

CZ0-VG 737

ZEISS

Ni²
 **Astrolabium**

Gebrauchs- und Justieranleitung



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Abbildung und Beschreibung des Ni 2-Astrolabiums	3
2 Aufstellung	5
3 Justierung der Libelle des Astrolabiums	6
4 Kurzanleitung	7
41 Vorbereitung der Messung	7
42 Messung	8
43 Auswertung der Messung	8
5 Ausführliche Beschreibung der Arbeitsgänge	10
51 Vorbereitung der Messung	10
511 Aufstellung eines Beobachtungsprogrammes	12
512 Azimutbestimmung	17
52 Ausführung von Messungen	19
53 Auswertung	20
54 Ausgleichung	28
6 Zusammenstellung der Bezeichnungen	31
7 Zusammenstellung der notwendigen Hilfsmittel	32
8 Beispiel	33

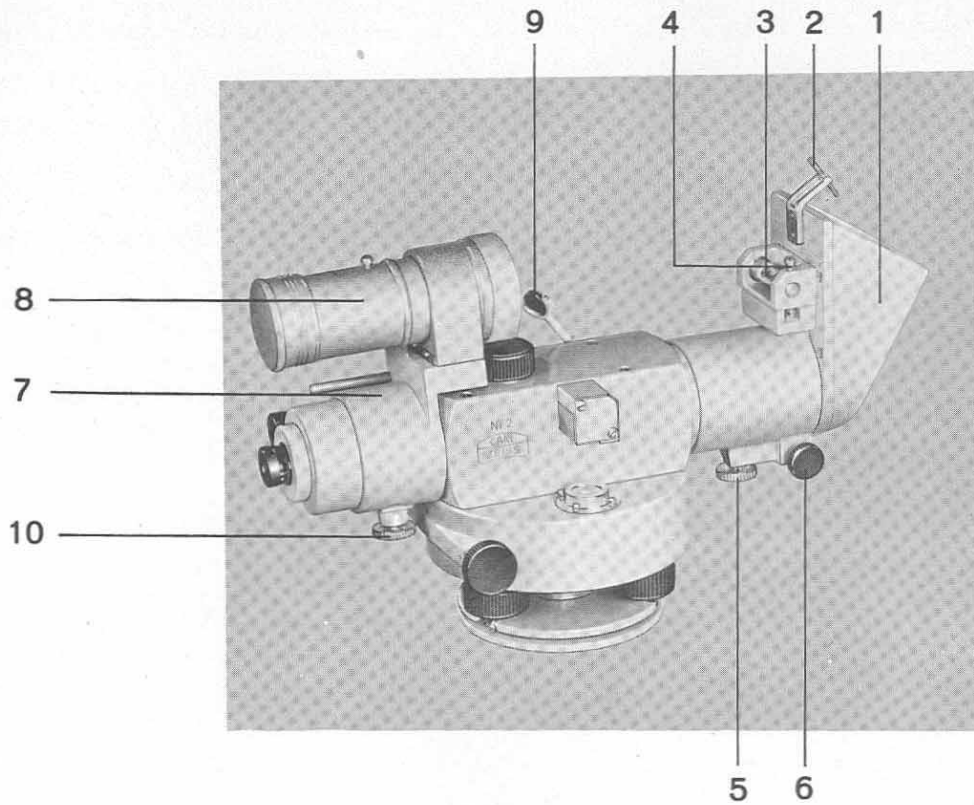


Bild 1: Ni 2 Astrolabium

- 1 Prisma mit Fassung
- 2 Spiegel für die Beleuchtung des Strichkreuzes
- 3 Libelle des Astrolabiums
- 4 Justierschraube der Libelle
- 5 Klemmschraube für den Astrolabium-Vorsatz
- 6 Feinbewegung für die Einstellung der Libelle
- 7 Haltering für die Beleuchtungseinrichtung
- 8 Stablampe
- 9 Spiegel für die Beleuchtung des Horizontalkreises (Azimut)
- 10 Klemmschraube für die Befestigung der Beleuchtungseinrichtung

Das Nivellierinstrument Ni 2 wird durch Vorsetzen eines Prismas zu einem Astrolabium. Das Prisma lenkt die Ziellinie um einen konstanten Betrag von etwa 60° aus der Horizontalen ab. Der Winkel, den die Ziellinie nach der Ablenkung mit der Horizontalebene bildet, wird durch den Kompensator auf Bruchteile von Sekunden genau konstant gehalten.

