

Stativbewegungen bei der Verwendung von Robottachymetern

C. Depenthal

1 Einleitung

Elektronische, selbstverfolgende Tachymeter (Robottachymeter), werden mittlerweile immer häufiger eingesetzt. Durch ihre motorgesteuerten Achsantriebe und ATR sind sie im Stande, durch Prismen signalisierte Punkte selbsttätig anzuzielen oder zu verfolgen. Es erhebt sich daher die Frage, inwieweit Beschleunigungs- und Bremsvorgänge der Motoren zu Stativverdrehungen bzw. -neigungen führen können, die bleibende signifikante Richtungsänderungen verursachen. Daher sollte der Wahl der zu verwendenden Stative im Hinblick auf ihre Stabilität größere Aufmerksamkeit als bisher gewidmet werden. In bisherigen Arbeiten wurden u. a. die Auswirkungen des Tastendrucks auf die Fernrohrauslenkung [Staiger, R., 1998] und Stativschwingungen [Ingensand, H., 2001] dargestellt. [Schwarz, W., 2001] zeigt die Möglichkeit auf, Stativbewegungen mit einem Laserinterferometer zu bestimmen.

Im folgenden Artikel werden die Ergebnisse umfangreicher Messungen mit einem elektronischen Autokollimator hinsichtlich der Stativverdrehungen bzw. -neigungen vorgestellt. Hierbei geht es im Wesentlichen um die Auswirkungen der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge des Robottachymeters auf unterschiedliche Stative.

2 Stative

Für die Untersuchungen wurden folgende neuwertige Stative verwendet: Nedo 200533 (Nedo33) und Nedo 200513 (Nedo13), Leica GST und das amerikanische Crain-Stativ Tri-Max. Zusätzlich wurden einige Versuche mit einem schweren Industriestativ (Eigenbau Geodätisches Institut Universität Karlsruhe), einem gebrauchten Kern-Stativ, einem gebrauchten Leica GST (Leica gebr.) und einem Wild-Stativ durchgeführt. Tabelle (Tab. 2.1) verdeutlicht die Unterschiede zwischen den Nedo-, Leica- und Crain-Stativen. Weiterhin wurde für die Untersuchungen von der Firma Nedo ein Teststativ zur Verfügung gestellt, das im unteren Bereich die gewohnte Schraubklemmung (wie bei Stativ Nedo33) und zusätzlich im oberen Bereich eine Schnellklemmung (wie bei Stativ Nedo13) aufweist.

Tab. 2.1: Stativübersicht

Aufbau	Nedo 200533 / 513	Leica GST	Crain Tri-Max
Material Mittelholm / Seitenholm	Hartholz (Esche)	Hartholz	Glasfasermatten in Epoxydharz getränkt
Oberfläche Mittelholm / Seitenholm	Mit PVC-Folie ummantelt bzw. beschichtet (Seitenholm)	Lackiert	Keine separate Behandlung
Stativschuh	Alu-Druckguss, pulverbeschichtet, umspritzte Stativspitze		Kunststoff-Spritzteil, umspritzte Spitze
Klemmung	Schnellklemmung (200513): Spannlaschen aus Stahl, mit Sicken (Ausprägungen) versteift Schraubklemmung (200533): Druckguss-Halbschale, die mit einer Klemmschraube mit Kugelkopf auf den Seitenholm gedrückt wird	Schraubklemmung: Stahlplättchen mit Gewinde, das durch eine Klemmschraube auf den Seitenholm gedrückt wird	Schnellspannung: Spannlaschen sind aus Aluminiumprofil gesägt, offene Ringlasche am Ende der Seitenholme
Befestigung Seitenholme im Gelenk	Verspannung mittels eines Keilmechanismus'. Keil und Backen sind aus einem Duroplast gefertigt.	Verspannung mittels eines Keilmechanismus'. Keil und Backen sind aus Aluminium gefertigt	Befestigung vermutlich durch Kleben
Stativkopf	Runde Form	Dreifuß-förmig	Runde Form

3 Experimente

3.1 Autokollimator

Mit der Absicht, die Auswirkungen der Drehbewegung des Tachymeters möglichst unbeeinflusst zu erhalten und gleichzeitig das Gewicht nicht wesentlich zu erhöhen, wurde das Autokollimationsverfahren gewählt und ein Spiegel mit einer spannungsfreien Aufnahme am Dreifuß in der Bohrung des optischen Lotes befestigt. Die räumliche Spiegelorientierung wurde mit dem elektronischen Zweiachs-Autokollimator T40 der Firma Micro-Radian bestimmt. Die Datenerfassung erfolgte über eine serielle Schnittstelle mit etwa 30 Hz. Der Autokollimator verfügt über einen Arbeitsbereich von $\pm 1^\circ$, eine Auflösung von 0.1" und einen RMS-Wert von 1.7" für beide Achsen, Azimut und Elevation (Herstellerangabe über den gesamten Arbeitsbereich). Für den reduzierten Arbeitsbereich von $\pm 1'$ konnten mit einem Wild T2002 deutlich bessere Genauigkeiten (vertikal 0.6" und azimuthal 0.3") nachgewiesen werden.

