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: 77 (1979)

Heft: 1

Artikel: Messen der Kippachsneigung mit dem Kern DKM2-AM

Autor: Aeschlimann, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-229671

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: 05.12.2025

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

tion de contrôle du barrage de Rossens. Grâce à l'amabilité des ingénieurs de ce service, nous disposions de documents très complets concernant les calculs et les observations faites en août 1976.

Cette dernière mesure comporte au total 252 directions horizontales observées avec un théodolite T3 et 30 distances entre 7 piliers, mesurées avec le Mekometer ME 3000. Le réseau 1976 complet compte 60 points dont les 7 piliers, quelques points d'orientation éloignés, plus de 20 repères scellés dans le rocher aux environs du barrage et une vingtaine de repères au parement.

La compensation globale du réseau complet 1976 effectuée par le S+T avec son programme de triangulation donne une erreur moyenne après compensation de ± 2,7cc sur une direction horizontale, c'est-à-dire la même valeur que celle obtenue avec les mesures 1977 DKM2-AM.

Pour disposer d'une deuxième comparaison, nous avons retenu des mesures effectuées par le S+T les 101 directions et les 21 points constituant le réseau 1977 et refait avec notre programme la compensation planimétrique de ces observations. Ce nouveau calcul donne, une fois encore, une erreur moyenne quadratique de ± 2,7cc sur une direction compensée.

Lors de la mesure de 1976, le Service Topographique fédéral a observé 179 angles verticaux, non pas avec un T3 comme pour les directions horizontales, mais avec un nouveau T2 à collimation verticale automatique. Selon les calculs du S+T, le traitement global de ce réseau basé sur les deux piliers nivelés en 1976 donne une erreur moyenne de ± 5,5 mm pour une visée de 1 km, valeur qui à première vue semble assez bien correspondre aux erreurs moyennes obtenues avec nos mesures de 1977.

Pour avoir une meilleure comparaison, nous avons, comme pour la planimétrie, retenu des mesures de 1976 celles qui constituent aussi le réseau partiel de 1977 et refait une compensation altimétrique. En attribuant les mêmes poids que pour les calculs avec les angles verticaux mesurés avec le T3 ou le DKM2-AM, nous avons obtenu une erreur moyenne après compensation de ± 0,80 mm pour une visée de 100 m. Cette valeur est un peu moins bonne que les résultats obtenus avec le T3 ou le DKM2-AM et, sans chercher à en trouver le pourquoi, nous avons toutefois constaté que les différences de niveaux observées dans les deux sens (entre les piliers) «jouent» moins bien qu'en 1977.

Conclusions

Les résultats du traitement des mesures de triangulation effectuées en été 1977 à Rossens par un groupe d'étudiants de l'EPFL employant un DKM2-AM montrent que cet instrument peut parfaitement être utilisé pour la mesure géodésique des déformations de barrages. Le compensateur à liquide de l'instrument facilite la mesure rapide et très précise des angles verticaux et le micromètre de l'axe des tourillons permet d'obtenir des directions horizontales affranchies d'une erreur résiduelle de calage malgré la forte inclinaison des visées.

Les points d'un «petit» réseau où la longueur des visées ne dépasse pas 250 m sont déterminés par des mesures avec un DKM2-AM avec une précision planimétrique et altimétrique comparable à celle obtenue à l'aide d'un T3. Pour des réseaux comportant des visées nettement plus longues, la comparaison reste à faire.

Adresse de l'auteur:
Prof. A. Miserez, Institut de Géodésie et Mensuration EPFL, Av. de Cour 33, 1007 Lausanne

Messen der Kippachsneigung mit dem Kern DKM2-AM

H. Aeschlimann

Les compensateurs à liquide permettent la mesure de l'angle entre la verticale et l'axe principal du théodolite, angle mesuré selon ses composantes dans un système solidaire de l'instrument. En général, on utilise seulement la composante selon la ligne de visée pour obtenir une correction automatique de la lecture du cercle vertical. A l'aide d'un micromètre optique particulier, la composante selon l'axe secondaire des tourillons peut être mesurée dans le théodolite Kern DKM2-AM. Ce dispositif remplace la nivelle cavalière pour déterminer l'inclinaison de l'axe secondaire des tourillons.