Der Betrag der Ablenkung durch das Prisma ($60^\circ + 1'$) braucht nicht genau bekannt zu sein; das Meßverfahren ist so eingerichtet, daß er aus den Messungen selbst genau bestimmt wird.

Damit die Ziellinie auch nach der Ablenkung ausreichend genau in einer Vertikalebene verläuft, muß man vor Beginn jeder Messung die Röhrenlibelle an dem Prisma zum Einspielen bringen.

Für die Messungen mit dem Astrolabiumzusatz erhält das Ni 2 eine Sonderstrichplatte (Bild 2). Die eine Seite trägt die normale Strichfigur und dient weiterhin zum Nivellieren. Die "astronomische" Seite hat 10 Doppelstriche, damit eine möglichst große Genauigkeit erreicht werden kann.

Der Beobachter hat die Aufgabe, die Zeitpunkte der Durchgänge des Sterns durch die Fäden möglichst genau zu bestimmen. Man kann nun entweder die Durchgänge durch die Mitte der Doppelstriche beobachten, oder jeweils nur die oberen oder nur die unteren Komponenten der Doppelstriche verwenden. Jeder Beobachter wählt die Art der Beobachtung, die ihm am vorteilhaftesten erscheint.

Die Abstände der Mitten der Doppelstriche von der Mitte der Strichfigur sind in Bild 2 angeschrieben.

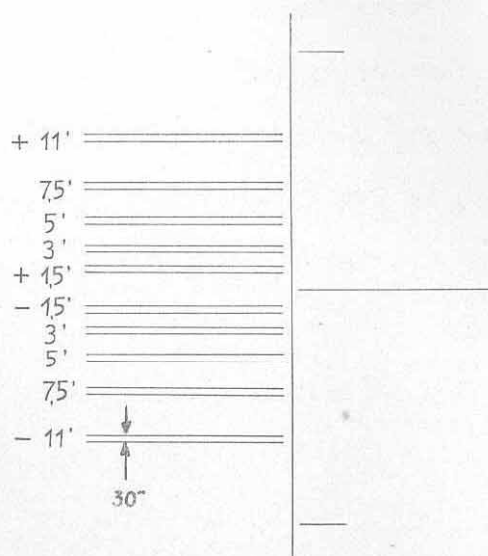


Bild 2: Strichkreuz des Astrolabiums

2 Aufstellen

- 21 Instrument wie gewöhnlich auf dem Stativ aufstellen. Auf bequeme Höhe besonders achten.
- 22 Dosenlibelle des Ni 2 genau zentrieren.
- 23 Fernrohrstrichkreuz scharf stellen.
- 24 Spiegel 9 auf günstigste Helligkeit des Horizontalkreisbildes einstellen (möglichst dunkel, um die Dunkeladaptation des Auges nicht zu stören).
- 25 Horizontalkreis nach Norden orientieren. (512)
- 26 Fokussierung des Fernrohres auf unendlich stellen.
- 27 Röhrenlibelle des Astrolabiumprismas durch seitliches Kippen des ganzen Prismas ungefähr einspielen lassen, Schraube 5 anziehen, Röhrenlibelle dann mit Hilfe der Feinstellschraube 6 genau einspielen lassen.
- 28 Mit Spiegel 2 das Gesichtsfeld so weit aufhellen, daß das Strichkreuz gut sichtbar wird. Die Aufhellung darf jedoch nicht zu stark sein, damit man bei der Messung die Sterne noch erkennen kann.