3.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau war für alle Stative gleich. Während der Messungen im Labor standen die Stative auf einem mit Gewichten beschwerten Stativstern. Das Instrument wurde stets in der Mitte des

Stativkopfs aufgebaut. Mit einem Leica TCA2003 wurden typische Messabläufe simuliert, indem es über die Befehlsstruktur GeoCom [Fa. Leica, 1999] angesteuert wurde. Dadurch konnte auf eine Berührung des Instrumentes während eines Messungsablaufs verzichtet und Einflüsse des Tastendrucks eliminiert werden. Die Datenerfassung, die Ansteuerung des Instrumentes sowie die Datenerfassung des T40 wurde mit LabView (graphisches Programmierungstool von National Instruments) realisiert, so dass jeder Bewegung des Tachymeters eindeutig Zeit und ein Autokollimatorwertepaar (Azimut und Elevation) zugeordnet werden konnte. Eine Verdrehung des Dreifußes im Uhrzeigersinn zeigt sich in einem ansteigenden Azimutwert, eine Neigung des Instrumentes nach unten – vom Spiegel aus gesehen – in einem ansteigenden Elevationswert.

3.3 Voruntersuchung

Um die Stative auf Bewegungen im Ruhezustand zu untersuchen wurden die Stative wiederholt wie gewohnt mit Instrument aufgebaut und direkt im Anschluss Azimut und Elevation für etwa 45 Minuten gemessen. Das Teststativ mit den zwei Klemmungen erreichte nach dieser Zeit schon azimutale Verdrehungen von 20 - 30 mgon und Neigungen von 5 - 10 mgon. Leica-, Nedo- und Crain-Stative zeigten in den ersten 15 Minuten Bewegungen zwischen 0.5 - 2.0 mgon. Danach stabilisierte sich der Aufbau zunehmend. Auffallend ist jedoch, dass jede neue Aufstellung unterschiedliche Ergebnisse lieferte. Es wäre folglich angebracht, während der ersten 15 Minuten nach Aufstellung keine Präzisionsmessungen durchzuführen.

3.4 Messszenarien

Um einen möglichst umfangreichen Bewegungsablauf zu realisieren, wurden drei verschiedene Messszenarien, nämlich "Satzmessung", "Lagewechsel" und "ATR", gewählt. Bei der "Satzmessung" dreht das Instrument schrittweise horizontal um bestimmte Winkel (z.B. 100, 50 oder 25 gon), wechselt nach einer vollständigen Drehung in Lage II und dreht mit der gleichen Schrittweite zurück zur Ausgangsposition. Zusätzlich sind noch Vertikalbewegungen miteinbezogen worden. Damit lassen sich bei einer Schrittweite von 25 gon 34 Positionen erfassen. In jeder Position wurde mindestens eine Richtungsmessung durchgeführt. In der Anfangsposition befand sich das Objektiv über dem Autokollimationsspiegel. Das Szenarium "Lagewechsel" bestand aus einem mehrfachen Wechsel zwischen Lage I und Lage II und mindestens einer Richtungsmessung pro Lage. Für die "ATR"-Messungen wurden vier im Raum verteilte Prismen nach der Anlernphase automatisch in einem Vollsatz aufgenommen.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Generelle Interpretation

Abb. 4.1 zeigt das Ergebnis einer Satzmessung mit einer horizontalen Schrittweite von 100 gon für das Nedo33-Stativ. In jeder Position wurde die Richtung 20-mal gemessen. Am Positionierungsanfang und -ende zeigt sich die Wirkung der Beschleunigung und des Abbremsens des TCA2003 in einer vorwiegend horizontalen Verdrehung (Azimutwert) des Stativkopfs. Ein "negativer" Ausschlag bedeutet, dass sich der Stativkopf im Gegenuhrzeigersinn bewegt und somit entgegengesetzt zur Drehrichtung des Tachymeters. In Lage II ändert sich die Drehrichtung des Tachymeters und infolgedessen auch die entsprechende Ausschlagsrichtung. Diese Bewegungen von bis zu 1 mgon sind unkritisch, solange sich der Stativkopf bis zum Zeitpunkt der Messung in die Ursprungslage zurückdreht. Die Untersuchungen zeigen für alle Stative systematische horizontale Verdrehungen und Neigungen, wobei die Neigungen deutlich stärker hervortreten. Während des Messungszeitraumes, in dem 20 Richtungsmessungen erfolgten, lässt sich ein Nachschwingen der Verdrehungseffekte (bis zu 0.2 mgon in der Elevation) während des Stillstandes des TCA2003 sehr gut erkennen (vergl. Abb. 4.1 und Abb. 5.2).

