

Paper-ID: VGI_197403



Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab

Gottfried Gerstbach ¹

¹ *Institut für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien, A-1040 Wien, Gußhausstraße 25-29*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **62** (1), S. 25–34

1974

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Gerstbach_VGI_197403,  
Title = {Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab},  
Author = {Gerstbach, Gottfried},  
Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {25--34},  
Number = {1},  
Year = {1974},  
Volume = {62}  
}
```



Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab

Von *Gottfried Gerstbach*, Wien

Zusammenfassung

Unter Anwendung der Methode gleicher Höhen ermöglicht ein automatisches Nivellier mit Prismenvorsatz astronomische Ortsbestimmungen, die an die Genauigkeit wesentlich größerer und schwererer Instrumente heranreichen. Mit einer leicht transportablen Ausrüstung (komplett 14½ kg), die auch preisgünstig ist, können Breite und Länge gleichzeitig in nur 1½ Stunden auf 0,2 bzw. 0,02 bestimmt werden; ein Pfeiler ist ebenso entbehrlich wie eine aufwendige Zeitregistrierung.

Abstract

By using the method of equal altitudes an automatic levelling instrument with prism attachment permits astronomic position fixing with an accuracy comparable to that of substantially bigger and heavier instruments. By means of an equipment which can be taken anywhere (total weight 14,5 kg) and which also is rather inexpensive, latitude and longitude can be determined simultaneously to 0,2 and 0,02 resp. in only one and a half hours; instrument setup on pillars and expensive time recording are equally dispensable.

1. Einleitung

Die Methode der gleichen Höhen geht auf C. F. Gauß zurück. Werden von drei bekannten Sternen die Durchgangszeiten durch denselben Höhenparallel gemessen, können Breite, Uhrstand und Zenitdistanz abgeleitet werden; ist der Uhrstand durch Zeitvergleich bekannt, kann die Länge bestimmt werden. Liegen Beobachtungen von mehr als 3 Sternen vor, wird nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Große Vorteile des Verfahrens sind, daß die Normalrefraktion herausfällt und sich die Beobachtung auf Messung von Zeiten beschränkt.

Folgende Gerätetypen eignen sich zur Anwendung des Verfahrens:

a) Theodolite, vor allem solche mit automatischem Höhenindex. In Abschnitt 7 soll darüber kurz berichtet werden.

b) Instrumente mit Quecksilberhorizont und Prisma: hier wird das Zusammenlaufen von direktem und reflektiertem Sternbildchen beobachtet. Die einfache Ausführung (für Sekundentheodolite) ist relativ ungenau und in der Handhabung umständlich. Größere Geräte, wie das Zirkumzenital Nuß-Friê [1] und seine Weiterentwicklungen [5], [10] sowie das Prismenastrolab Danjon [4], [6] ermöglichen die Messung mehrerer Koinzidenzen bzw. erreichen durch unpersönliche Mikrometer sehr gute Ergebnisse, sind aber fast nur auf festen Stationen einsetzbar.

c) Automatische Nivelliere mit Prisma [3], [4], [7]: leicht transportabel und rasch meßbereit, erbringen sie bei Messung an mehreren Fäden gute Genauigkeiten, auch am Stativ.

Über eine am Institut für Höhere Geodäsie der Technischen Hochschule Wien durchgeführte längere Meßreihe wird im folgenden berichtet.

2. Instrumentarium und Meßvorgang

Zur Erprobung des Verfahrens wurde ein automatisches Nivellier Zeiß Ni 2 mit Einstellkreis und Astrolabvorsatz verwendet. Das vor dem Objektiv angebrachte Prisma ermöglicht Beobachtungen in 60° Höhe und kann mit einer kleinen Libelle

horizontiert werden. Abb. 1 zeigt die 21 Fäden des Gesichtsfeldes, die ebenso wie Teilkreis und Prismenlibelle beleuchtet werden können. Das Instrument wurde auf einem Stativ eingesetzt; Probemessungen auf einem Pfeiler ergaben keine besseren Genauigkeiten.

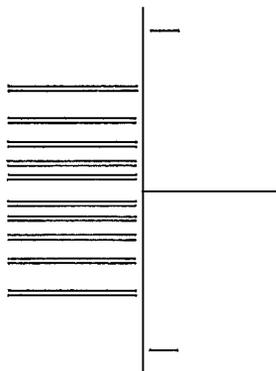


Abb. 1

Fadenkreuz des Ni₂-Astrolabs.

Die 10 Doppelfäden haben vom horizontalen Mittelfaden die Abstände $\pm 11'$, $\pm 7,5'$, $\pm 5'$, $\pm 3'$ und $\pm 1,5'$.

