Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 79 (1981)

Heft: 6

Artikel: Zur Bestimmung und Berücksichtigung der Stehachsenschiefe bei der Richtungsmessung

Autor: Elmiger, A. / Meyer, U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-230662

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Zur Bestimmung und Berücksichtigung der Stehachsenschiefe bei der Richtungsmessung*

A. Elmiger, U. Meyer

Eine Methode zur Bestimmung der Stehachsenschiefe mit Hilfe von Höhenkreisablesungen wird – im Vergleich mit bekannteren Methoden – vorgestellt. Eine Verfeinerung dieser Methode gestattet die Bestimmung von Taumelfehlern der Stehachse.

L'erreur de calage d'un théodolite – la déviation de son axe principal par rapport à la verticale – dont l'influence sur les directions horizontales ne s'élimine pas par mesure dans les deux positions, peut réduire sensiblement la précision des directions horizontales, si les visées sont fortement inclinées.
Cet article décrit des méthodes simples, plus ou moins connues, qui permettent de déterminer cette erreur et d'en tenir compte. La méthode préférée des auteurs, dite méthode des distances zénithales, qui est applicable à tout théodolite, implique la lecture du cercle vertical en quatre positions du cercle horizontal, la lunette du théodolite étant maintenue fixe en hauteur. En partant de ce principe, il est possible de déterminer en plus les fluctuations de l'axe principal autour de sa position moyenne (‹Taumelfehler›), dues à des imperfections mécaniques.

1. Einleitung

Bei der Richtungsmessung mit einem Theodoliten bewirkt eine ungenaue Horizontierung bei steilen Visuren bekanntlich Fehler an den gemessenen Richtungen, welche die Messgenauigkeit oft weit übersteigen. Im Gegensatz zu den meisten Instrumentenfehlern werden solche Horizontierfehler durch Messung in beiden Fernrohrlagen nicht eliminiert. Übliche Sekundentheodolite werden mit Alhidadenlibellen horizontiert, die einen Parswert von etwa 20" (pro 2 mm) aufweisen, wobei der Restfehler der Horizontierung ohne weiteres 5" betragen kann. Bei Visuren mit 50^g Höhenwinkel – wie sie bei Messungen an Staumauern, Hochhäusern oder bei Azimutmessungen mit Hilfe des Polarsternes auftreten – bewirkt dies einen nicht eliminierten Richtungsfehler von max. 5" = 15^{cc} = 1,5 mgon bei einem mittleren Richtungsfehler am Satzmittel von typischerweise ± 1" = ± 3^{cc}.
Ziel dieses Aufsatzes ist es, dem Praktiker Methoden zur Bestimmung und Eliminierung dieses Fehlers vorzustellen bzw. in Erinnerung zu rufen. Insbesondere wird hier die Methode zur Bestimmung der Stehachsenschiefe aus Zenitdistanzablesungen empfohlen. Sie ist ohne zusätzlichen instrumentellen und mit wenig zeitlichem Aufwand anwendbar. Obwohl sie einigen Spezialisten seit längerer Zeit bekannt ist, hat sie in der Praxis noch wenig Eingang gefunden. Wenn man die Methode verfeinert, so lassen sich auch Taumelfehler von Theodolit-Stehachsen untersuchen.

* Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata No. 16.

2. Grundlegende Begriffe

Da die hier auftretenden Begriffe oft mit verschiedenen Bezeichnungen verwendet und z. T. auch verschieden interpretiert werden, sei zunächst klargestellt, was mit den folgenden Begriffen aus der Vermessungskunde gemeint ist:

2.1 Stehachsenschiefe s

Beim Horizontieren versucht man, die Stehachse des Theodolits mit der Alhidadenlibelle in die Lotrichtung des Standpunktes zu bringen. Den Restfehler, d. h. die Abweichung der Stehachse von der Lotrichtung, bezeichnet man als Stehachsenschiefe s oder Stehachsenfehler. Sie ist ein Fehler der Aufstellung und nicht des Instrumentes und wird daher im folgenden als Stehachsenschiefe bezeichnet. Der Einfluss von s auf eine Horizontalrichtung beträgt bekanntlich $\Delta r = s \cdot \sin\alpha \cdot \mathrm{tg}\, h$. Hiebei bedeutet h den Höhenwinkel zum Zielpunkt und α den Winkel, den die Richtung nach dem Ziel mit der Vertikalebene bildet, welche die schiefe Stehachse enthält (Abb. 1). Von der Stehachsenschiefe wirkt sich nur die Komponente quer zur Zielrichtung, d. h.

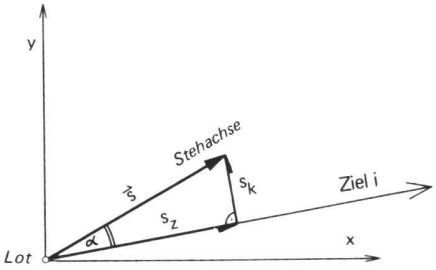

Abb. 1 Stehachsenschiefe $\vec{s}$, Komponenten s_z, s_k

in Richtung der Kippachse, aus: $s_k = s \cdot \sin\alpha$, und bei flachen Visuren entfällt das ganze Problem, wegen tgh = o.

