

Totalstationen und Präzisionsprismen – genauer als die technischen Spezifikationen?

Timon JANUTH

Zusammenfassung

Der Benutzer einer Totalstation weiß heute oftmals nicht genau, ob es sich bei den technischen Spezifikationen um reelle Genauigkeitswerte oder eher um Toleranzen handelt. Kann der Distanzmesser einer Totalstation durch Kalibrierung ebenfalls für Arbeiten von höheren Genauigkeitsanforderungen (von einigen Zehntelmillimetern) gebraucht werden? Um dieser Frage nachzugehen wurden Vergleichsmessungen innerhalb eines Messlabors, zwischen einem Tachymeter Leica TM50 und einem Lasertracker AT401, sowie einem Interferometer durchgeführt. Der AT401 wurde eingesetzt um zu analysieren, ob eine mobile Kalibrierung durchgeführt werden kann, was diverse Vorteile hätte gegenüber einem Interferometer. In jener Arbeit wird auf den Distanzmesser eingegangen, nicht jedoch auf die Unterschiede der Horizontalrichtungs- und Vertikalwinkelmessungen.

In einem zweiten Test werden Leica GPH1P Präzisionsprismen getestet. In welcher Zentriergenauigkeit befindet man sich wenn solche Prismen um die eigene Achse gedreht werden? Es wird gezeigt, dass es sich bei den getesteten Prismen um systematische Abweichungen handelt.

1 Instrumente und Zubehör

Ein Blick auf die technischen Spezifikationen zeigt den erheblichen Unterschied der Genauigkeit des Distanzmessers:



| Messung von 30 m | Genauigkeit |
|------------------|-------------|
| σ dist. | 0.005 mm |
| σ hz / V | 0.07 mm |
| σ 3D | 0.10 mm |

Vertrauensintervall: $\sim 1.5 \sigma$

Abb. 1:
Leica Absolute Tracker AT401¹
mit Genauigkeitsangaben



| Messung von 30 m | Genauigkeit |
|------------------|-------------|
| σ dist. | 0.63 mm |
| σ hz / V | 0.07 mm |
| σ 3D | 0.64 mm |

Vertrauensintervall: $\sim 2 \sigma$ (Annahme)
Messungen ohne ATR

Abb. 2:
Leica TM50²
mit Genauigkeitsangaben

¹ HEXAGON METROLOGY (2015)

² LEICA GEOSYSTEMS (2015)

Wir konzentrieren uns somit auf die Untersuchung des Distanzmessers des TM50.

Des Weiteren wurden Leica Messkugeln (Typ BRR, CCR, RRR), GPH1P Präzisionsprismen, ein Aluminiumstativ AT21, Sockel für die Stationierung und die Meteostation des AT401 verwendet um die meteorologischen Korrekturen durchzuführen:

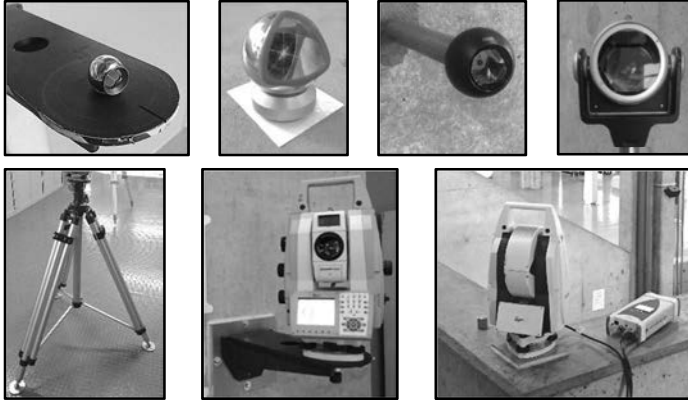
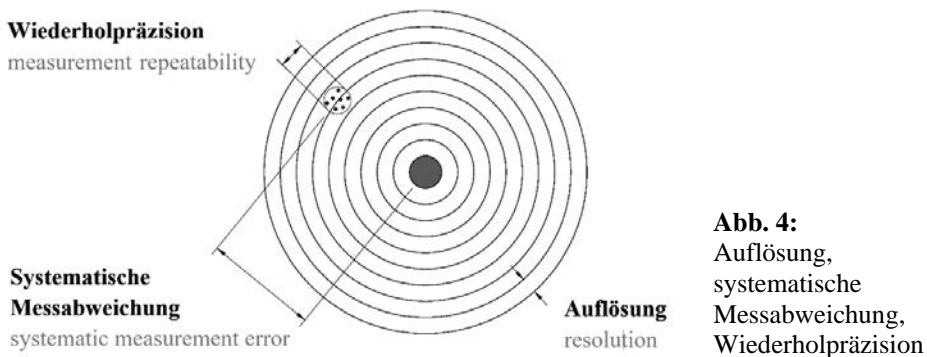