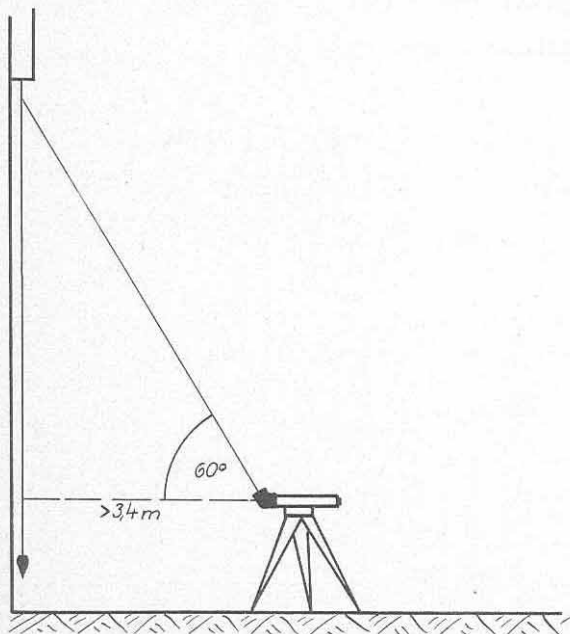
3 Justierung

Die Justierung der Astrolabiumlibelle 4 kann durch Anzielen eines entsprechend hoch aufgehängten Lotes geschehen (bei einer Instrumentenhöhe von 1,5 m muß das Lot etwa 7,5 m hoch hängen).

31 Instrument ohne Vorsatz etwa 3,4 m von dem Lot entfernt aufstellen und Dosenlibelle einspielen lassen.

32 Lot anzielen, Hz-Kreis ablesen oder auf 0 stellen. Jetzt bis zum Schluß Fußschrauben und Kreisorientierung nicht mehr berühren.

33 Prisma aufsetzen, die in 32 erhaltene Kreisablesung durch Drehen des Fernrohres wieder einstellen und Röhrenlibelle des Prismas einspielen lassen. Bei justierter Libelle müßte jetzt der obere Teil der Lotschnur im Fadenkreuz stehen. Ist das nicht der Fall, wird mit Hilfe der Feinbewegung 6 das Lot angezielt und dann der entstandene Ausschlag der Libelle an der Justierschraube 4 beseitigt.



34 Zur Kontrolle Prismenvorsatz wieder abnehmen und prüfen, ob das untere Ende des Lotes noch im Strichkreuz steht, wenn die in 32 festgestellte Kreisablesung erneut eingestellt ist.

35 Die Ablesung am Horizontalkreis jeweils nach Anzielen der Lotschnur darf mit und ohne Prisma um höchstens 5' verschieden sein.

36 Ni 2 in gewohnter Weise justieren.

Bild 3: Aufstellung bei der Justierung

4 Kurzanleitung für den Arbeitsgang

Dazu auch Formulare mit weiteren Hinweisen. Eingeclammerte Zahlen weisen auf den Abschnitt der genauen Beschreibung hin.

41 Vorbereitung der Messung (51)

Die zur Messung geeigneten Sterne, sowie die zu ihrer Auffindung nötigen Daten können entweder in einem besonderen Verzeichnis der Sterne gefunden oder aber mit Hilfe des zum Ni 2-Astrolabium lieferbaren Sternwählers oder anderer Einrichtungen bestimmt werden. Im folgenden ist die Handhabung des Sternwählers beschrieben.