2.2 Kippachsenfehler i

Der Kippachsenfehler i, die Abweichung des Winkels zwischen der Stehachse und der Kippachse von einem rechten Winkel, ist ein Instrumentenfehler, der durch Messung in beiden Lagen eliminiert wird (Einfluss auf eine Lage: $\Delta r = \pm i \cdot \mathrm{tg}\, h$, bzw. $\pm i \cdot \mathrm{ctg}\, z$).

2.3 Kippachsenneigung i + s_k

Unter Kippachsenneigung verstehen wir hier den Winkel zwischen der Kippachse und der Horizontalen.
Sie setzt sich zusammen aus dem Instrumentenfehler i und der mit dem Azimut variablen Komponente s_k der Stehachsenschiefe in Richtung Kippachse. Bei Messung in beiden Lagen eliminiert man nur den Anteil i, während die Komponente s_k der Stehachsenschiefe mit $\Delta r_s = s_k \cdot \mathrm{tg}\, h$ als Fehler in die Richtungsmessung eingeht.

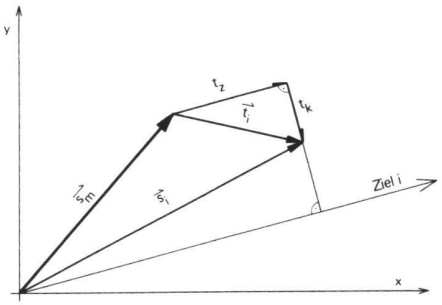

Abb. 2 Mittlere Stehachsenschiefe $\vec{s_m}$, Taumelfehler $\vec{t_i}$

2.4 Änderung der Stehachsenschiefe

Die Lage der Stehachse im Raum kann sich während einer Messung aus zwei Gründen verändern:
a) Die Horizontierung des Theodolits kann sich aus verschiedenen Gründen (unstabile Aufstellung, Temperatureinwirkung usw.) ändern, was ein Vermesser natürlich von Anfang an zu vermeiden sucht. Durch Beobachtung der Alhidadenlibelle – besser noch der Höhenkreislibelle – oder nach dem unter 3.4 angegebenen Verfahren kann dieser Fehler aber gut kontrolliert und praktisch vollständig eliminiert werden.
b) Taumelfehler t: Aus mechanischen Gründen – Fertigungstoleranzen der Zylinder- oder Kugellagerachsen, Ein-

fluss des Schmiermittels usw. – kann sich die Lage der Stehachse im Raum zufällig oder systematisch um kleine Beträge t ändern. Sie taumelt dann um eine mittlere Lage mit der mittleren Schiefe $\vec{s}_m$ herum, wobei die tatsächliche Schiefe im Einzelfall $\vec{s}_i = \vec{s}_m + \vec{t}_i$ beträgt, wenn diese Werte als Vektoren aufgefasst werden. Berücksichtigt man die mittlere Schiefe $\vec{s}_m$, so bewirken die vernachlässigten Taumelfehler Richtungsfehler von $\Delta r = t_k \cdot \text{tg}\, h$, wobei nur die Querkomponente t_k des Taumelfehlers (in Richtung der Kippachse, siehe Abb. 2) von Einfluss ist. Die Längskomponente t_z spielt bei der Richtungsmessung keine Rolle und bei der Höhenwinkelmessung wird sie durch die Höhenkreislibelle bzw. den autom. Höhenindex voll aufgefangen.
Schon hier darf festgestellt werden, dass die Taumelfehler von Sekundentheodoliten im allgemeinen Werte von 1" bis 2" nicht überschreiten und daher bei den üblichen Vermessungsaufgaben nicht ins Gewicht fallen. Bei Spezialaufgaben, z. B. Richtungsbestimmungen nach dem Polarstern, sollten sie aber bei hohen Ansprüchen nach Möglichkeit berücksichtigt oder ihr Einfluss durch besondere Massnahmen reduziert werden. (Vgl. dazu Gerstbach [3].)