Die Antrittzeiten wurden mit einem nach Sternzeit regulierten Schleppzeiger-Chronometer Ulysse Nardin auf 0.1 sec gemessen, später (ab Dezember 1973) mit einer elektronischen Stoppuhr Heuer-Microsplit mit digitaler Anzeige der Hundertstelsekunden. Sie zeigte im praktischen Betrieb, auch über mehrere Stunden, eine Ganggenauigkeit von $4 \cdot 10^{-6}$. Die Zeitvergleiche wurden akustisch über Telefon (Sekundenpunkte Wien 1505) und z. T. Zeitzeichen (DIZ und HBG) durchgeführt, näheres ist Kapitel 5 zu entnehmen. In Abb. 2 ist das komplette Instrumentarium mit HBG-Empfänger und beiden Uhren zu sehen, es wiegt nur $14\frac{1}{2}$ kg.

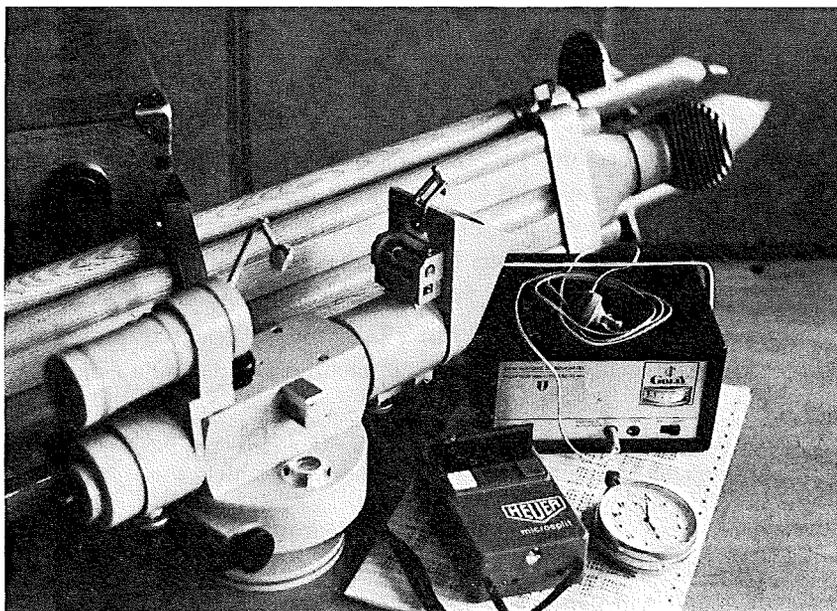


Abb. 2

Zur Vorbereitung der Beobachtungen wurde für die IBM 7040 des Rechenzentrums der TH Wien ein Programm erstellt, das für sämtliche Sterne des FK 4 Sternzeiten und Azimute der Durchgänge vorausberechnet und nach der Zeit ordnet. Tabelle 1 zeigt einen kleinen Teil des Ausdrucks, der Sternnummer, Helligkeit, Sternzeit und Azimut enthält. Die geographische Breite muß nicht genauer als 5–10' bekannt sein, eine Tabelle kann daher für mehrere Stationen (und auch für einen längeren Zeitraum) benutzt werden.

Tabelle 1

Ausschnitt aus dem Sternprogramm

EPOCHE = 1973. 95, BREITE = 48.1200				SEITE 5			
NR	M	STZ	AZ	NR	M	STZ	AZ
890	4.1	20.3708	76.33	795	5.9	21.4423	356.01
663	3.8	20.3715	282.49	1005	4.5	21.4440	98.26
899	4.7	20.3855	53.55	701	6.0	21.4526	322.23
653	3.0	20.3925	295.57	729	4.6	21.4629	339.29
752	3.7	20.3937	200.06	711	4.2	21.4812	278.16
1589	6.0	20.4044	126.19	760	5.4	21.4946	226.30
1594	5.7	20.4132	12.51	880	4.6	21.5235	137.23
1610	5.7	20.4238	95.04	724	4.5	21.5238	265.03
895	5.0	20.4255	33.06	1523	4.7	21.5319	237.06
655	5.0	20.4423	301.47	1030	5.3	21.5410	59.03
657	5.0	20.4428	301.45	1510	4.8	21.5457	255.59
1619	4.3	20.4449	81.08	1492	5.8	21.5631	297.14
891	4.3	20.4511	83.28	881	4.6	21.5958	138.46
1622	5.1	20.4541	76.39	1021	4.4	22.0235	88.21
1477	4.3	20.4914	260.09	707	4.8	22.0527	310.06
1616	5.5	20.4960	90.17	1596	6.4	22.0540	161.35
1494	5.4	20.5018	345.03	1006	5.8	22.0542	112.02
1579	6.6	20.5049	148.52	1	2.1	22.0703	119.00
2	2.4	20.5309	50.37	804	4.3	22.0713	202.12
695	3.7	20.5723	338.04	48	2.8	22.0931	48.25
1570	5.3	20.5830	161.49	1586	6.4	22.1131	173.51
1508	4.6	21.0153	226.35	1549	5.6	22.1227	216.40
1498	5.5	21.0346	239.55	1570	5.3	22.1435	198.10
684	5.4	21.0359	274.23	18	4.5	22.1435	106.08
676	2.4	21.0426	294.15	723	3.2	22.1623	326.49

Der Meßvorgang selbst ist einfach: das Sternazimut wird rechtzeitig eingestellt, und nach Prüfen der Libelle (Nachstellen nur selten nötig) und eventuellem Regeln der Gesichtsfeldbeleuchtung können die einzelnen Fadenantritte gestoppt werden. Die Bisektion ist gut erfaßbar, nur Sterne schwächer als etwa 5^m,0 werden kurz verdeckt. Anfangs konnte der Verfasser 8–10 Antritte messen, mit zunehmender

Übung 14–16; die kürzeste Zeitspanne zwischen den Doppelfäden beträgt 3 Sekunden. Bei der Auswahl der Sterne soll auf gute Verteilung über den Horizont geachtet werden. Wenn man außerdem — soweit möglich — aufeinanderfolgende Sterne in entgegengesetzten Richtungen beobachtet, bleiben eventuelle Änderungen der Refraktion ohne Einfluß auf das Endergebnis.