1. Zweck des Kippachsmikrometers

Allgemein ist bekannt, dass die Horizontiergenauigkeit von Sekundentheodoliten nicht ausreicht, um die Einflüsse von Horizontierfehlern auf die Horizontalrichtungen bei steilen Visuren kleiner als die Messgenauigkeit zu halten. Mit den üblichen 20″-Libellen lassen sich kaum kleinere Stehachsneigungen als 3″-4″ erreichen. Um keine Fehler > 1″ befürchten zu müssen, wäre der Einfluss der Stehachsneigung bereits bei Visurneigungen zwischen 14° und 20° zu berücksichtigen.

Mit Hilfe von Reiterlibellen wird hie und da die Kippachsneigung gemessen. Obwohl für astronomische Universale – mit Ausnahme jener, die Neigungseinflüsse direkt an der Ziellinie kompensieren – die Neigungsmessung ohne Libellen heute immer noch undenkbar ist, hat sie aus verschiedenen Gründen für Sekundentheodolite nicht richtig befriedigt. Die grosse thermische Empfindlichkeit der Libellen, die fragwürdige Zuverlässigkeit der Messwerte, besonders bei direkter Lagerung der Reiterlibelle auf der Kippachse, der kurze Abstand der Auflagen, die Abdeckung zenitnaher Visuren und nicht zuletzt die mangelnde Vertrautheit der Beobachter mit der Methode mögen dafür verantwortlich sein. Es liegt daher nahe, anstelle von Libellen andere neigungsempfindliche Bauelemente zu verwenden.

Als Kippachsmikrometer wird eine im Theodolit eingebaute Vorrichtung bezeichnet, die mit Hilfe eines optischen Mikrometers gestattet, Veränderungen der in die Kippachsrichtung fallenden Komponenten der Stützenneigung zu messen.

Da die Kippachse in der Theodolitstütze durch die Kippachslager sehr genau geführt ist, kann für Sekundentheodolite die Neigungsänderung der Stütze der Neigungsänderung der Kippachse

gleichgesetzt werden. Das Kippachsmikrometer liefert grundsätzlich dieselben Messwerte wie eine parallel zur Kippachse eingebaute Stützenlibelle oder wie eine auf der Stütze liegende Reiterlibelle.

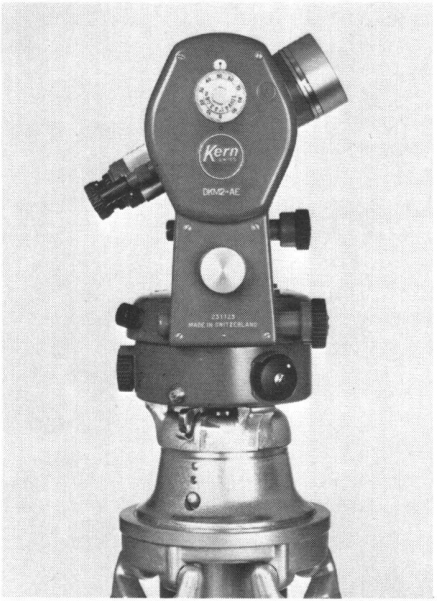

Abb. 1 DKM2-AM mit Kippachsmikrometer. Der Mikrometerknopf der Skala befindet sich am Deckel zum Gehäuse des Höhenkreises. Die Skala ist in Intervalle von 1″ (sexagesimal) geteilt.

Das Kippachsmikrometer soll gestatten, die Kippachsneigung auf mindestens ±1″ (± 3cc) genau zu bestimmen. Damit bleibt die Messgenauigkeit eines Sekundentheodolits für Horizontalrichtungen bis zu Visurneigungen von 45° erhalten.

2. Aufbau des Kippachsmikrometers

Die Messung der Lotrichtung gegenüber der Stehachsrichtung des Theodolits erfordert ein Bauelement, das sich nach der Lotrichtung orientiert. Im DKM2-A ist dies naheliegenderweise die Flüssigkeitsoberfläche des Kompensators am Höhenkreis, die definitionsgemäss senkrecht zur Lotrichtung steht.