3. Bestimmung von Stehachsenschiefe, Kippachsenneigung und Taumelfehlern der Stehachse

Die hier speziell untersuchten Methoden 3.3 und 3.4 zur Eliminierung der Kippachsenneigung bzw. Stehachsenschiefe seien zunächst den einfachen, älteren Methoden 3.1 und 3.2 gegenübergestellt:

3.1 Horizontierung

Das Ziel ist hier, die Stehachsenschiefe möglichst klein zu halten, so dass ihr Einfluss vernachlässigt werden kann.
a) Die normale, jedem Vermesser geläufige Methode der Horizontierung mit der Alhidadenlibelle – bei einem Sekundentheodolit mit einem Parswert von etwa 20" – ergibt, je nach Güte der Aufstellung, Übung und Geschick des Beobachters, eine Stehachsenschiefe s von ± 3" bis ± 10".
b) Da die Höhenkreislibelle nach dem Koinzidenzverfahren genauer abgelesen werden kann und der autom. Höhenindex wesentlich empfindlicher ist (Einspielgenauigkeit ± 0,3") als die Alhidadenlibelle, kann mit diesen Messmitteln eine verbesserte Horizontierung erreicht werden. Man beobachtet hier die Höhenkreislibelle in beiden Lagen und korrigiert die halbe Differenz mit den Fussschrauben; in der um 100g gedrehten Richtung wiederholt man das Procedere und erreicht damit den 1. Iterationsschritt. Bei Theodoliten mit autom. Höhenindex liest man an zwei diametralen Stellen die Zenitdistanz ab und stellt mit den Fussschrauben den Mittelwert beider Ablesungen ein; auch hier wiederholt man das Vorgehen nach einer Drehung um 100g. Mit dieser ‹Präzisionshorizontierung› lässt sich die Stehachsenschiefe auf etwa ± 2" reduzieren.

3.2 Neigungsmessung mit der Reiterlibelle

Reiterlibellen sind seit altersher in der astronomischen Geodäsie nötig und üblich, um die für den Richtungsfehler massgebende Grösse s_k, d. h. die in Richtung der Kippachse fallende Komponente der Stehachsenschiefe zu bestimmen und den entsprechenden Richtungsfehler $\Delta r = s_k \cdot \text{tg}\, h$ rechnerisch zu berücksichtigen. Die Reiterlibellen von Geräten 1. Ordnung (T4, DKM3-A usw.) weisen Parswerte von 1" bis 2" auf, jene von Sekundentheodoliten etwa 5". Die Reiterlibelle wird auf die beiden Enden der Kippachse gestellt oder an ihnen aufgehängt, aber in beiden Lagen nicht umgesetzt. (Durch Umsetzen der Libelle bei gleicher Fernrohrlage würde man die meist nicht interessierende Neigung $i + s_k + \Delta p$ bestimmen, d. h. die Neigung der beiden Auflagerpunkte der Reiterlibelle relativ zur Horizontalen, wobei Δp die Nichtparallelität der beiden Auflagerpunkte bezüglich der Achsmitte bedeutet.)
Die Nachteile der Neigungsbestimmung mit Reiterlibellen sind seit langem bekannt: starke Wind- und Temperaturempfindlichkeit der Libellen, Libellenfehler (Unregelmässigkeit, Kleben der Blase usw.). Ferner behindert oder verunmöglicht im allgemeinen die Reiterlibelle Messungen mit dem Fernrohr im Zenitbereich.

3.3 Neigungsmessung mit dem Kippachsmikrometer

Seit 1974 fabriziert die Firma Kern in Aarau einen Sekundentheodoliten DKM2-AM mit Kippachsmikrometer, mit welchem – wie bei der Reiterlibelle – die wirksame Komponente s_k der Stehachsenschiefe in Richtung der Kippachse bestimmt werden kann (vgl. dazu: Aeschlimann [2]).
Die Oberfläche einer Flüssigkeit steht senkrecht auf der Lotrichtung und stellt damit ein Bezugssystem für die Erfassung der Stehachsenschiefe des Theodolits dar (Genauigkeit ± 0,3"). Der autom. Höhenindex erfasst und korrigiert die Komponente s_z der Stehachsenschiefe in Richtung der Zielachse, die für den Höhenwinkel massgebend ist. Mit dem Kippachsmikrometer kann die entsprechende Komponente s_k in Richtung der Kippachse bestimmt werden. Die Schiefe s_k ergibt sich aus der Differenz der Ablesungen des Kippachsmikrometers in beiden Lagen: $s_k = (a_I - a_{II})/2$ und die (positive) Korrektur an der entsprechenden Horizontalrichtung r_i beträgt $\Delta r = s_k \cdot \text{tg}\, h$
$= s_k \cdot \text{ctg}\, z$ (z = Zenitdistanz).
Gegenüber einer Reiterlibelle ist dieses Messmittel wesentlich komfortabler, stabiler und unempfindlicher gegen Wind- und Temperatureinflüsse. Gegenüber der unter 3.4 beschriebenen Methode hat es den Vorteil, dass auch die massgebenden Taumelfehler in Richtung der Kippachse berücksichtigt werden, was grundsätzlich auch für die Reiterlibelle zutrifft.

In diesem Beitrag stehen zwei Messverfahren im Vordergrund: Man bestimmt für jede Richtung die massgebende Komponente s_k der Stehachsenschiefe, oder man ermittelt – wie im folgenden Abschnitt beschrieben – die Stehachsenschiefe bei reduziertem Messaufwand nur in zwei Komponenten, wobei allerdings eventuelle Taumelfehler vernachlässigt werden.