Die Messungen sind von einer Person durchführbar, sofern für eine blendfreie Protokollbeleuchtung gesorgt wird. Zu diesem Zweck wurde in die Herzschaube des Stativs ein 4-V-Lämpchen eingeführt, das einen Lichtkegel von etwa 90° Öffnung nach unten wirft. Zweimal wurde mit Protokollführer gearbeitet, was die Beobachtung natürlich erleichtert und beschleunigt sowie Messung aller Fäden zuläßt, aber die Genauigkeit bei gleicher Sternanzahl nur wenig steigert.

3. Auswertung der Beobachtungen

Dieser Punkt, früher ein gewisser Nachteil der Methode, stellt im Zeitalter der EDV kein Problem mehr dar. Die Berechnungen wurden am Bürocomputer Philips P 352 der geodätischen Institute der TH Wien durchgeführt, lassen sich aber auch an Tischcomputern oder mit den neuen elektronischen Taschenrechnern leicht und schnell ausführen. Das Programm MITTEL berechnet das Gesamtmittel der Stopnungen und dessen Genauigkeit unter Berücksichtigung einer eventuellen Exzentrizität des Zifferblattes, ermittelt die Quadratsumme der Zeitdifferenzen (für Sternbahnkrümmung) und läßt grobe Fehler erkennen. Das Programm INTERPOLATION rechnet die Koordinaten der FK-4-Sterne inkl. kurzperiodischer Nutation und bringt den für die angenommene Länge λ gültigen Uhrstand und -gang an den Stundenwinkel t an, der zusammen mit der Deklination δ im wichtigsten Programm AUSWERTUNG VON ASTROLABBEOBSCHTUNGEN [8] verarbeitet wird. Die Grundzüge des dabei verwendeten Ausgleichsverfahrens seien kurz dargestellt:

Mit einem Näherungswert für die geographische Breite φ und den zuvor ermittelten t und δ kann für jeden Stern ein eigener Höhenwinkel h nach der Formel

$$\sin h = \cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta \cos t$$

gerechnet werden, wogegen in Wirklichkeit alle Sterne in derselben Höhe h_0 gemessen wurden, die sich aus dem Prismenwinkel, der Refraktion und dem Neigungsfehler des Nivelliers zusammensetzt. Die Höhendifferenzen $\Delta h = h - h_0$ zeigen je nach den Fehlern $\Delta \varphi$ und $\Delta \lambda$ des Näherungsortes ein systematisches Verhalten und aus den Verbesserungsgleichungen

$$\Delta h = \cos \alpha \cdot \Delta \varphi + \sin \alpha \cos \varphi \cdot \Delta \lambda \quad (\alpha \dots \text{Azimut des Sterndurchgangs})$$

kann ein Normalgleichungssystem aufgestellt werden, aus dem sich die 3 Unbekannten h_0 , $\Delta \varphi$ und $\Delta \lambda$ und somit die endgültigen Werte für Breite und Länge ergeben. Das Programm, das auch die tägliche Aberration und Sternbahnkrümmung berücksichtigt, druckt neben den Resultaten deren mittlere Fehler sowie den mittleren Fehler einer Beobachtung (hier des Stern-Gesamtmittels) aus.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß eine näherungsweise Auswertung graphisch erfolgen kann, sofern eine Genauigkeit von $1-2''$ ausreicht. Dabei wird ein ausgleichender Kreis in eine aus Höhenstandlinien bestehende Tangentenfigur eingepaßt [1].