Abb. 3: Zubehör für die Testmessungen

2 Zu untersuchende Werte



Die Totalstation wird in den nachfolgenden Kapiteln auf ihre Auflösung, die Wiederholpräzision und die systematische Messabweichung getestet. Die Endresultate werden hierbei zusammenfassend beschrieben.

2.1 Auflösung

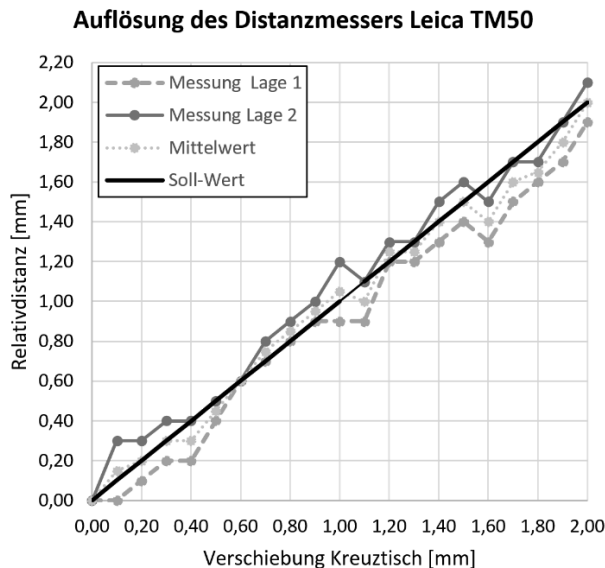
Die Auflösung des Instruments beinhaltet die kleinste Änderung einer Messgröße, welche festgestellt werden kann. Diese kann beispielsweise mithilfe eines Interferometers und eines Messschlittens, welcher in regelmäßigen Abständen verschoben wird, eruiert werden.

Da hierbei der Messschlitten nicht in kleinen regelmäßigen Abständen bewegt werden konnte, wurde ein Kreuztisch verwendet:

**Abb. 5:**

Bestimmung der Auflösung des TM50 mithilfe einer Messkugel und eines Kreuztischs

Die Messkugel wurde in Abständen von 0.1 mm in der Visurrichtung des Instruments verschoben. Daraus folgt folgende Grafik, wobei die Verschiebungen des Kreuztischs (in schwarz), die Messungen in der 1. Lage (grob gestrichelt) und die Messungen der 2. Lage (grau, durchgezogene Linie) dargestellt sind:

**Abb. 6:** Bestimmung der Auflösung

Mittels Berechnung der Standardabweichung konnte eine empirische Auflösung von 0.14 mm für die 1. Lage, 0.10 mm für die 2. Lage und 0.08 mm für den Mittelwert der beiden Lagen bestimmt werden.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der Hundertstelmillimeter der Distanzmessungen bei wiederholten Messungen auf den gleichen Punkt nicht variierte, somit bestätigt dies die beschriebenen Testmessungen, wobei eine Auflösung von 0.1 mm bestimmt wurde.

2.2 Wiederholpräzision

Diverse Tests wurden durchgeführt um die Wiederholpräzision des Distanzmessers zu überprüfen (Distanzen bis zu 30 m). Bei konstanten meteorologischen Bedingungen, wird die Wiederholpräzision in diesem Bereich jedoch stark von der Auflösung beeinflusst. Testmessungen im Labor ergaben ebenfalls eine Standardabweichung von 0.10 mm, bei zehn Messungen auf eine ca. 12 m entfernte Messkugel.

2.3 Systematische Messabweichung

Der Hauptteil des Kalibrierungsprozesses liegt in der Bestimmung von systematischen Messabweichungen. Unter anderem wurde die Konstante für einen Rot-Ring Reflektor mittels eines Tests in einem etwa 50 Meter langen Korridor, mithilfe des AT401 bestimmt. Hierfür musste darauf geachtet werden, dass die Distanz zwischen dem AT401 und der Stehachse des TM50 genau bestimmt wird. Diese Messung war nötig, um danach die zu messende Soll-distanz des TM50 zu berechnen (mittels dreidimensionaler Trigonometrie). So ergab sich eine Additionskonstante $0.36 \text{ mm} \pm 0.03 \text{ mm}$. Die gleiche Konstante konnte ebenfalls in einem vereinfachten, klassischen Verfahren mit drei Stationen des TM50 gefunden werden, in jenem zwei Rot-Ring-Reflektoren jeweils zwei Mal von außerhalb und einmal zwischen beiden Tripelspiegelreflektoren gemessen wurden. Für die Bestimmung der Additionskonstanten brachte der Einsatz des AT401 somit wenig zusätzliche Informationen.