3.4 Stehachsenschiefe aus Ablesungen am Höhenkreis

Eine universelle und einfache Methode zur Bestimmung der Stehachsenschiefe geht aus der verfeinerten Horizontiermethode (siehe 3.1 b) hervor. Man misst hier zwei senkrecht aufeinander stehende Komponenten der Stehachsenschiefe wie folgt: Das Fernrohr wird in der Höhe in beliebiger, bequemer Ablesestellung geklemmt und in eine beliebige Richtung, z. B. in die Null-Richtung der Satzmessung, gedreht. Nach dem Koinzidieren liest man (ohne Anzielen) am Höhenkreis die Zenitdistanz z_0 ab (bei einem älteren Theodolit mit Höhenkreislibelle ist diese natürlich einzuspielen; sonst ist das Verfahren gleich). Weitere drei Zenitdistanzen werden in analoger Weise – das Fernrohr bleibt in der Höhe festgeklemmt – in den Richtungen 100g, 200g und 300g abgelesen.

Man bestimmt also die Neigung des geklemmten Fernrohrs im Raum in vier Richtungen.

Horizontalkreis ca. Richtung (grobe Einstellung genügt)	Ablesen am Höhenkreis (Zenitdistanz, Mikrometer genügt)
0g	z_0
100g	z_1
200g	z_2
300g	z_3

Es ergeben sich damit die gesuchten zwei Komponenten der Stehachsenschiefe im gewählten Bezugssystem (dargestellt durch die Lage des Horizontalkreises im 1. Satz) wie folgt:

$s_1 = (z_0 - z_2)/2 \quad s_2 = (z_1 - z_3)/2$
und $s^2 = s_1^2 + s_2^2$
(Die Vorzeichen gelten für Zenitdistanzen in 1. Lage gemessen)

Zielpunkt	Lage I	Lage II	M			Zenitdistanz		Δr	Korrigierte Richtung
Methode 3.4: Zenitdistanzen									
				z_0, z_1 z_2, z_3 vor Satzmessung	z_0, z_1 z_2, z_3 nach Satzmessung		s_1 s_2		
				.4014	.1520		+ 9		
				.4026	.1536		+27		
				.3994	.1504				
				.3972	.1482				
4	0.0026	200.0032	.0029			120.632		- 9	0.0020
5	50.8900	250.8902	.8901			131.956		- 7	50.8894
1	166.7680	366.7688	.7684			141.116		+21	166.7705
2	346.0396	146.0394	.0395			125.372		-10	346.0385
3	375.3912	175.3924	.3918			144.238		-24	375.3894
Methode 3.3: Kippachsenmikrometer									
				a_1	a_2		s_{ki}		
4	0.0026	200.0032	.0029	49.5	31.5	120.632	+28	- 9	0.0020
5	50.8900	250.8902	.8901	43.5	34.0	131.956	+15	- 8	50.8893
1	166.7680	366.7688	.7684	30.5	45.0	141.116	-22	+17	166.7701
2	346.0396	146.0394	.0395	45.0	31.5	125.372	+21	- 9	346.0386
3	375.3912	175.3924	.3918	49.0	28.0	144.238	+32	-27	375.3891

Satzmessung mit Korrektur der Stehachsenschiefe nach Methode 3.4 und 3.3

Die Horizontalrichtung r_i (Mittel aus beiden Lagen) kann sodann vom Restfehler der Horizontierung befreit werden durch Anbringen der Korrektur

$\Delta r_i = - s \cdot \sin\alpha_i \cdot \operatorname{tg} h_i = - (s_1 \cdot \sin r_i - s_2 \cdot \cos r_i) \cdot \operatorname{ctg} z_i$

Die korrigierte Richtung ist also:

$r_{i\,korr} = r_{i\,gem.} + \Delta r_i$

Das gleiche Verfahren kann grundsätzlich auch mit dem Kippachsenmikrometer durchgeführt werden, wobei sich die Messungen auf Richtungen beziehen, die um 100^g verdreht sind.

Die Komponenten der Stehachsenschiefe werden mit Vorteil vor und nach der Messung eines Satzes bestimmt, bei instabilen Verhältnissen auch nach einem Halbsatz.