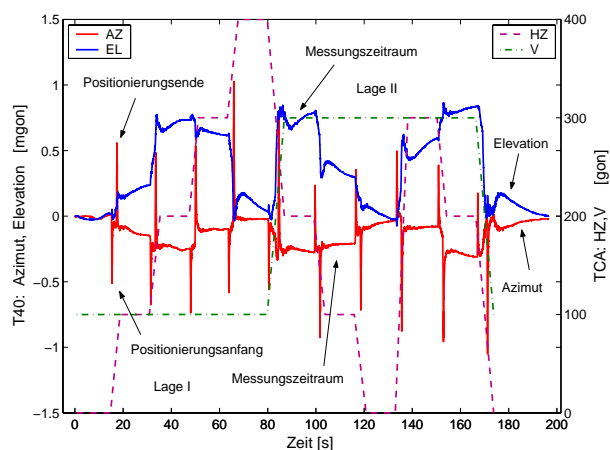


Abb. 4.1: "Satzmessung": Nedo33, horizontale Schrittweite 100 gon, jeweils 20 aufeinander folgende Richtungsmessungen ("Messungszeitraum")

Wird nur eine Richtung gemessen, bestimmt die Zeitdauer zwischen dem Ende der Grobpositionierung und der Richtungsmessung – also die Feinpositionierung –, wie groß der Einfluss des Nachschwingens auf die Richtungsgenauigkeit ist. Diese Feinpositionierung ist u. a. abhängig von der Positionierungstoleranz und benötigt z. B. bei dem Szenarium "Satzmessung" zwischen 1 s und 3 s. Abb. 4.2 zeigt einen Ausschnitt aus einer "Satzmessung" mit 100 gon Schrittweite und einer Richtungsmessung, die knapp 1 s dauert. Bei dem Szenarium "ATR"-Messung erhöht sich die Messungszeit für Richtung und Strecke auf etwa 4 s.

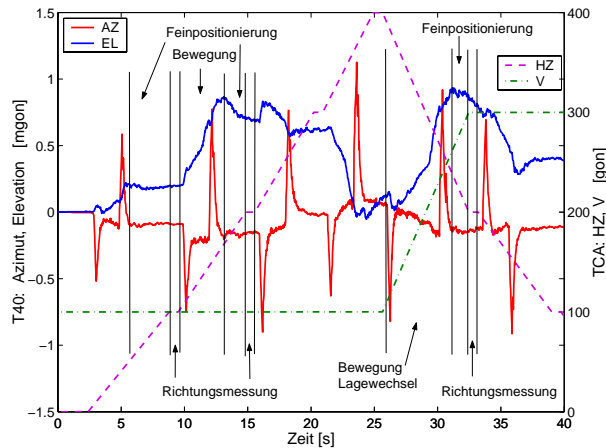


Abb. 4.2: Ausschnitt aus "Satzmessung": Nedo33, horizontale Schrittweite 100 gon, 1 Richtungsmessung

Die Unterschiede der Stative zeigen sich vor allem in der Größenordnung der Bewegungen. Dabei ist hauptsächlich der kurze Zeitraum der Richtungsmessung von Interesse. Abb. 4.3 zeigt für das Leica-Stativ eine Satzmessung mit horizontaler Schrittweite von 25 gon und vertikal 5 gon mit 20 Richtungsmessungen pro Position und 3 Sätzen in Folge. Die maximalen horizontalen Verdrehungen von ± 0.7 mgon beim Beschleunigen und Abbremsen klingen während der etwa 12s dauernden Messungsepoche (für 20 Richtungsmessungen) nicht vollständig ab. Abb. 4.4 zeigt die gemittelten azimutalen und vertikalen Bewegungen während der 20 Richtungsmessungen für drei fortlaufende Satzmessungen mit 25 gon (HZ) bzw. 5 gon (V) Schrittweite für dieses Leica-Stativ. Dabei lässt sich, bis auf wenige Ausnahmen, die Stabilität des Stativs bei Wiederholungsmessungen erkennen. Die Nedo-Stative zeigen ein ähnliches Bild, während das Crain-Stativ diese Stabilität nicht kontinuierlich aufweist (Abb. 4.5). Aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Versuchsdurchläufe kann für jedes einzelne Stativ ein mittlerer Wert für die maximale Verdrehung bzw. Neigung bestimmt werden (Tab. 4.2). Das Leica- und Nedo33-Stativ können als gleichwertig betrachtet werden, während das Crain-Stativ das schlechteste Ergebnis aufzeigt. Zwischen dem gebrauchten und dem neuwertigen Leica-Stativ ist kein Unterschied feststellbar. Das Kern-Stativ weist die besten Ergebnisse auf. Hierbei spielt sicherlich das um 3 kg höhere Gewicht des Stativs eine Rolle, sowie die fast 4 cm breiteren Seitenholme. Das Industriestativ verhält sich fast wie ein Pfeiler, ist aber aufgrund seines Gewichts und seiner Konstruktion nicht für den täglichen Außeneinsatz geeignet.