Für die Kompensation des Einflusses der in die Zielrichtung fallenden Komponente der Stehachsneigung auf die Höhenkreisablesung wird nur von der unveränderlichen Neigung des ebenen Oberflächenelementes in Richtung der Zielachse Gebrauch gemacht, während alle andern, ebenfalls unveränderlich geneigten und im Oberflächenelement liegenden Richtungen für einen Höhenkreiskompensator bedeutungslos sind. Im Gegenteil, sie können stören, sobald die in die Kippachsrichtung fallende Komponente der Stehachsneigung einen gewissen Betrag überschreitet. Diese Neigungskomponente hat eine an sich unerwünschte Versetzung zwischen den Bildern der beiden diametralen Kreisstellen in Richtung der Teilstriche zur Folge. Durch geeignete Abdeckungen in der Gesichtsfeldblende des Ablesemikroskopes wird verhindert, dass diese Versetzung bemerkt wird, solange die Horizontierfehler den Kompensationsbereich nicht überschreiten. Hingegen wird jedem Benützer des DKM2-A schon aufgefallen sein, dass vor dem Horizontieren die Hilfsteilung des Höhenkreises möglicherweise überhaupt nicht oder aber im Ablesefeld der Bezifferung sichtbar war.

Ohne die Wirkung der beiden Komponenten der Stehachsneigung – in Richtung der Kippachse und in Richtung der Zielachse – auf die Lage des an der Flüssigkeitsoberfläche reflektierten Bildes der Hilfsteilung durch den Abbildungsstrahlengang zu verfolgen, ist plausibel, dass die in die Zielrichtung fallende Komponente das Bild der Hilfsteilung gegenüber der Hauptteilung in Richtung zunehmender oder abnehmender Bezifferung verschieben muss. Dadurch kommt die Kompensation des Einflusses auf den Höhenwinkel letztlich zustande. Infolgedessen verschiebt die in die Kippachsrichtung fallende Komponente das Bild der Hilfsteilung gegenüber der Hauptteilung senkrecht dazu, d. h. entlang der Teilstriche.

Der Betrag dieser Verschiebung ist ein Mass für die Neigungskomponente in Richtung der Kippachse. Der Gedanke liegt nahe, sie durch optischen Mikrometer zu messen, dessen Bildverschiebung senkrecht zu derjenigen des Höhenkreismikrometers steht.

Als geeignetes Einstellkriterium für das Mikrometer bietet sich die Mittelfeldeinstellung an. Ein Doppelstrich liegt in der Gesichtsfeldblende des Ablesemikroskopes, ein einfacher Strich wird über den Kompensator abgebildet.

In Abb. 2 ist der Abstand 8 des Bildes 9″ des einfachen Striches von der Mitte des Doppelstriches 10 ein Mass für die Neigungskomponente der Stehachse in Richtung der Kippachse. Der Abstand 8 ändert sich abgesehen von einem konstanten Betrag – dem Justierfehler – proportional zur Änderung dieser Neigungskomponente oder, gleichbedeutend, zur Änderung der Stützenneigung. Wegen der Abbildung durch die vorhandene Kreisableseoptik 5 muss der einfache Strich 9 in der Ebene 2 der Kreisteilung 3 liegen. Damit er jedoch bei verschiedenen Zenitdistanzen der Zielachse nicht aus dem Gesichtsfeld des Ablesemikroskopes verschwindet, müsste anstelle eines geraden, kurzen Striches ein Kreis 7 vorhanden sein, dessen Zentrum auf der Kippachse liegt. Ein derartiger Kreis wäre ideal, wenn nicht Zweifel