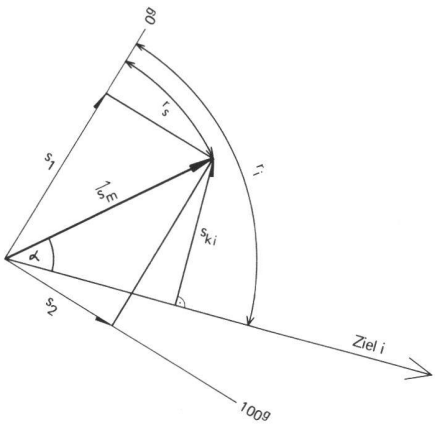

Abb. 3 Stehachsenschiefe bei Satzmessung

3.5 Taumelfehler der Stehachse

Will man – für sehr genaue Richtungsmessungen – eine Stehachsenschiefe möglichst genau bestimmen, so kann dies durch Messung von mehr als den nötigen zwei Komponenten und anschliessende Ausgleichung geschehen. Die Genauigkeit einer solchen Bestimmung wird begrenzt durch die Taumelfehler, über deren Grösse man sich ein Bild machen muss, wenn man die Genauigkeit beurteilen will. Allerdings erhält man, je nach verwendetem Messmittel, nur eine Komponente des Taumelfehlers: Zenitdistanzablesungen ergeben die Komponente in Richtung des Fernrohrs, Messungen mit Reiterlibellen oder mit Kippachsenmikrometer die Komponente quer dazu, in Richtung der Kippachse. Erwünscht ist natürlich die gleichzeitige Erfassung beider Komponenten. Die wichtigere Querkomponente ist leider schwieriger zu erfassen, da die entsprechenden Messmittel (von der Methode der Autokollimation mit Hilfe eines zweiachsigen Autokollimators sei hier abgesehen) oft nicht vorhanden und eher ungenauer sind als Zenitdistanzablesungen bei automatischem Höhenindex. Immerhin kann auch die Längskomponente (in Zielrichtung) allein ein Bild über Grösse und Verlauf der Taumelfehler erlauben.

Betrachten wir nun den Fall der Messung von Zenitdistanzen mit dem doppelten Ziel der genauen Bestimmung des mittleren Stehachsenfehlers und der Längskomponenten der Taumelfehler:

Die Messungen werden an n gleichmässig über den Horizontalkreis verteilten Stellen ausgeführt. Um einen eventuellen Zusammenhang zwischen Taumelfehlern und den drei Fussschrauben ([1], [3]) feststellen zu können, sollte n ein Vielfaches von 3 sein. In unsern Versuchen wurde n = 12 gewählt. Jede Zenitdistanzablesung (bei in Höhe festgeklemmtem Fernrohr) wird beeinflusst durch die Stehachsenschiefe s und den variablen Taumelfehler in der entsprechenden Richtung (hier: Fernrohr) sowie durch die zufälligen Messfehler. Leider können Messfehler und Taumelfehler methodisch nicht voneinander getrennt werden (es muss also möglichst genau beobachtet werden), beide sind in den Verbesserungen v_i enthalten. Die Fehlergleichung für eine beobachtete Zenitdistanz z_i lautet:

$v_i = s_1 \cdot \cos r_i + s_2 \cdot \sin r_i + z_m - z_i$

wobei z_m die Zenitdistanz darstellt, die sich bei Abwesenheit von Stehachsenschiefe und Taumelfehlern ergeben würde. Sie kann angenommen werden zu

$z_m = \sum z_i/n$ (Abb. 4).

Aus der Ausgleichung der n Beobachtungen ergeben sich die zwei unbekannten Konponenten s_1 und s_2 der mittleren Stehachsenschiefe s_m, die im Azimut der Kreisablesung r_s liegt.

Die Residuen v_i geben, bei genügender Kleinheit der zufälligen Beobachtungsfehler, ein Bild über Grösse und Verlauf der Taumelfehler, hier in Richtung der Zielung. Abb. 5 zeigt ein Beispiel.

Entsprechende Fehlergleichungen ergeben sich für das Kippachsenmikrometer (oder ein anderes Messmittel), wenn die Neigungsmessungen in Richtung der Kippachse ausgeführt wird.

4. Beispiele

4.1 Satzmessung mit Berücksichtigung der Stehachsenschiefe

Auf einem Holzstativ wurden mit einem Sekundentheodolit DKM2-AM drei Sätze gemessen und gleichzeitig Messungen nach den Methoden 3.4 (Zenitdistanzablesungen) und 3.3 (Kippachsenmikrometer) durchgeführt. Die Visurlängen liegen zwischen 100 m und 200 m, die Höhenwinkel gehen bis 44^g. Die Beilage zeigt das Resultat der Satzmessung unter Berücksichtigung der Korrekturen für die Stehachsenschiefe nach den beiden Verfahren (Auswertung mit einem Basic-Programm auf Olivetti P 6060).

Die Satzmittel und die mittleren Fehler (m_r = m. F. einer einmal in beiden Lagen gemessenen Richtung, m_M = m. F. einer Richtung am Satzmittel) der gesamten Satzmessung ergeben sich für die verschiedenen Methoden wie folgt:

a) ohne Korrektur: Satzmittel

0.0000	$m_r = \pm 10.8^{cc}$
50.8868	$m_M = \pm\ 6.2^{cc}$
166.7673	
346.0360	
375.3874	

b1) mit Kippachsenmikrometer

0.0000	$m_r = \pm 2.8^{cc}$
50.8868	$m_M = \pm 1.6^{cc}$
166.7676	
346.0362	
375.3872	

b2) Kippachsenmikrometer mit Ausgleichung der Komponenten

0.0000	$m_r = \pm 2.6^{cc}$
50.8867	$m_M = \pm 1.5^{cc}$
166.7678	
346.0361	
375.3872	

c) mittels Zenitdistanzen

0.0000	$m_r = \pm 2.0^{cc}$
50.8869	$m_M = \pm 1.1^{cc}$
166.7681	
346.0360	
375.3871	