Die Untersuchungsergebnisse aus den Szenarien "Lagewechsel" und "ATR" sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus dem Szenarium "Satzmessung" und werden daher nur bei Auffälligkeiten besonders erwähnt.

Tab. 4.2: Maximale Stativbewegungen beim Messszenarium "Satzmessungen" (Laboraufbau)

Stativ	EL	AZ	Stativ	EL	AZ
	[mgon]			[mgon]	
Leica	0.8	0.3	Kern	0.6	0.2
Nedo33	0.8	0.3	Wild	1.1	0.3
Nedo13	1.0	0.2	Leica gebr.	0.8	0.3
Crain	1.6	0.4	Industrie	0.1	0.1

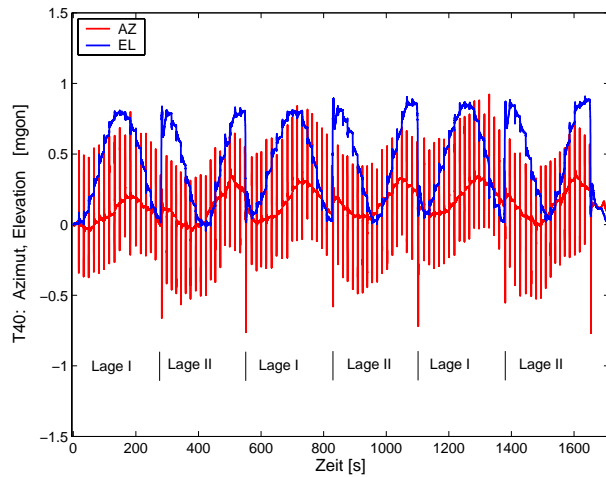


Abb. 4.3: Stativbewegungen bei "Satzmessung": Leica, Schrittweite HZ 25 gon V 5 gon, 20 Richtungsmessungen pro Position, 3 Sätze in Folge

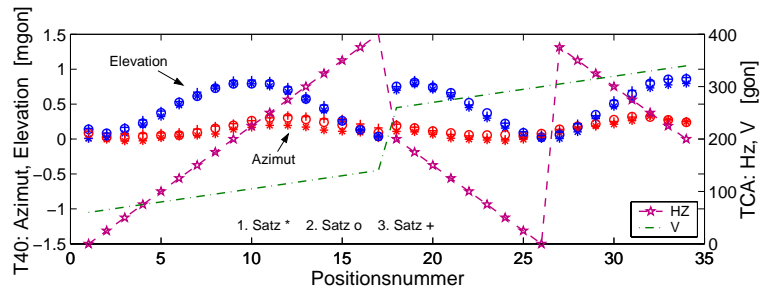


Abb. 4.4: Stativbewegungen bei "Satzmessung": Leica, gemittelte AZ- und EL-Werte zum Zeitpunkt der Richtungsmessung, Schrittweite HZ 25 gon V 5 gon, 20 Richtungsmessungen pro Position, 3 Sätze in Folge

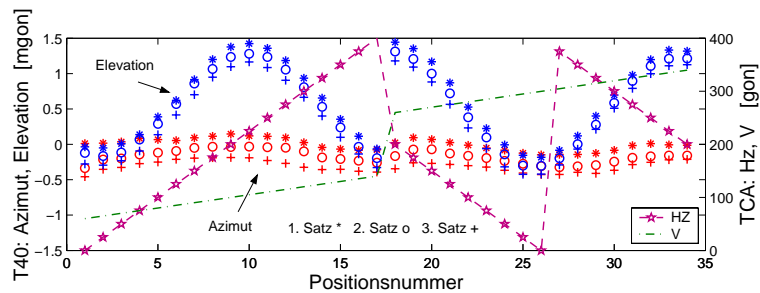


Abb. 4.5: Stativbewegungen bei "Satzmessung": Crain, gemittelte AZ- und EL-Werte zum Zeitpunkt der Richtungsmessung, Schrittweite HZ 25 gon V 5 gon, 20 Richtungsmessungen pro Position, 3 Sätze in Folge

In Abb. 4.3, Abb. 4.4 und Abb. 4.5 lässt sich für die Elevation und das Azimut ein sinusförmiger Verlauf erkennen. Bei einer Satzmessung mit 25 gon Schrittweite entstehen pro Lage 17 Stützstellen, für die eine ausgleichende Sinusfunktion mit linearem Anteil geschätzt wurde (4.1).

$$f(x) = A \sin(x + \varphi) + mx + b \quad (4.1)$$

Der Parameter x aus (4.1) steht für die Horizontalrichtungen der 17 Stützstellen. Die Ergebnisse der Ausgleichung mittels des Gauß-Markov-Modells getrennt nach Lage I und II für die Elevation sind in Tab. 4.3 und Tab. 4.4 für jeweils drei aufeinander folgende Satzmessungen dargestellt (siehe hierzu auch die folgenden Abschnitte).