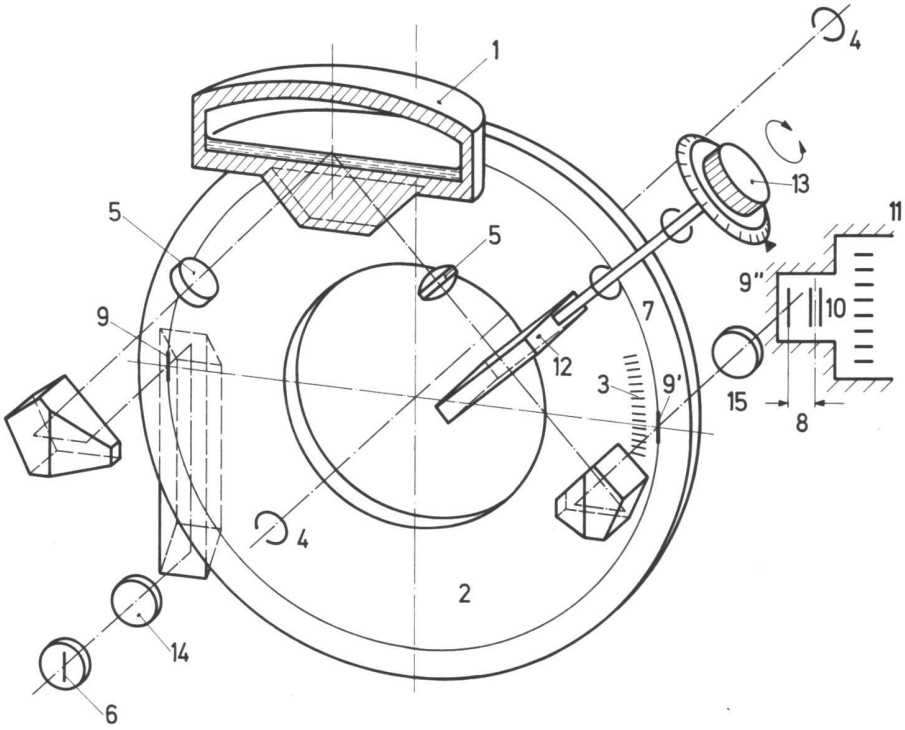

Abb. 2 Schema von Optik und Mechanik des Kippachsmikrometers
1 Flüssigkeitskompensator; 2 Teilungsebene des Höhenkreises; 3 Teilung; 4 Kippachse; 5 optisches System zur Abbildung einer Kreisstelle auf die diametral gegenüberliegende; 6 Strichplatte; 7 Hilfskreise; 8 Abstand, der sich linear mit der Neigungsänderung verändert; 9, 9′, 9″ aufeinanderfolgende Bilder der Strichplatte 6; 10 Doppelstrich; 11 Gesichtsfeldblende; 12 Planplatte; 13 Mikrometerknopf mit Skala; 14 Abbildungsobjektiv.

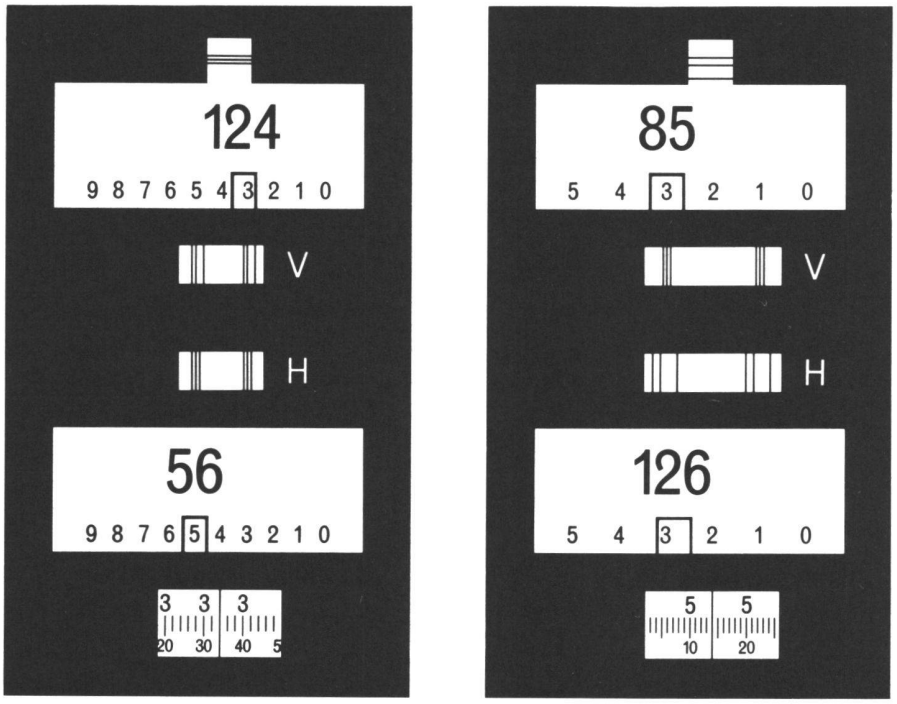

Abb. 3 Ablesebilder
In der Ausbuchtung des obersten Feldes liegen der Doppelstrich 10 und das Bild 9'' der Strichplatte 6 (Abb. 2), rechts Kippachsmikrometer nicht eingestellt, links eingestellt.