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse einer Meßreihe im Südwesten Wiens, in deren Rahmen an 22 Abenden unter feldmäßigen Bedingungen beobachtet wurde. Neben der Anzahl der gemessenen Sterne ist der mittlere Fehler einer Beobachtung verzeichnet, es folgen Breite und Länge mit ihren mittleren Fehlern, die wegen Polbewegung korrigierten Abendmittel und die reine Beobachtungsdauer. Im Durchschnitt sind (nach 68 Minuten) $m_{\varphi} = 0.''19$ und $m_{\lambda} = 0.''016$, wobei es sich natürlich um innere Genauigkeiten handelt. Der Vergleich verschiedener Abendwerte

Tabelle 2
Ergebnisse der Breiten- und Längenbestimmung

Datum	Anz. d. Sterne	m_B	φ	m_{φ}	φ_0	λ	m_{λ}	λ_0	Beob. Dauer
			48°10'		48°10'	1h05 ^m		10h5 ^m	
16. 8. 73	17	0.''57	24.''41	± 0.''20	24.''60	8.8371	± 0.8020	8.8350	76 ^m
	18	41	24.''54	15		8.8375	12		73
17. 8.	19	51	24.''59	20	24.''77	8.8370	14	8.8361	74
	19	39	24.''72	16		8.8401	14		77
18. 8.	13	53	24.''55	25	24.''64	8.8392	20	8.8364	57 ¹⁾
	14	49	24.''51	20		8.8385	17		64 ²⁾
19. 8.	19	43	24.''81	15	24.''77	8.8352	13	8.8350	58
	18	58	24.''47	21		8.8403	18		69
20. 8.	32	62	24.''40	17	24.''50	8.8517	14	8.8493	124 ³⁾
22. 8.	22	31	24.''44	10	24.''58	8.8483	08	8.8463	87
	18	30	24.''52	9		8.8492	10		77
23. 8.	16	50	24.''40	19	24.''42	8.8437	17	8.8412	68
	18	58	24.''23	20		8.8434	19		83
24. 8.	15	64	24.''33	24	24.''41	8.8386	23	8.8385	64 ⁴⁾
	22	44	24.''30	15		8.8418	12		81
25. 8.	18	52	24.''52	20	24.''62	8.8385	16	8.8361	74
26. 8.	14	50	24.''44	20	24.''54	8.8428	18	8.8404	56
1. 9. 73	19	59	24.''49	23	24.''58	8.8436	16	8.8412	81 ⁵⁾
2. 9.	16	56	24.''34	19	24.''43	8.8480	19	8.8455	76 ⁶⁾
3. 9.	19	38	24.''67	12	24.''76	8.8457	12	8.8432	88
5. 9.	16	49	24.''64	18	24.''73	8.8466	16	8.8441	82
3. 12. 73	13	0.''54	24.''45	± 0.''24	24.''42	8.8400	± 0.8020	8.8376	61 ^m
9. 12.	9	39	25.''14	21	25.''10	8.8396	16	8.8373	32
10. 12.	11	25	24.''91	11	24.''87	8.8436	10	8.8413	48
11. 12.	10	60	24.''52	26	24.''48	8.8411	24	8.8388	37
22. 12.	12	44	24.''36	19	24.''31	8.8375	15	8.8353	46
27. 12.	11	40	24.''57	17	24.''52	8.8358	15	8.8337	62
28. 1. 74	12	49	24.''83	21	24.''78	8.8395	17	8.8375	50
5. 2. 74	12	63	24.''28	30	24.''22	8.8408	26	8.8382	63 ⁷⁾
	12	54	24.''24	22		8.8397	18		66

1) Wind 20 km/h

5) Wind 35 km/h

2) Wind 15 km/h

6) Wind 10 km/h

3) 2/4 bewölkt

7) Wind 15 km/h

4) 3/4 bewölkt

bzw. der zweifachen Messungen derselben Nacht zeigt aber, daß zumindest $m\varphi$ auch über die äußere Genauigkeit der Breitenbestimmung eine Aussage zuläßt (über den Einfluß persönlicher Fehler auf die Länge siehe nächstes Kapitel).