Tab. 4.3: Parameterschätzung für Lage I bei 3 aufeinander folgenden Satzmessungen bezüglich der Elevation (25 gon Schrittweite)

Stativ	Satz L1	A [mgon]	$\hat{\sigma}_A$ [mgon]	φ [gon]	$\hat{\sigma}_\varphi$ [gon]	m 10^{-6}	$\hat{\sigma}_m$ 10^{-6}	b [mgon]	$\hat{\sigma}_b$ [mgon]
Nedo33	1	0.4 ₂	0.008	259.6	1.47	0.185	0.061	0.3 ₂	0.013
	2	0.4 ₁	0.007	254.8	1.26	-0.172	0.052	0.4 ₀	0.011
	3	0.3 ₉	0.008	254.5	1.35	-0.251	0.054	0.4 ₃	0.012
Nedo13	1	0.4 ₃	0.010	268.1	1.78	0.161	0.073	0.4 ₂	0.016
	2	0.4 ₂	0.010	262.9	1.87	-0.272	0.075	0.5 ₂	0.016
	3	0.4 ₂	0.008	262.7	1.44	-0.285	0.058	0.5 ₄	0.013
Leica	1	0.3 ₆	0.007	267.3	1.70	0.327	0.057	0.3 ₂	0.012
	2	0.3 ₅	0.009	259.6	1.73	-0.111	0.060	0.4 ₄	0.013
	3	0.3 ₅	0.009	258.4	1.90	-0.237	0.064	0.4 ₂	0.014
Crain	1	0.6 ₉	0.012	268.7	1.37	0.164	0.089	0.6 ₂	0.019
	2	0.6 ₇	0.008	265.3	0.91	0.184	0.058	0.6 ₇	0.013
	3	0.7 ₁	0.015	268.2	1.68	0.289	0.112	0.6 ₆	0.024

Tab. 4.4: Parameterschätzung für Lage II bei 3 aufeinander folgenden Satzmessungen bezüglich der Elevation (25 gon Schrittweite)

Stativ	Satz L2	A [mgon]	$\hat{\sigma}_A$ [mgon]	φ [gon]	$\hat{\sigma}_\varphi$ [gon]	m 10^{-6}	$\hat{\sigma}_m$ 10^{-6}	b [mgon]	$\hat{\sigma}_b$ [mgon]
Nedo33	1	0.42	0.009	115. ₇	1.86	-0.059	0.069	0.3 ₇	0.015
	2	0.39	0.012	106. ₈	2.84	0.257	0.098	0.3 ₃	0.021
	3	0.39	0.011	106. ₄	2.66	0.448	0.092	0.2 ₇	0.020
Nedo13	1	0.44	0.011	97. ₇	2.34	0.281	0.090	0.3 ₈	0.020
	2	0.42	0.006	98. ₁	1.34	0.214	0.050	0.4 ₂	0.011
	3	0.42	0.005	99. ₅	1.07	0.128	0.040	0.4 ₄	0.008
Leica	1	0.35	0.014	103. ₅	3.77	0.077	0.117	0.3 ₇	0.025
	2	0.33	0.012	97. ₂	3.39	0.257	0.098	0.3 ₃	0.021
	3	0.32	0.012	96. ₉	3.47	0.373	0.098	0.2 ₉	0.021
Crain	1	0.74	0.008	111. ₄	0.95	-0.001	0.063	0.6 ₉	0.014
	2	0.75	0.025	116. ₃	2.98	-0.071	0.200	0.7 ₁	0.043
	3	0.74	0.013	113. ₀	1.66	-0.113	0.110	0.7 ₆	0.024

4.2 Richtungsabhängige Effekte

Abb. 4.3, Abb. 4.4 und Abb. 4.5 verdeutlichen noch mehr als Abb. 4.1 eine von der Instrumentenposition abhängige Neigung und Verdrehung des Instrumentenfußes. Es ist zu beachten, dass ab Positionsnummer 18 (Abb. 4.4, Abb. 4.5) die zweite Fernrohrlage eingenommen wird, wodurch sich einerseits die Alhidade um 200 gon gedreht hat, andererseits aber die Fernrohrrichtung der Position 1 entspricht. Demzufolge könnte die Neigungsänderung damit zusammenhängen, dass die Schwerpunkte von Alhidade und Fernrohr nicht in der Stehachse liegen.