Bemerkung zu b2): Da mit dem Kippachsenmikrometer pro Richtung eine Komponente s_k der Stehachsenschiefe bestimmt wird, erhält man bei mehr als zwei Richtungen überschüssige Beobachtungen, die ausgeglichen werden können, was hier gemacht wurde. Damit wird aber der Taumelfehler t der Stehachsenschiefe s zugerechnet, was nur sinnvoll ist, wenn t gegenüber der Beobachtungsgenauigkeit von s_k klein ist. (Das Resultat zeigt, dass diese Annahme hier vernünftig ist).

4.2 Taumelfehler einer Stehachse: Kern DKM2-AM

Die Abb. 4 und 5 sollen die Methode der Taumelfehlerbestimmung mit Zenitdistanzablesungen illustrieren und ein Bild über Grösse und Verlauf dieser Fehler erlauben. Abb. 4 zeigt die Zenitdistanzablesungen (Mittel von zwei Koinzidenzen) an den 12 gleichmässig über den Horizontalkreis verteilten Ablesestellen, wobei die erste Stelle über einer Fussschraube liegt. Abb. 5 zeigt die Restfehler, nach Abzug des Einflusses der mittleren Stehachsenschiefe s_m, für zwei unabhängige Messreihen. Ohne Anspruch auf statistische Signifikanz (zu wenig Messungen) ergibt sich hier:

- die Taumelfehler erreichen Beträge von ca. 1'' = 3^{cc},
- der Verlauf des Taumelfehlers ist periodisch: 3 Perioden in Abhängigkeit von den 3 Fussschrauben. (Dies gilt nur für die Kugellagerachsen der Kern-Theodolite, nicht aber für die Zylinderachsen der Wild-Theodolite).