Die Abendmittel der Breite liegen zwischen $48^{\circ}10'24.''22$ und $25.''10$, die der Länge zwischen $1^{\text{h}}05^{\text{m}}08.^{\text{s}}337$ und $08.^{\text{s}}493$, verdienen aber noch genauere Betrachtung. So lagen die Beobachtungen vom 16.–19. 8. 1973 in derselben Schönwetterperiode, und die Ergebnisse paßten gut zusammen. Nach Durchzug einer Gewitterfront und kräftiger Abkühlung ergab sich λ am 20. und 22. 8. um mehr als $0.^{\circ}1$ größer, was auf Schichtneigungen in der Atmosphäre hindeuten könnte. Ähnliches trat auch in der ersten Dezemberhälfte auf, wo wechselnde Wetterlagen in φ ihre Spuren hinterließen. Diese Tatsachen zeigen einmal mehr, daß es weniger wichtig ist, an einzelnen Abenden besonders gute Ergebnisse zu erzielen, als an möglichst vielen Tagen und bei unterschiedlichen Verhältnissen zu beobachten. Die kurze Meßzeit bei Prismenastrolabien bringt hier sicher einige Möglichkeiten.

Die mittleren Fehler der Einzelwerte liegen weit unter den in [6] angegebenen und trotz etwas geringerer Sternanzahl noch knapp unter denen einer Meßreihe, die 1957–59 an einem großen Zirkumzenital mit Registriermikrometer am Astronomischen Observatorium in Prag [5] durchgeführt wurde. Die um durchschnittlich 19 % kleineren mittleren Fehler von [7] dürften durch die wesentlich höhere Überbestimmung des Ausgleichsproblems (60 Sterne) erklärbar sein.

Die Streuung der Abendmittel ist mit jener in [5] vergleichbar und läßt auf ähnliche atmosphärische Verhältnisse schließen. Eine Mittelung, getrennt nach Sommer- und Winterabenden, ergab:

$$\begin{array}{lll} 16. 8. - 5. 9. & \varphi = 48^{\circ}10'24.''60 \pm 0.''04 & \lambda = 1^{\text{h}}05^{\text{m}}08.^{\text{s}}401 \pm 0.^{\text{s}}012 \\ 3. 12. - 5. 2. & & 24. 57 \pm 0. 10 \quad \quad \quad 08. 375 \pm 0. 008, \end{array}$$

worin der Einfluß der Polbewegung berücksichtigt ist.

Wind bis zu etwa 20 km/h (18. 8., 2. 9., 5. 2.) beeinträchtigte die Beobachtungen und Genauigkeiten kaum. Stärkerer Wind (1. 9. 35 km/h) kann zwar, besonders wenn er böig ist, Messungen an einzelnen Fäden verhindern, führt im übrigen aber nur zu etwas vergrößerten mittleren Fehlern und vermutlich zu keinem größeren systematischen Anteil, da auf Grund der kurzen Einspielzeit des Kompensators gute Messungen von schlechten unterschieden werden können.

5. Einfluß persönlicher Fehler

Die unregelmäßigen Fehler der Zeitnehmung werden durch die Mittelung der Zeiten bzw. im Ausgleichsverfahren eliminiert, die regelmäßigen persönlichen Fehler bedürfen jedoch einer gesonderten Betrachtung. Zwar ist ihr Einfluß auf φ sehr gering bzw. verschwindet bei symmetrischer Sternverteilung ganz, doch bleibt er in λ voll enthalten.

Ähnlich wie bei Zeitbestimmungen mit dem Registrier-Mikrometer [2], [6] kann die persönliche Gleichung auch bei Durchgangsbeobachtungen gedanklich in 2 Anteile zerlegt werden, die Bisezierfehler und „Verzögerung“ genannt werden sollen. Der Bisezierfehler wirkt im speziellen Fall nur auf die Zenitdistanz der Beobachtung und bleibt ohne Einfluß auf die Länge. Um Anhaltspunkte über die Verzögerung zu erhalten, wurden am Prototyp eines künstlichen Sterns an verschiedenen

Tagen Messungen durchgeführt, welche für den Verfasser die Werte $+ 0.04$, $+ 0.02$ und $- 0.02$ ergaben. Ein direkter Schluß auf Sternbeobachtungen ist nicht möglich, weil der künstliche Stern nur horizontal und in einer Richtung beweglich war, doch scheint die persönliche Gleichung unter 0.05 zu liegen.