Die Ergebnisse der Ausgleichung (Tab. 4.3, Tab. 4.4) mit den nahezu gleich großen Amplituden (A) und annähernd gleichen Phasenverschiebungen (φ) bei drei aufeinander folgenden Satzmessungen belegen eine signifikant richtungsabhängige Stativneigung. Die Differenz in der Phasenverschiebung (φ) zwischen Lage I und II unterstützt die Vermutung, dass Alhidade und Fernrohr nicht ausbalanciert sind. Für die Stativverdrehung ergibt die Ausgleichung signifikante Amplituden von 0.1 mgon. Die Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Sätzen sind bei dem Leica- und Nedo33-Stativ annähernd gleich, während bei dem Crain- und Nedo13-Stativ Variationen zwischen 20° und 43° auftreten. Eine Ursache hierfür könnte in der unterschiedlichen Stativklemmung liegen. Die Schnellklemmung am oberen Mittelholm, also in der Nähe des Stativkopfes, verursacht vermutlich eine zusätzlich Reibung zwischen Seiten- und Mittelholm, die bei einer Schraubklemmung im unteren Teil des Stativbeines so nicht vorhanden ist und somit für mehr Elastizität in der Stativkopfnähe sorgt.

4.3 Orientierungsdrift

Die bleibenden horizontalen Stativverdrehungen verursachen zwangsläufig eine Richtungsänderung des Zielstrahls und somit auch einen Fehler in der Orientierung. Während eines Halbsatzes darf die Stativdrehung keine Drift zeigen. Bei der Ausgleichung der Azimutwerte erwies sich der Maßstabsfaktor im linearen Anteil der Formel (4.1) nach einem Hypothesentest bei weniger als der Hälfte der Satzmessungen als signifikant, weswegen keine regelmäßige lineare Verdrehung bei fortlaufender Satzmessung nachgewiesen werden kann.

4.4 Neigungsdrift und Auswirkung

Bei der Ausgleichung der Elevationswerte (Tab. 4.3, Tab. 4.4) erwies sich der Maßstabsfaktor, wie zuvor bei der Orientierungsdrift (siehe oben), bei lediglich der Hälfte der Satzmessungen als signifikant, weswegen auch hier von keiner regelmäßigen linearen Stativneigung bei fortlaufender Satzmessung gesprochen werden kann. Die Stativneigungen insgesamt haben dieselbe Auswirkung wie ein Stehachsfehler. Die Stehachsneigung wird bei Tachymetern über Neigungssensoren gemessen und deren Auswirkungen auf die Richtungen rechnerisch angebracht. Für den Neigungssensor des TCA2003 gibt es über die GeoCom Ansteuerung [Fa. Leica, 1999] drei verschiedene Messmodi: 1. die Neigung wird immer gemessen unter der Annahme, dass sich das Instrument bewegt hat, 2. die Neigung wird aus einer vorab erfolgten Messung bestimmt und fortwährend als repräsentativer Korrekturwert verwendet unter der Annahme, dass sich die Instrumentenneigung nicht verändert hat. Bei der dritten Möglichkeit entscheidet das System selbst, welcher Modus verwendet wird, d.h. das Instrument prüft die eigene Stabilität selbst. Dieser Auto-Modus ist standardmäßig bei Verwendung der Menüsteuerung eingestellt. Hier stellt sich nun die Frage, inwieweit die Stativneigungen vom System erkannt und entsprechend behandelt werden. Ein weiteres Problem tritt bei der Bestimmung des Höhenindexfehlers auf, da hierbei der Kompensator ausgeschaltet ist und sich somit die Stativneigung voll auswirken kann.

5 Besonderheiten

5.1 Abhängigkeit vom Untergrund

Um das Stativverhalten auch auf einem weicherem Untergrund zu testen, wurden für drei Stative (Nedo33, Leica, Crain) die Szenarien "Satzmessung" und "Lagewechsel" auf einer Wiese bei refraktionsarmen Verhältnissen durchgeführt. Dabei zeigt sich ein insgesamt schlechteres Ergebnis. Die maximalen Ausschläge bei den beiden Messszenarien weisen unterschiedliche Größenordnungen auf (Tab. 5.1). Die Stativbewegungen bei drei aufeinander folgenden Sätzen zeigen für alle drei Stative Abweichungen bis maximal 0.3 mgon und deuten damit bei den Wiederholungsmessungen zwar auf eine geringere Stabilität hin, zeigen insgesamt aber eine Reproduzierbarkeit (Abb. 5.1). Bei dem Szenarium "Lagewechsel" zeigt nur das Crain-Stativ eine horizontale Drift von maximal 0.4

mgon. Dieser Versuchsaufbau weist deutlich auf eine Korrelation zwischen Untergrund und Stabilität der Stative hin.

Tab. 5.1: maximale Stativbewegung in Elevation und Azimut bei unterschiedlichen Satzmessungen und Lagewechseln (im Freien, Wiese)

Stativ	EL mgon		AZ mgon	
	Satz	Lage	Satz	Lage
Leica	1.9	1.2	0.9	0.3
Nedo33	1.9	1.2	0.8	0.5
Crain	1.9	2.1	1.0	0.7