Im Sternwähler:

411 Mit Hilfe des Diagramms im Deckel des Sternwählers wird der Beobachtungskreis auf dem Deckblatt aufgezeichnet. Marken zur Kennzeichnung der Azimute auf dem Beobachtungskreis eintragen. (5111)

412 Marke für die Bestimmung der Sterndurchgänge in Zonenzeit aufzeichnen. (5112)

413 Aus dem Sternwähler die zur Beobachtung geeigneten Sterne aussuchen, je nach der gewünschten Genauigkeit 3 bis 8 Sternpaare (51). Deklination und Azimut auf 1° , Rektaszension und Beobachtungszeit auf 1^{min} genau, sowie die Größe nach den Angaben im Sternwähler notieren, Richtung des Sterndurchganges aufzeichnen. (5113)

Aus dem astronomischen Jahrbuch:

414 Mit Hilfe der in 413 gewonnenen Daten die Sterne im Jahrbuch aufsuchen und von dort Deklination auf Winkelminuten, Rektaszension auf Zeitminuten und Nummer des Sternes übernehmen.

Berechnungen:

415 Stundenwinkel t_A , t_E und Azimut a_A berechnen aus

$$\cos t_A = \frac{\sin h_A - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

$$\cos a_A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin h_A}{\cos \varphi \cdot \cos h_A}$$

Die Rechnung kann 3- oder 4-stellig mit Logarithmen oder Maschine oder auch mit dem Rechenschieber ausgeführt werden. In den Formeln sind die Höhen h_A und h_E vorgegeben (Durchgang des Sternes durch den ersten und den letzten Doppelfaden: Anfang der Beobachtung und Ende der Beobachtung). a_A ist vom Sternwähler her schon genähert bekannt, so daß bekannt ist, ob a_A größer oder kleiner als 180° ist.

Östlich des Meridians ist a kleiner als 180° , t größer als 180° (negativ), westlich des Meridians ist a größer als 180° , t kleiner als 180° (positiv) (5114).

- 416 t_A und t_E in Stundenmaß umrechnen und dann die Sternzeiten γ_A und γ_E berechnen aus

$$\gamma_A = t_A + \alpha$$

$$\gamma_E = t_E + \alpha$$

- 417 Sternzeit für einen Zeitpunkt kurz vor dem voraussichtlichen Beginn der Messungen berechnen (zur späteren Einstellung der Sternzeituhr). (5115)

42 Messungen (52)

- 421 Luftdruck auf ± 7 mm Quecksilber (Torr) $\approx \pm 10$ Millibar zu Beginn der Messungen und Temperatur auf $\pm 3^\circ$ C ($\pm 5^\circ$ F) im Laufe der Messungen mehrmals bestimmen. Bei besonders genauen Messungen (51) beachten.

- 422 Vor der Beobachtung jedes Sterns beide Libellen neu einstellen. Bei besonders genauen Messungen (51) beachten.

- 423 Bestimmung der Uhrverbesserung der Stoppuhr vor und nach Durchgang jedes Sterns, mindestens jedes Paares.

43 Auswertung der Messungen

- 431 Im Formular die Höhendifferenz Δh berechnen (531 oder 532).

- 432 Bestimmung des Standpunktes entweder graphisch, halbgraphisch oder rechnerisch (541, 542, 543).

4321 Zur graphischen Ausgleichung: Standlinien in winkeltreues Kartennetz einzeichnen. Ein rechtwinkliges Netz ist als winkeltreu anzusehen, wenn der Maßstab für die geographische Breite $1/M$, für die geographische Länge $\frac{1}{M} \cdot \cos \varphi$ ist. Δh im Maßstab der geographischen Breite auftragen (541).

4322 Zur rechnerischen Ausgleichung: Standlinien in Hessescher Normalform im Koordinatensystem nach 4321 ausdrücken. Die Fehlergleichungen lauten dann:

$$v_i = x \cos a_i + y \sin a_i - \Delta h_i$$

x und y sind hierin die Abstände des ausgeglichenen Ortes von dem geschätzten Standort (543).

Endergebnis: $\Delta \varphi = x$

$$\Delta \lambda = y / \cos \varphi$$

5 Ausführliche Beschreibung der Arbeitsgänge.

51 Vorbereitung der Messung

Messungen mit dem Astrolabium können zwei verschiedene Ziele haben, nämlich

Ortsbestimmung bei bekannter Zeit

Zeitbestimmung bei bekanntem Ort.