Da die Zeitvergleiche für die Astrolabbeobachtungen akustisch durchgeführt wurden, sind auch hier die persönlichen Fehler zu untersuchen. Als Zeitnormale standen die SAT (stepped atomic time) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen über Telefon Wien 1505 sowie die UTC der Sender DIZ Nauen (4.5 MHz) und HBG Prangins (75 kHz) zur Verfügung, die in Verbindung mit der elektronischen Stoppuhr mittlere Fehler der Zeitvergleiche von ± 4 , ± 6 und ± 8 ms aus je 20 Stoppungen erbrachten (bei der mechanischen Stoppuhr waren die Fehler aus 50 Einzelwerten um etwa 3 ms größer). Daß am Telefon die beste Genauigkeit erreicht wird, hängt wohl damit zusammen, daß dieses Zeichen die größte Ähnlichkeit mit den Schaltgeräuschen der Uhr besitzt; systematische Fehler dürften dabei kaum vorhanden sein, da an einer Quarzuhr durchgeführte Versuche Verzögerungen der Handstoppung von nur 4 ± 2 ms gegenüber den elektrischen Kontakten ergaben. Hingegen existieren systematische Abweichungen der Radio-Zeitvergleiche, relativ zum Telefon, von $- 6 \pm 3$ ms (DIZ) und $+ 117 \pm 5$ ms (HBG). Der große Wert bei HBG kommt zustande, weil hier Dauerton mit 0.1 -Unterbrechungen gesendet wird und das Ohr erst auf die Wiederaufnahme des Tons reagiert.

Um die gesamte Auswirkung der persönlichen Fehler zu bestimmen, wurde schließlich an 2 Abenden auf dem Gelände der Universitätssternwarte Wien im Meridian des Passageinstruments gemessen. Es ergaben sich, auf den mittleren Pol 1900–1905 reduziert:

30. 11. 73	$\varphi = 48^{\circ}13'54.79 \pm 0.36$	$\lambda = 1^{\text{h}}05^{\text{m}}20.878 \pm 0.027$ (8 Sterne)
10. 2. 74	$48\ 13\ 54.76 \pm 0.19$	$1\ 05\ 20.909 \pm 0.016$ (14 Sterne)
Sollwert	48 13 54. 64	1 05 20. 936

Im Mittel ist also eine Korrektur von $+ 0.035$ an die gemessene Länge anzubringen, die Breite stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit dem Sollwert überein. Die Universitätssternwarte eignet sich als Referenzstation besonders auch deshalb, weil hier die zur Reduktion der Uhrvergleiche benützten Zeitkorrekturen UT 1 - SAT [11] abgeleitet werden. Solche Messungen wurden übrigens gerade am 10. 2. durchgeführt, weshalb die an diesem Abend ermittelte Länge sicher frei von der Wirkung eventueller Refraktionsstörungen ist.

In Übereinstimmung mit [2] erwies sich, daß auch die Sternhelligkeit die persönlichen Fehler beeinflusst. Sterne schwächer als 5.5 wurden im Durchschnitt um 0.037 zu spät gemessen, obwohl die Beobachtung bis zu 6.5 leicht möglich ist. Bei Sternen heller als 2.5 treten gleichfalls Verzögerungen (ca. 0.01 – 0.02) auf, außerdem werden die Messungen deutlich unsicherer. Die besten Ergebnisse stellten sich bei Sternen 4. Größe ein.

Beobachtungen in der Dämmerung zeigen weitere systematische Fehler in Richtung positiver Verzögerungen; an 3 Abenden durchgeführte halbstündige Messungen (in Tab. 2 nicht enthalten) ergaben um 0.02 – 0.06 kleinere Längen als die anschließenden Ortsbestimmungen bei Dunkelheit.

Interessanterweise hing die Genauigkeit der Stoppungen kaum davon ab, ob die elektronische oder mechanische Stoppuhr verwendet wurde. Bei ersterer ergaben sich aus durchschnittlich 14 Fadenantritten mittlere Fehler von ± 0.026 , bei letzterer aus 10 Fäden ± 0.034 . Auch ein Bandchronograph, mit dem an einem Abend versuchsweise gemessen wurde, hebt sich mit ± 0.020 aus 18 Fäden nicht davon ab und rechtfertigt keineswegs den wesentlich erhöhten Aufwand, vor allem wenn man an Stationen im Gebirge denkt.

6. Einfluß der Temperatur

Während der Beobachtungszeit bleibt die Höhe der Ziellinie nicht konstant. Einerseits ändert sich die Refraktion infolge von Temperatur- und Druckschwankungen, andererseits wird der Kompensator des Nivelliers von der Temperatur stark beeinflusst. Abb. 3 stellt die Abhängigkeit der Beobachtungshöhe von der herrschenden Lufttemperatur dar, wie sie aus dem vorhandenen Material abgeleitet worden ist. Die ausgleichende Gerade zeigt einen Anstieg von 0.0052 pro $^{\circ}\text{C}$. Bringt man den Anteil der Refraktion von 0.0012 in Abzug (die Reduktion auf gleichen Luftdruck wurde schon vorher angebracht), bleibt ein gerätbedingter Anstieg von 0.004 pro Grad übrig, der mit den in [9] abgeleiteten Werten übereinstimmt.