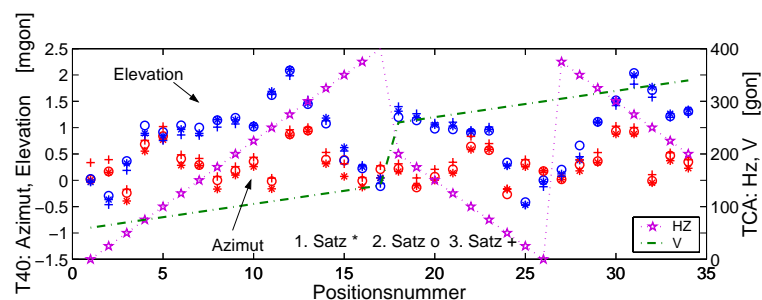


Abb. 5.1: "Satzmessung" auf der Wiese: Leica, gemittelte AZ- EL-Werte zum Zeitpunkt der Richtungsmessung, Schrittweite HZ 25 gon V 5 gon, 1 Richtungsmessung, 3 Sätze in Folge

5.2 Aufbauvarianten

Ein wesentliches Merkmal der Stative ist deren Kopfform. Die Firmen Nedo, Crain und (ehemalig) Kern verwenden generell runde Formen, während die Firma Leica eine Dreifußform bevorzugt. Bezüglich des Instrumentenaufbaus bieten alle Stative einen gewissen Aktionsradius, innerhalb dessen das Instrument befestigt werden kann. Üblicherweise wird ein Instrument so aufgebaut, dass es sich in der Mitte des Stativkopfes befindet. Es mag aber auch Situationen geben, in denen der Aktionsradius ausgeschöpft werden muss. Anlässlich dieser Problemstellung wurde ebenfalls das Verhalten der Stative untersucht, wenn die Extremposition erreicht wird. Bei den runden Stativköpfen kann kein Unterschied zwischen der Mittelstellung und einer Randposition festgestellt werden (Abb. 4.1 und Abb. 5.2). Etwas anders sieht es beim Leica-Stativ aus. Hier wurden drei unterschiedliche Positionen gewählt. Bekanntlich befinden sich auf der Unterseite des Dreifußes drei Auflageflächen. Bei der ersten unkritischen Dreifußposition lagen alle drei Flächen auf dem Stativteller, jedoch mit versetzter Dreiecksposition. In der Konstellation, dass sich eine Auflagefläche komplett auf dem Teller befand und die beiden anderen nur noch geringen Kontakt hatten, erreichte die Stativneigung maximale Werte von 1.4 mgon. Bei der ungünstigsten, aber theoretisch möglichen Stellung nämlich, dass eine Auflagefläche den Stativteller nicht mehr berührt, wachsen die Stativneigungen auf 2.3 mgon an (Abb. 5.3). Obwohl die azimutale Verdrehung nicht in dem Maße davon betroffen ist, ist wegen der in Abschnitt 4.4 dargelegten Auswirkungen von einem solchen Instrumentenaufbau abzuraten.

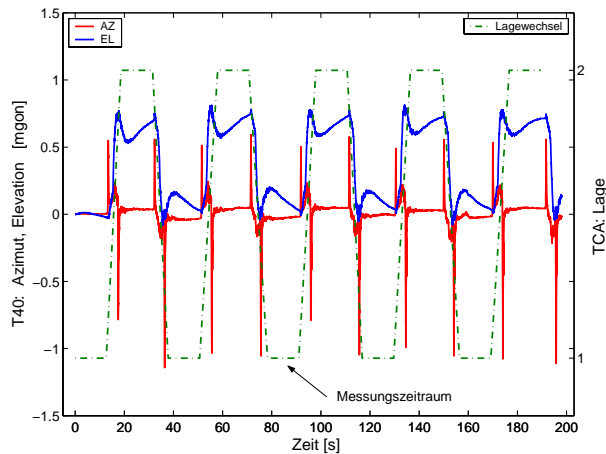


Abb. 5.2: "Lagewechsel": Nedo33, 10 Lagewechsel mit 20 Richtungsmessungen pro Lage, TCA2003 Extremposition am Rand des Stativtellers

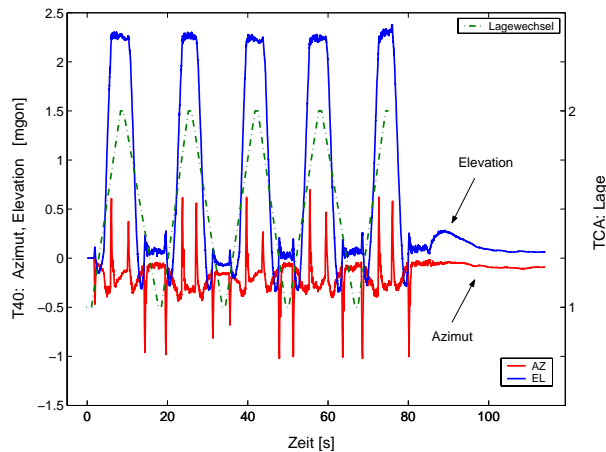


Abb. 5.3: "Lagewechsel": Leica, 10 Lagewechsel, 1 Richtungsmessung pro Lage, TCA2003 Extremposition am Rand des Stativtellers

