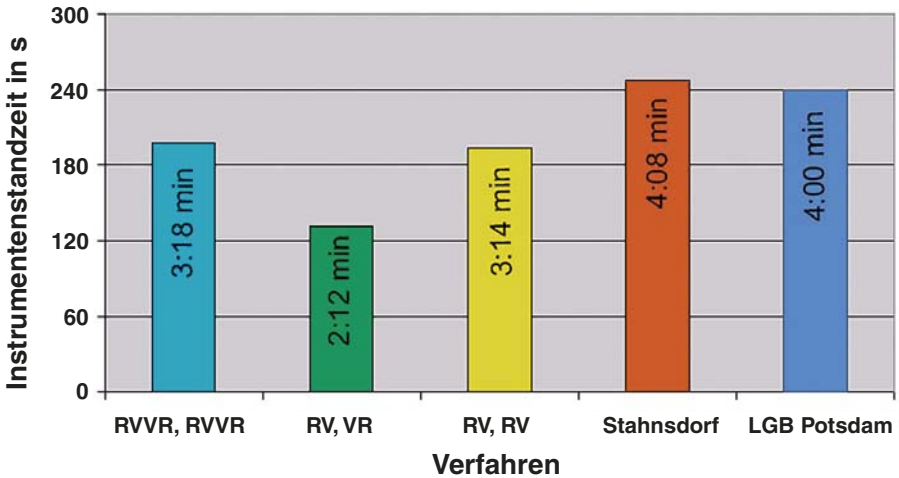


Abb. 5: Durchschnittlicher Zeitbedarf je Instrumentenstandpunkt bei den verschiedenen Verfahren

aber eine Person weniger benötigt wird. Außerdem sind die Zeiten für die Messung in Vorwerk etwas kürzer, da es sich dort um ideale ungestörte Messbedingungen handelte.

Das traditionelle Verfahren *RVVR*... schneidet daher verständlicherweise am ungünstigsten ab. Wenn auf das zweite Beobachtungspaar verzichtet wird, spart man ein Drittel der Messzeit. Die Messung mit nur einer Latte im einfachen Verfahren *RV-RV*... ist nur geringfügig schneller, erfordert aber nur 2/3 des Personals. In Stahnsdorf wurde mit dem einfachen Verfahren wegen der genannten schwierigeren Bedingungen etwa 30 % mehr Zeit benötigt.

Das Ergebnis ist insofern überraschend, dass beide einfacheren Verfahren (*RV-VR*, *RV-RV*) etwa die gleiche Verringerung des Aufwands bringen. Es kann daher zusammenfassend festgestellt werden, dass für Präzisionsnivellements das traditionelle Messverfahren verzichtbar ist, ohne Genauigkeitsverluste zu erleiden. Man kann etwa ein Drittel Messzeit einsparen. Auf

die Verwendung von zwei Latten sollte man allerdings nicht verzichten, da die deutlich kürzeren Standzeiten des Instruments zu ebenfalls geringeren Einsinkeffekten des Stativs führen werden.

GNSS-Höhenbestimmung

Abschließend sollte noch untersucht werden, inwieweit die satellitengestützte Höhenbestimmung als Alternative zum geometrischen Nivellement in Frage kommt.

Zuerst wurde dabei die Frage betrachtet, wie lange die Punkte besetzt werden müssen und unter welchem Höhenwinkel die Satelliten beobachtet werden müssen (Abbildung 6). Es zeigt sich, dass für eine möglichst gute Höhenbestimmung mit einer Mindestelevation von 5 bis 10° gearbeitet werden muss. Das ist auch leicht erklärbar, da nur so die in der Auswertung stark korrelierten Parameter Höhe und Troposphäreneinfluss voneinander getrennt werden können. Um eine sichere Höhenbestimmung zu erreichen, sind wenigstens 60 Minuten Beobachtungszeit erforderlich. Besser wären zwei Stunden,

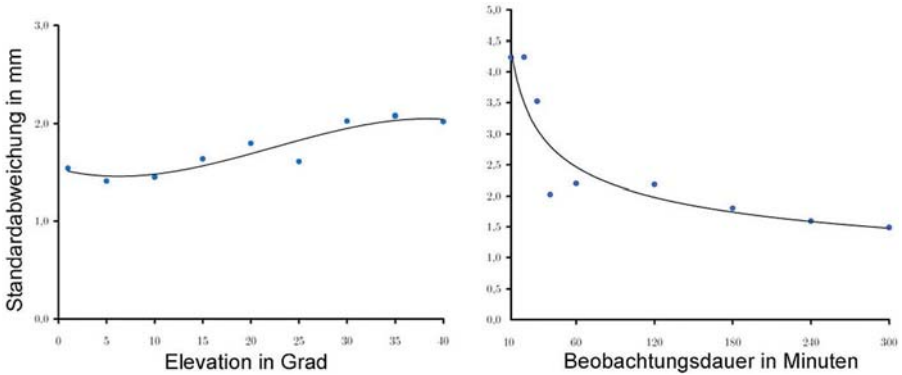


Abb. 6: Standardabweichung der Höhenunterschiede in Abhängigkeit von der Mindestelevation (links) und der Beobachtungsdauer (rechts)

um eventuell schlechte Beobachtungsintervalle in der Auswertung ausschließen zu können.

Die Länge der Basislinie hat hingegen keinen deutlich erkennbaren Einfluss auf die Genauigkeit, wenn kurze Distanzen von weniger als 5 km betrachtet werden.

Die erreichbare Genauigkeit liegt im Niveau von etwa 2 mm für den direkt beobachteten Höhenunterschied. Wenn nur ein Empfänger mit Anschluss an einen Referenzdienst (z. B. *SAPOS*[®]) eingesetzt wird, kann diese Genauigkeit nicht erreicht werden, da dann die Entfernung zur Referenzstation in aller Regel größer als 5 km sein wird. Auch mit den Echtzeitlösungen kann man normalerweise nicht gleichwertige Höhengenaugkeiten erreichen, da sie noch etwas ungenauer sind als die Lösungen im Postprocessing. Die relativ hohe Genauigkeit für direkt beobachtete Höhenunterschiede über kurze Distanzen ergibt sich aus den sehr ähnlichen troposphärischen und ionosphärischen Refraktionseinflüssen auf beiden Beobachtungspunkten, die bei der relativen Höhenbestimmung herausfallen.

Absolute Höhenbestimmungen sind derzeit nicht mit einer Genauigkeit von unter

5 mm möglich. Die Summe der Fehler aus der GPS-Auswertung und dem erforderlichen Geoidmodell ist immer größer als 1cm. Die relative Genauigkeit ist dagegen viel höher, da viele Fehlereinflüsse systematisch wirken.

Die Höhenbestimmung mit Satellitenverfahren ist hinsichtlich der Genauigkeit (noch) nicht dem Nivellement gleichwertig. Für die Bestimmung von Gebrauchshöhen im Genauigkeitsniveau von einem halben Zentimeter ist der Einsatz von GNSS-Messungen aber schon heute möglich.

Quellen:

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: Quasigeoid der Bundesrepublik Deutschland, SatNivGeoid, 2004

Krischker, Ralf; Bleek Angelo: Untersuchungen zur Höhenbestimmung in den amtlichen Nivellementnetzen Brandenburgs, Diplomarbeit, TFH-Berlin, 2006