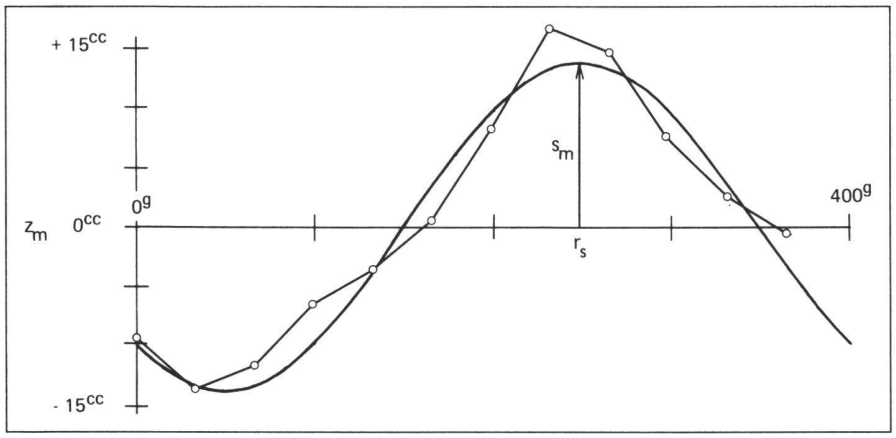

Abb. 4 Ablesung der Zenitdistanzen an 12 Stellen; Einfluss der Stehachsenschiefe

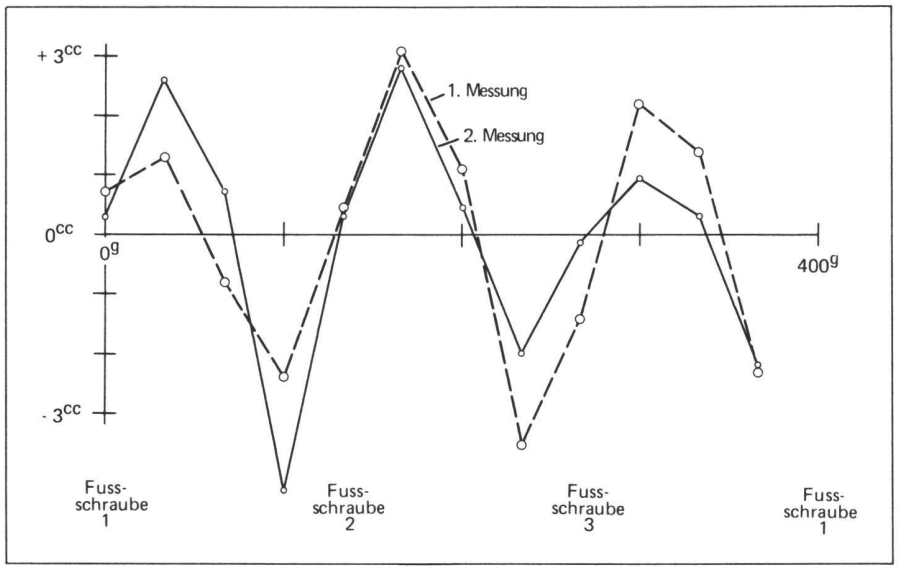

Abb. 5 Taumelfehler Stehachse DKM2-AM

5. Messgenauigkeit und Beurteilung der Methoden

5.1 Genauigkeit der Bestimmung einer Stehachsenschiefe

Neben den bereits erwähnten Angaben wurden zur Beurteilung der unter 3.3 und 3.4 angegebenen Methoden von den Verfassern einige Messungen im Labor und im Feld durchgeführt. Dabei zeigten sich die folgenden Resultate:

a) – Die Ablesung einer Zenitdistanz an einem Sekundentheodoliten (T2, DKM-2A) ergibt einen mittleren Fehler von ± 1.5^{cc} (eine Koinzidenz)
– Die Ablesung mit dem Kippachsenmikrometer ist mit einem mittleren Fehler von ± 2.5^{cc} = ± 0''8 behaftet.

b) Durch wiederholtes Messen wurden die mittleren Fehler an den Komponenten s_k der Stehachsenschiefe bestimmt. Bei den Messungen im Labor sind die mittleren Fehler bei beiden Methoden in der Grössenordnung der oben angegebenen Ablesegenauigkeiten. Hingegen zeigte sich bei den Feldmessungen, dass bei instabilen Aufstellungen grössere Differenzen auftreten können, was sich im Vergleich der Komponenten vor und nach der Messung eines Satzes bei der Methode 3.4 (Zenitdistanzen) äussert. Hier konnten Änderungen der Stehachsenschiefe von 10^{cc} ohne weiteres festgestellt werden.

c) Vergleicht man die Komponenten s_k der Stehachsenschiefe der Methode 3.3 (Kippachsenmikrometer) mit denjenigen der Methode 3.4 (Zenitdistanzen), so ergibt sich aus den Differenzen ein mittlerer Fehler von ± 1.8^{cc}. In Anbetracht der Ablesegenauigkeiten dürfen die beiden Methoden bezüglich Genauigkeit also als etwa gleichwertig betrachtet werden.

5.2 Beurteilung der Methoden

a) Vorteile der Berücksichtigung der Stehachsenschiefe:

- Durch die Berücksichtigung der Stehachsenschiefe kann auf eine gute, zeitraubende Horizontierung mit der Alhidadenlibelle verzichtet werden. Im Gegensatz zur Reiterlibelle und zum Kippachsmikrometer ist der Bereich für Horizontierfehler bei der Methode mittels Zenitdistanzen weit weniger eingeschränkt.
- Die gewünschte Genauigkeit kann mit weniger Messungen erreicht werden. Während sich bei mehreren Sätzen die Einflüsse der zufälligen Horizontierfehler teilweise aufheben können, werden bei den vorgestellten Methoden die zufälligen Horizontierfehler und die systematischen Änderungen der Horizontierung erfasst und auf Wunsch eliminiert.

b) Vorteile der Methode ‹Kippachsmikrometer› (3.3)

- Die Taumelfehler werden mit der Messung der Kippachsneigung erfasst und mitberücksichtigt.
- Werden Richtungen paarweise fortlaufend gemessen oder abgesteckt, so kann die massgebende, evtl. zeitabhängige Komponente s_K der Stehachsenschiefe mit wenig Aufwand bestimmt werden.
- Die Berücksichtigung des Fehlereinflusses kann mit minimalen Hilfsmitteln auf dem Felde direkt erfolgen. Dies kann bei Absteckungen unter Zeitdruck bedeutungsvoll sein.

c) Vorteile der Methode ‹Zenitdistanzen› (3.4)

- Es ist kein instrumenteller Zusatz nötig, d. h. die Methode ist auf jeden Theodoliten anwendbar.
- Die Messungen der Komponenten erfordern wenig Zeitaufwand.
- Der Messablauf in der Satzmessung wird nicht durch zusätzliche Ablesungen verzögert; die Komponenten werden vor und nach jedem Satz bestimmt.
- Durch die Komponentenausmessung vor und nach jedem Satz erhält man einerseits eine Kontrolle und Genauigkeitssteigerung der Bestimmung und anderseits eine Information über die Änderung der Horizontierung während der Messung. Ist diese Änderung tolerierbar und kann man den zeitlichen Verlauf der Änderung linear annehmen, so wird der Einfluss im Mittel durch die Verwendung beider Komponentenausmessungen eliminiert.