5.3 Doppelklemmung

Alle Stative, die untersucht wurden, besitzen jeweils nur eine Klemmung. Es stellte sich daher die Frage, ob eine weitere Klemmung größere Stabilität bringen würde. Zu diesem Zweck wurde von der Firma Nedo ein Teststativ zur Verfügung gestellt (siehe Abschnitt 2). Die Untersuchungen zeigten, dass sich dieses Stativ in horizontaler Richtung so sehr verdreht, dass es erst nach einigen Stunden zum Stillstand kommt. Nach dem Erreichen des Ruhezustands sind die Stativbewegungen vergleichbar mit denjenigen des Nedo13-Stativs. Das bedeutet, dass diese zusätzliche Klemmung den Stativholm in eine "Zwangslage" versetzt und die entstehenden Spannungen trapezförmige Verformungen hervorrufen. In den Untersuchungen von [Ingensand, H., 2001] bezüglich der Stativschwingungen führte eine weitere Fixierung des Stativbeins zur Elimination der sonst auftretenden hochfrequenten Schwingungen.

5.4 Manuelle Bedienung

Alle bisher vorgestellten Versuchsmessungen fanden ohne direkte Berührung des Instrumentes statt. Um die Auswirkung einer manuellen Bewegung des Instrumentes abzuschätzen, wurden einige ATR-Messungen mit manueller Drehung des TCA2003 in den Prismenbereich und Auslösung der Messung per Knopfdruck durchgeführt. Die azimutale Verdrehung während der Instrumentendrehung nimmt nun Größenordnungen von durchschnittlich ± 7 mgon an, im Einzelfall sogar 23 mgon. In der Elevation sind die Ausschläge insgesamt etwas geringer, können jedoch auch bis zu 26 mgon ansteigen. Bis zum Auslösen der Messung bewegt sich das System jedes mal wieder annähernd in seine Ausgangsstellung zurück, so dass die anschließenden Stativbewegungen durchaus mit denen einer "ATR"-Messung ohne Berührung vergleichbar sind. Es wäre jedoch empfehlenswert, nach der manuellen Drehung des TCA2003 ein paar Sekunden zu warten, bevor die Messung ausgelöst wird.

6 Zusammenfassung

Durch umfangreiche Messungen konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Stative (Crain, Leica, Nedo) während der Messung mit einem Robottachymeter azimutale Drehungen und Neigungen aufweisen, die beide richtungsabhängig sind. Die horizontalen Stativbewegungen bleiben während einer Richtungsmessung erhalten und verursachen somit zwangsläufig eine Richtungsänderung des Zielstrahls. Die Stativneigungen haben dieselbe Auswirkung wie ein Stehachsfehler. In diesem Zusammenhang sollte die Auswirkung auf die Bestimmung der Instrumentenfehler, speziell des Höhenindexfehlers, bedacht werden. Der gewählte Untergrund beim Aufbau der Stative sollte ebenfalls kritisch beachtet werden, da eine Korrelation zwischen dem Untergrund und der Stabilität der Stative gezeigt werden konnte. Bei allen untersuchten Stativen wurde nach dem Aufbau mit Instrument eine Bewegung im Ruhezustand innerhalb der ersten 15 Minuten festgestellt, daher ist es empfehlenswert, mit einer Messung erst nach dieser Zeit zu beginnen. Insgesamt können die Stative der Firmen Leica und Nedo als gleichwertig hinsichtlich der Stativbewegungen angesehen werden, während das Stativ Tri-Max der Firma Crain eine schlechtere Stabilität aufweist. Bei einem Aufbau des Instrumentes auf dem Stativteller sollte jedoch beim Leica-Stativ die Mittelstellung bevorzugt werden. Aus den aufgezeigten Größenordnungen der Stativbewegungen kann nun im Einzelfall abgeschätzt werden inwieweit sich diese Fehler auf die geforderte Messgenauigkeit auswirken.

Dank

Wir danken der Firma Nedo für die Bereitstellung von Teststativen.

7 Literatur

Staiger, R., 1998: Zur Überprüfung moderner Vermessungsinstrumente. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 105 (1998) 11/12, Seiten 365-372.

Ingensand, H., 2001: Systematische Einflüsse auf praktische Messungen mit dem Tachymeter und Digitalnivellier. 54. DVW-Seminar „Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik“. Schriftenreihe 42/2001 Seite 120-137.

Schwarz, W., 2001: Geodätische Laborkalibrierung – Stand der Technik -. 54. DVW-Seminar „Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik“. Schriftenreihe 42/2001 Seite 44-69.

Fa. Leica, 1999: GeoCom Reference Manual, Version 2.20 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz, 1999.

Dipl.-Ing. Claudia Depenthal

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Geodätisches Institut

Universität Karlsruhe

Englerstraße 7

76128 Karlsruhe

0721 / 6082727

depenthal@gik.uni-karlsruhe.de

Veröffentlicht in: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) Heft 6 2004