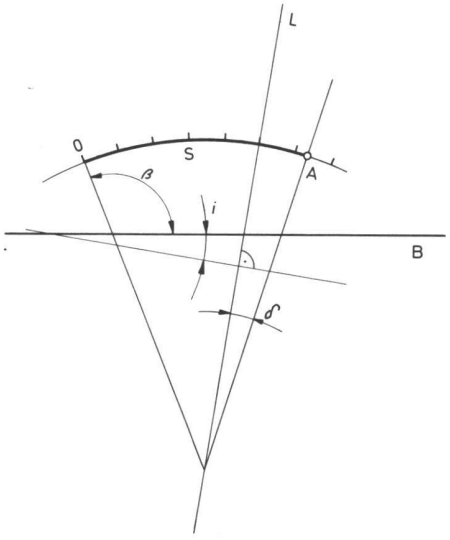

Abb. 4 Schema eines Neigungsmessers
L Lotrichtung; B Auflage des Neigungsmessers; S kreisförmige Messskala; A Ableseindex; i Neigung der Auflage gegenüber dem Horizont; δ Anzeigedifferenz zwischen Ableseindex und Lotrichtung; β Winkel zwischen Auflage und Nullrichtung der Kreisteilung

bestehen würden, ob seine Formgenauigkeit für die geforderte Messgenauigkeit ausreiche.

Anstelle des Kreises 7 wird deshalb eine besondere Strichplatte 6 in die Ebene der Kreisteilung abgebildet. Sie trägt einen einzelnen Strich, der so orientiert ist, dass sein in der Teilungsebene des Höhenkreises liegendes Bild tangential zum Kreis 7 liegt. Das Bild der Strichplatte 6 liegt zusammen mit dem Doppelstrich in der Gesichtsfeldblende in einer Ausbuchtung des Ablesefeldes für den Höhenkreis (Abb. 3).

3. Messung der Kippachsneigung

Neigungsmesser gestatten grundsätzlich nur Neigungsunterschiede zu messen. Absolute Neigungen, d. h. die Richtungsdifferenz zwischen einer unbekannten Richtung und der Lotrichtung, erhält man entweder durch geeignete Messverfahren mit Neigungsunterschieden als Messwerte (z. B. Messen in zwei Lagen), oder durch vorgängiges Bestimmen der einem Bezugspunkt auf der Messskala entsprechenden Neigung (Eichen).

Die Wirkungsweise der Neigungsmesser ist in Abb. 4 dargestellt. Die Neigung i der Richtung B sei die gesuchte Grösse. Als Richtungsmesser weisen alle Neigungsmesser grundsätzlich eine Kreisteilung S auf, deren Ablesestelle A von der Lotrichtung abhängt. In der Ablesung sind die unbekannte Orientierung β der Nullrichtung der Kreisteilung und die Anzeigedifferenz δ der Ablesestelle gegenüber der Lotrichtung L enthalten.

Abb. 5 zeigt einen Neigungsmesser in zwei Lagen. H sei die Halbierende des Winkels, den seine beiden Auflagen B_I und B_{II} in der ersten und zweiten Lage miteinander einschliessen, die zugehörigen Ablesungen seien a_I und a_{II}. Die Neigung von H gegenüber dem Lot L sei i.