Bei längeren Beobachtungszeiten bzw. Temperaturänderungen größer als $1-2^{\circ}$ sollen die Messungen daher entweder in mehreren Gruppen ausgewertet oder die Temperaturen im Ausgleichsprogramm berücksichtigt werden. Bei den in Tabelle 2 angeführten zweifachen Ortsbestimmungen desselben Abends ergaben sich durch die nächtliche Abkühlung immerhin durchschnittliche Höhenabnahmen von 0.005 .

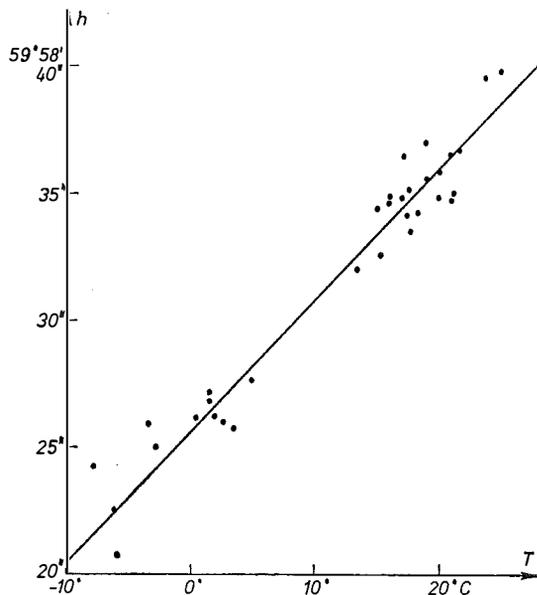


Abb. 3

Zusammenhang zwischen Beobachtungshöhe und Umgebungstemperatur

Weil für den Kompensator die Temperatur im Inneren des Geräts und nicht die der Außenluft ausschlaggebend ist, muß in der kalten Jahreszeit trotz prinzipiell rascher Meßbereitschaft auf ausreichende Akklimatisierung des Instruments (15–20 Minuten) geachtet werden. Großen Zeitverlust bedeutet das nicht, weil indessen der erste Zeitvergleich durchgeführt werden kann.

7. Messungen mit Sekundentheodolit

Wie eingangs angedeutet, können auch Theodolite mit automatischem Höhenindex vorteilhaft zur Ortsbestimmung nach der Methode der gleichen Höhen herangezogen werden. Bei ersten Versuchsmessungen wurde ein DKM 2 - A verwendet; das Mikrometer wurde auf Null belassen und nach Einstellen des Sternazimuts die Zenitdistanz mit dem Höhentrieb auf 30^0 eingespielt. Die Ergebnisse sind ermutigend, obwohl naturgemäß die Genauigkeiten des Prismenastrolabs nicht erreicht werden; nach Abschluß der Messungen ist darüber eine gesonderte Veröffentlichung geplant. Jedenfalls scheinen im Gegensatz zur in [12] geäußerten Ansicht genaue Zeitbestimmungen auch mit Sekundentheodoliten möglich zu sein.

8. Schlußbetrachtungen

Wie aus den Ergebnissen des Abschnittes 4 ersichtlich ist, können bei Verwendung der Ni-2-Astrolabausrüstung nach einstündiger Meßzeit innere Genauigkeiten der Breiten- und Längenbestimmung von $0.''2$ bzw. $0.''02$ erwartet werden. Einschließlich vorbereitender Arbeiten und zweier Uhrvergleiche beträgt der Zeitaufwand ungefähr $1\frac{1}{2}$ Stunden, was unter günstigen Umständen die Messung an mehreren Stationen in derselben Nacht ermöglicht.

Das Instrument ist leicht, rasch meßbereit und auch bei Wind am Stativ einsetzbar; aufwendige Zeitanlagen sind nicht erforderlich. Die Genauigkeit reicht an die wesentlich größerer Geräte heran. Somit erscheint die Ausrüstung für die Bestimmung von Lotabweichungen auf Feldstationen und vor allem im Gebirge gut geeignet.

Die Längenbestimmung besitzt außerdem vor der Azimutmessung die Vorteile geringeren Personalbedarfs sowie der Unabhängigkeit gegenüber horizontalen Sichthindernissen und Übertragungsfehlern geodätischer Koordinaten. Ihr Nachteil besteht in größeren persönlichen Fehlern, die sich aber durch einige Ortsbestimmungen an Referenzstationen genügend genau ableiten lassen.