Literatur:

[1] Aeschlimann, H.: Der neue Sekundentheodolit Kern DKM2-A. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik (VPK) 1/1972

[2] Aeschlimann, H.: Messen der Kippachsneigung mit dem Kern DKM2-AM. VPK 1/1979, S. 6

[3] Gerstbach, G.: Zur Azimutmessung mit Sekundentheodoliten. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie 64-2/1976

[4] Gerstbach, G.: Richtungskorrektion wegen des operativen Stehachsenfehlers. ÖZfVuP 65-2/1977

Adresse der Verfasser:
Dr. A. Elmiger, Dipl. Ing. U. Meyer,
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

V+D/D+M

Eidgenössische Vermessungsdirektion
Direction fédérale des mensurations cadastrales

Eidg. Prüfungen für Ingenieur-Geometer

Im Herbst 1981 werden die *praktischen Ingenieur-Geometer-Prüfungen* durchgeführt. Anmeldungen sind mit der Postquittung über die bezahlte Anmeldegebühr von Fr. 50.– (PC 30–520) bis spätestens 31. Juli 1981 an die *Eidg. Vermessungsdirektion, 3003 Bern,* zu richten.

Der Anmeldung sind gemäss Art. 12 des Prüfungsreglements vom 2. 5. 1973 folgende Unterlagen beizulegen: Lebenslauf, amtlicher Ausweis über den Besitz des Schweizer Bürgerrechts (Heimatschein, Niederlassungsbewilligung oder Personenstandsausweis usw.), Leumundszeugnis der Wohngemeinde, Detailnoten (Originale) über alle bestandenen theoretischen Vor- und Schlussdiplomprüfungen an der ETH, Zeugnisse der Arbeitgeber über die praktische Ausbildung auf dem bei der V+D zu beziehenden Sonderformular ‹Nachweis der Geomterpraxis›. Diese Zeugnisse haben detaillierte Auskunft über Art und Dauer der geleisteten Arbeiten sowie über Ferien, Urlaub, Krankheit und Militärdienst zu geben.

Um zur Prüfung zugelassen werden zu können, muss die 12monatige Praxis bis Ende Juli 1981 abgeschlossen sein.

Die Prüfungen finden in Bern vom 28. September bis 16. Oktober 1981 statt.

Grabs, den 30. April 1981

Der Präsident der Eidg. Prüfungskommission: *Ch. Eggenberger*

Examens fédéraux d'ingénieur géomètre

Les *examens pratiques d'ingénieur géomètre* auront lieu en automne 1981. Les demandes d'admission et la quittance du droit d'inscription payé de fr. 50.– (CP 30–520) seront adressées à la *Direction fédérale des mensurations cadastrales, 3003 Berne,* jusqu'au 31 juillet 1981 au plus tard.

Conformément à l'article 12 du règlement d'examen du 2.5.1973, les candidats joindront les documents suivants à leur inscription: un curriculum vitae, une pièce officielle attestant la nationalité suisse (acte d'origine, permis d'établissement ou certificat individuel d'état civil etc.), un certificat de bonnes mœurs délivré par la commune de domicile, des pièces originales justifiant la réussite de l'ensemble des examens théoriques à l'EPF, un certificat de chacun des employeurs concernant l'activité pratique à établir sur formule spéciale fournie par la D+M et donnant des renseignements détaillés sur le genre et la durée des travaux exécutés, de même que sur les interruptions dues aux vacances, congés, maladie et service militaire.

Le stage pratique de 12 mois devra être achevé à fin juillet 1981 pour pouvoir être admis à l'examen.

Les examens se dérouleront à Berne du 28 septembre au 16 octobre 1981.

Grabs, le 30 avril 1981

Le Président de la Commission fédérale d'examen: *Ch. Eggenberger*

Esami federali per ingegneri geometri

Gli *esami pratici per ingegneri geometri* avranno luogo nell'autunno del 1981. Le domande d'ammissione e la ricevuta postale della tassa d'iscrizione pagata di fr. 50.– (CP 30–520) verranno indirizzate alla *Direzione federale delle misurazioni catastali, 3003 Berna,* fino al 31 luglio 1981 al più tardi.

Conformemente all'articolo 12 del regolamento d'esame del 2.5.1973, i candidati allegheranno i documenti seguenti alla loro iscrizione: un curriculum vitae, un documento ufficiale attestante la cittadinanza svizzera (atto d'origine, permesso di stabilimento o certificato individuale di stato civile ecc.), un certificato di buona condotto rilasciato dal comune di domicilio, i documenti originali comprovanti il superamento di tutti gli esami teorici alla SPF, i certificati dei datori di lavoro concernenti l'attività pratica sul formulario speciale della D+M. I certificati attestanti questa pratica devono informare esattamente sul genere e la durata dei lavori eseguiti come sulle interruzioni provocate da vacanze, malattia e servizio militare.

Per poter essere ammesso all'esame, la pratica di 12 mesi dovrà essere conclusa al 31 luglio 1981.

Gli esami avranno luogo a Berna dal 28 settembre al 16 ottobre 1981.

Grabs, il 30 aprile 1981

Il Presidente della Commissione federale esaminatrice: *Ch. Eggenberger*