$$a_{II} - \delta = \beta - (\alpha - i)$$

$$a_I - \delta = \beta - (\alpha + i)$$

$$a_{II} - a_I = 2i$$

$$i = \frac{a_{II} - a_I}{2}$$

$$\frac{a_{II} + a_I}{2} = \beta - \alpha + \delta$$

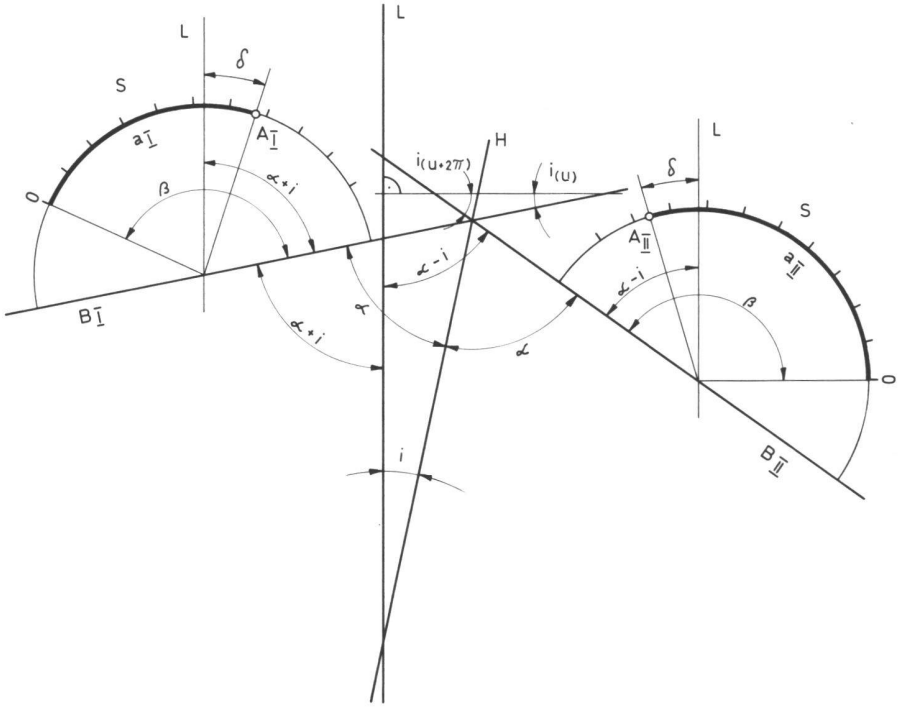

Abb. 5 Schema der Neigungsmessung eines Theodolits
Die Indices bezeichnen die Fernrohrlagen. Zusätzlich zu den in Abb. 4 eingeführten Bezeichnungen kommen: H Winkelhalbierende zwischen den beiden Auflagen; α Winkel zwischen einer Auflage und der Winkelhalbierenden; i Neigung der Winkelhalbierenden gegenüber dem Lot.

Die halbe Differenz der beiden Ablesungen ist gleich der Neigung i der Winkelhalbierenden H der beiden Auflagen B_I und B_{II} des Neigungsmessers.

Die Summe der beiden Ablesungen ergibt eine Konstante, die vom Gerät abhängt, und die dem Indexfehler bei der Höhenwinkelmessung entspricht. Bei verschiebbarer Skala S kann der Winkel β verändert werden. Die Summe ist in diesem Fall nur für einen bestimmten Einstellungszustand konstant. Dies trifft auf den DKM2-AM zu, dessen Skala am Kippachsmikrometer gegenüber einer bestimmten Stellung der Planplatte 12 (Abb. 2) verschoben werden kann.

Der geometrische Sachverhalt in Abb. 5 kann mechanisch verschieden ausgelegt werden.

- Die Winkelhalbierende H kann eine mechanisch ideale Stehachse darstellen, die ihre Richtung beim Drehen von Lage I in Lage II beibehält. Diese Interpretation gilt üblicherweise für Theodolite, deren Stehachse für die vorgesehenen Messungen als hinreichend genau angesehen werden kann.

- Die Winkelhalbierende H wird als geometrische Grösse betrachtet, die keinem mechanischen Teil entspricht. Messungen mit dem Neigungsmesser in den Lagen I und II ergeben die Neigung i von H gegenüber dem Lot L. Diese Interpretation gilt insbesondere für Passageinstrumente, über deren Stehachse nichts vorausgesetzt wird.