Interessant ist, dass für die Präzisionsprismen keine Additionskonstante vorhanden ist, wie in nachfolgendem Test mithilfe eines Interferometers beschrieben:

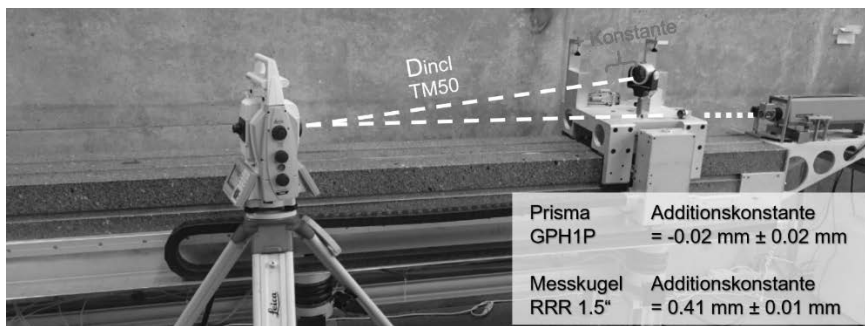


Abb. 7: Bestimmung der Additionskonstanten eines GPH1P-Prismas und einer RRR 1.5“-Messkugel

Der Messschlitten wurde mehrmals hin und her bewegt, wobei sich der TM50 in der Mitte der Marmormessgrundlage befand. Somit konnten die beiden Additionskonstanten (Abb. 7) berechnet werden.

Dieser Test zeigt die Notwendigkeit einer Bestimmung der verschiedenen Additionskonstanten bei Spezialvermessungen, bei denen eine Zehntelmillimeter-Genauigkeit gesucht wird (Konstante von 0.4 mm für die Rot-Ring Reflektoren und 0.0 mm für das GPH1P-Prisma). Bei den Messungen auf das Prisma, mussten die Exzentrizitätsfehler möglichst eliminiert werden, diese sind im nächsten Kapitel zusammengefasst.

3 Exzentrizität von Prismen

Die Geomatikabteilung des Instituts insit³ der HEIG-VD⁴ verfügt über verschiedene GPH1P Präzisionsprismen. Diese wurden in den letzten zehn Jahren zu unterschiedlichen Zeitpunkten erworben und schließlich in einem gleichen Verfahren getestet. Hierfür wurden die Prismen in beiden Lagen (Lage 1: Zielrohr oberhalb des Prismas; Lage 2: Zielrohr unterhalb des Prismas) mithilfe eines AT401 untersucht (Messdistanz: 7 mm; im Labor). Als Referenz wurde ein magnetisches Zwischenstück kreiert, auf welchem Messkugeln befestigt werden können. In der nachfolgenden Grafik sind jedoch nur die systematischen Abweichungen zum Mittelwert der beiden Prismenlagen zu beachten:

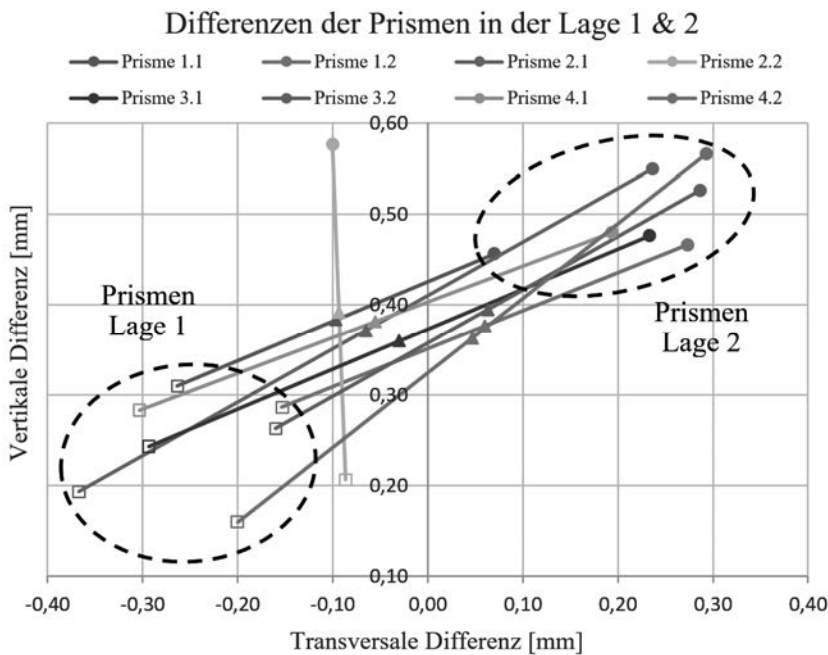


Abb. 8: Bestimmung der Exzentrizitätsfehler von GPH1P-Prismen

Bei dem Prisma Nr. 2.2, welches eine andere Differenz aufweist als die restlich getesteten Prismen, handelt es sich um ein vorgängig korrigiertes Prisma. Es ist interessant zu sehen, dass die sieben anderen Prismen welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten erworben wurden, alle die gleiche Systematik aufweisen. Diese sind ebenfalls in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Laut Hersteller⁵ beträgt die Zentriergenauigkeit der GPH1P Prismen 0,3 mm mit einem Vertrauensintervall von 1σ . Zwei der sieben getesteten Prismen übersteigen diesen Wert (s. Ta-

³ Institut d'ingénierie du territoire (insit)

⁴ Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Yverdon-les-Bains (CH)

⁵ LEICA GEOSYSTEMS (2009)

belle 1), daraus folgt, dass sich rund 71 % der Prismen in der Zentriergenauigkeit des Herstellers befinden. Es handelt sich jedoch um einen großen systematischen Anteil, welcher korrigiert werden könnte.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Exzentrizitätsfehler von GPH1P-Prismen in der Lage 1

| Typ | Korrektur Prisma Lage 1 – Mittelpunkt beider Lagen | | | | |
|------------|---|--------------|------------------|---------------|---------------|
| | Nr. Prisma | Distanz [mm] | transversal [mm] | vertikal [mm] | Total 3D [mm] |
| GPH1P | 1.1 | 0.05 | 0.17 | 0.07 | 0.19 |
| | 1.2 | 0.04 | 0.21 | 0.09 | 0.23 |
| | 2.1 | 0.07 | 0.30 | 0.18 | 0.36 |
| | 3.1 | 0.09 | 0.26 | 0.12 | 0.30 |
| | 3.2 | 0.08 | 0.22 | 0.13 | 0.27 |
| | 4.1 | 0.07 | 0.25 | 0.10 | 0.28 |
| | 4.2 | 0.13 | 0.25 | 0.20 | 0.35 |
| Mittelwert | | 0.08 | 0.24 | 0.13 | 0.28 |
| Std.-Abw. | | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |

4 Schlussfolgerung

Bei den getesteten GPH1P-Präzisionsprismen handelt es sich um systematische und homogene Fehler die sich nahe am Grenzwert des Herstellers bewegen. Es ist wichtig zu wissen, dass die Exzentrizitätsgenauigkeit dieser Prismen mit einem Vertrauensintervall von 1σ angegeben werden und dies einzeln für jede Lage des Prismas.

Die Additionskonstante ist abhängig vom Instrument und der verwendeten Reflektoren. Für den hierfür verwendeten TM50 wurde eine Konstante von rund 0.4 mm für die Rot-Ring Reflektoren bestimmt, für die GPH1P-Prismen konnte keine Additionskonstante gefunden werden. Das getestete Instrument hat eine Auflösung von 0.1 mm und kann unter Berücksichtigung der Additionskonstanten bei Verwendung von Messkugeln, sowie Rücksicht auf die Genauigkeit des Zubehörs (welches heutzutage nebst den meteorologischen Einflüssen oftmals den hauptsächlichen Genauigkeitsverlust ausmacht) auch für Arbeiten bei welchen Anforderungen von einigen Zehntelmillimeter bestehen, eingesetzt werden.

Literatur

- BRINKMANN, B. (2012): Internationales Wörterbuch der Metrologie. 4. Auf. Beuth, Berlin.
 HEXAGON METROLOGY (2015): White Paper AT401.
 LEICA GEOSYSTEMS (2009): Réflecteurs topographiques White Paper.
 LEICA GEOSYSTEMS (2015): Leica TM50 – White Paper.