Literatur:

[1] Buchar, Emil|Ledersteger, Karl: Das Zirkumzenital und die astronomische Ortsbestimmung aus gleichen Sternhöhen. Nachr. Reichsverm. Dienst 24/25, Berlin 1943.

[2] Steinert, K.-G.: Die persönlichen Fehler bei Zeitbestimmungen mit dem Passageinstrument. Autorenreferat, Vermessungstechnik, 9 (1961), Heft 9, S. 280–282.

[3] N. N.: Ni 2-Astrolabium, Gebrauchs- und Justieranleitung. Fa. Carl Zeiß, Oberkochen 1968.

[4] Mueller, Ivan, I.: Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy. New York 1969.

[5] Buchar, Emil|Holub, Stanislav|Kabeláč, Josef: Measurements of the Geographical Position of the Observatory of Astronomy and Geophysics . . . Geofysikální Sborník XVII, Prag 1969.

[6] Ramsayer, Karl: Jordan|Eggert|Kneißl, Handbuch der Vermessungskunde, 10. Auflage, Bd. IIa: Geodätische Astronomie. Stuttgart 1970.

[7] *Rödde, Adolf*: Simultanbestimmung der Lotabweichungskomponenten ξ und η mit dem Prismenastrolabium. DGK, Reihe B, Heft 154, Frankfurt 1971.

[8] *Bretterbauer, Kurt*: Auswertung von Astrolabbeobachtungen. Programm für Bürocomputer Philips P 352, Wien 1972.

[9] *Brosin, Kristiane*: Temperatureinfluß auf Kompensator-Nivellierinstrumente und seine Auswirkungen im Nivellement. Geod. Geoph. Veröff., Reihe III, Heft 24, Berlin 1972.

[10] *Heitz, Siegfried|Walter, Helmut*: Ein Verfahren zur automatischen Auswertung von Sterndurchgangsbeobachtungen mit dem Circumzenital VÚGTK - ČSSR. DGK, Reihe B, Heft 196, Frankfurt 1973.

[11] *Jackson, Paul*: Zeitkorrekturen UT 1 - SAT, abgeleitet aus Beobachtungen mit dem Passageinstrument Askania Ap 70 (persönliche Mitteilungen).

[12] *Rüeger, J. M.*: Astronomische Messungen mit dem DKM 2 - A zur Breitenbestimmung. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, Fachblatt, 71 (1973), Nr. 2, S. 35–38.

Polygonzüge mit Zwischenorientierungen

Von *Josef Zeger*, Wien

Die polygonometrische Punktbestimmung greift vor allem durch den steigenden Einsatz moderner elektronischer Streckenmeßgeräte immer mehr um sich. Diese besonders rationelle Arbeitsmethode hat allerdings ihre Schwächen nicht verloren, denn nach wie vor ist durch die zu geringe Anzahl von Überbestimmungen in einem Polygonzug die Lageunsicherheit der Polygonpunkte in Zugsmitte relativ groß.

Von dem Zeitpunkt an, als Polygonzüge zur Bestimmung von Festpunkten herangezogen wurden — anfänglich erfolgte die Streckenmessung mit dem Stahlmeßband und mit der Basislatte und erst seit 1962 mit elektronischen Streckenmeßgeräten —, war man in der Triangulierungsabteilung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien bestrebt, von den einzelnen Polygonpunkten aus, durch die zusätzliche Messung von Zwischenorientierungen nach Fernzielen, die Zugsorientierung nach Möglichkeit zu verbessern. In der Feldarbeitsperiode 1951 hat der damalige Vorstand der Triangulierungsabteilung, W. Hofrat *J. Eberwein*, versucht, die Zugsorientierung durch die Einbeziehung einer Sonnenorientierung auf mehreren Polygonpunkten zu verbessern, wenn die Messung von Zwischenorientierungen nach Fernzielen nicht möglich war, wie z. B. in ausgedehnten Waldgebieten. Die Ergebnisse dieses Versuches waren eigentlich zufriedenstellend, aber trotzdem hat sich diese Methode nicht durchgesetzt, da man hierfür einen speziell ausgestatteten Theodolit benötigte. Man blieb nach wie vor dabei, die Zugsorientierung durch Zwischenorientierungsrichtungen zu verbessern.

Das Problem besteht nun darin, die Zwischenorientierungen in entsprechender Form in die Berechnung des Polygonzuges einzubeziehen. Eine strenge Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen war anfänglich wegen des großen Berechnungsaufwandes praktisch nicht durchführbar, da damals noch keine elektronischen Datenverarbeitungsanlagen zur Verfügung standen. Eine strenge Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen ergab bei einer größeren Anzahl von Zwischenorientierungen gleichfalls eine sehr umfangreiche Berechnungsarbeit. So wurde im Laufe der