- Die Auflagen B_I und B_{II} können als mechanische Auflagen für den Neigungsmesser oder ebensogut als Auflagen für die Kippachse angesehen werden. Neigungsmesser und Kippachse sind beide durch die starre Stütze gegeneinader festgelegt. Zur besseren Klarheit wären in Abb. 5 zwei Auflagen B'_I und B'_{II} einzuführen, je eine für den Neigungsmesser und eine für die Kippachse. Sie hätten jedoch beide dieselbe Winkelhalbierende H zwischen beiden Lagen.

Die gemessene Neigung i ist somit gleich der Neigung des Mittels aus den Neigungen der Kippachse in den Lagen I und II. Fehlereinflüsse, die linear von der Kippachsneigung abhängen, werden eliminiert, indem am Mittelwert der Messwerte eine für den Mittelwert der Neigungen geltende Korrektur angebracht wird. Dabei wird über die Stehachse nichts vorausgesetzt.

Eine Einschränkung ist freilich zu machen. Die gemessenen Neigungen beziehen sich nicht auf die Kippachse selbst, sondern auf die Auflage der Kippachse in der Stütze. Bei den heute üblichen Herstellungsgenauigkeiten der Kippachse ist dies für Sekundentheodolite wohl zulässig, für Präzisionstheodolite hingegen müsste ein anderes Messsystem gewählt werden.

4. Korrektur der Messwerte

Es ist belanglos, ob die Neigung i der Neigungskomponenten einer idealen Stehachse entspricht, oder ob sie aus verschiedenen Neigungen i_u und $i_{u+\pi}$ einer fehlerhaften Stehachse hervorgegangen ist (Abb. 5). Die Indices u und $u+2\pi$ beziehen sich auf das Azimut des verwendeten Zielpunktes in beiden Lagen. Gute Stehachsen sind trotzdem nicht zwecklos, da sie bei guter Horizontierung und nicht allzu steilen Visuren Korrekturen überflüssig machen.
Die am Mittel l' aus beiden Fernrohrlagen einer Horizontalrichtung anzubringende Korrektur k wird

$$k = i \cdot \operatorname{ctg} z$$

mit z als Zenitdistanz der beobachteten Richtung und i als Neigung der Winkelhalbierenden H gegenüber dem Lot. Die korrigierte Richtung l ergibt sich aus dem Mittel l' als

$$l = l' + k \cdot$$

Dadurch ist das Vorzeichen von i bestimmt. Es ist für einen im Uhrzeigersinn geteilten Kreis positiv, wenn vom Beobachter in Richtung auf das Ziel gesehen die Winkelhalbierende H nach rechts geneigt ist. Damit ist auch die Bezifferungsrichtung der Skala S festgelegt, da die Differenz der Ablesung im üblichen Sinne der Differenzbildung $a_{II} - a_I$ positiv sein muss.

5. Richtungsmessungen mit dem DKM2-AM

Das Kippachsmikrometer des DKM2-AM weicht aus konstruktiven Gründen von der in Abschnitt 4 gegebenen Vorzeichenregelung ab. Damit die Differenz $a_{II} - a_I$ das richtige Vorzeichen annimmt, müsste die Skala am Rändelknopf in der entgegengesetzten Richtung beziffert sein. Dies könnte wegen der ungewohnten Bezifferungsrichtung zu Ablesefehlern führen. In der Berechnung ist daher ein Vorzeichen zu vertauschen, am einfachsten durch Vorzeichenwechsel der Differenz der Ablesungen, d. h. durch

$$i = \frac{a_I - a_{II}}{2}$$

Die Messung einer Horizontalrichtung umfasst zusätzlich zur Kreisablesung noch die Ablesung des Kippachsmikrometers, die im Feldbuch für jede Fernrohrlage in einer separaten Kolonne neben den Richtungsmessungen aufgeschrieben wird.

Literatur

Patentschrift Schweiz Nr. 532243.
H. Aeschlimann: Der neue Sekundentheodolit Kern DKM2-A, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Fachblatt 1/72.
A. Miserez: Détermination géodésique des déformations d'un barrage avec le théodolite DKM2-AM. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/79.

Adresse des Verfassers:
Dr. H. Aeschlimann, Kern & Co. AG,
CH-5001 Aarau

triacca SA
GRANITSTEINBRÜCHE
CH-6799 PERSONICO
Tel. 092 72 24 52
MARKSTEINE
BORNES