Vorbereitung, Messung und Auswertung sind in beiden Fällen genau gleich, nur die Deutung der Ergebnisse ist verschieden.

Dagegen muß vor Beginn der Messungen klar sein, ob das End-
ergebnis

um $\pm 1''$ oder mehr

unsicher sein darf, oder ob

größtmögliche Genauigkeit

angestrebt wird (Streuung bis herab zu $\pm 0,2''$).

Im ersten Fall ($\sigma \geq \pm 1''$) genügen 3 Sternpaare und jeder Stern muß nur an mindestens 2 Strichen beobachtet werden. Zur Sicherung gegen grobe Fehler ist es ratsam, an 4 Strichen zu beobachten. Für die Berücksichtigung der Refraktion genügt Kenntnis des Luftdrucks auf ± 7 mm Quecksilber $\approx \pm 10$ Millibar $\approx \pm 1/8$ inch of mercury und der Temperatur auf $\pm 3^\circ\text{C} \approx \pm 5^\circ\text{F}$.

Im zweiten Fall (größtmögliche Genauigkeit) müssen mindestens 8 Sternpaare und jeder Stern an 10 Strichen beobachtet werden. Das sind also mindestens 160 Sterndurchgänge. Die Genauigkeit kann zwar durch weitere Messungen noch gesteigert werden, doch steht der Erfolg nicht mehr in einem brauchbaren Verhältnis zum Aufwand. Andererseits sollte aber auch die Zahl 160 nicht um mehr als etwa 10 % unterschritten werden. Wenn also bei den vorgesehenen 8 Paaren durchschnittlich mehr als 1 Strich je Stern ausfällt, sollten weitere Paare beobachtet werden.

Trotz der angestrebten hohen Genauigkeit genügt es, wenn Luftdruck und Temperatur auf ± 7 mm Quecksilber $\approx \pm 10$ Millibar $\approx \pm 1/8$ inch of mercury bzw. $\pm 3^\circ\text{C} \approx 5^\circ\text{F}$ bekannt sind. Die Berücksichtigung von

Luftdruck und Temperatur dient nämlich nur dazu, den Näherungswert für den Höhenwinkel des Zielstrahls an die augenblicklichen Verhältnisse anzupassen. Die genaue Berücksichtigung der Refraktion erfolgt durch die Beobachtung von Sternpaaren ganz von selbst.

Voraussetzung ist weiter, daß bei Ortsbestimmung die Zeit, bei Zeitbestimmung der Ort mit einer der angestrebten Genauigkeit entsprechenden Sicherheit bekannt ist. Strebt man größtmögliche Genauigkeit an, so muß also die Zeit auf etwa $\pm 0,01^s$ genau bekannt sein. Der einfachste Weg, um das zu erreichen, ist eine Zeitbestimmung mit dem Astrolabium bei bekanntem Ort, weil man dann denjenigen Stand der Uhr bekommt, den der Beobachter bei dem angewandten Verfahren tatsächlich verwendet. Verwendet man Zeitzeichen, so ist nur bei automatischem Uhrvergleich mit Chronographen gewährleistet, daß keine merklichen systematischen Fehler unterlaufen. Der persönliche systematische Fehler des Beobachters ist bei der hier vorausgesetzten Beobachtungsmethode mit der Stoppuhr fast vollständig ausgeschaltet.

Wenn größtmögliche Genauigkeit erreicht werden soll, muß auch der Kompensationsfehler des Ni 2 durch die Meßmethode unwirksam gemacht werden. Das geschieht dadurch, daß vor der Beobachtung jedes Sterns die Dosenlibelle des Ni 2 und die Röhrenlibelle am Prismenvorsatz neu eingestellt wird.

Eine weitere Voraussetzung für Messungen mit dem Astrolabium ist eine genäherte Kenntnis der Unbekannten (Zeit oder Ort). Der genäherte Ort kann oft in einer Landkarte bestimmt werden. Wenn das nicht möglich ist oder die Zeit unbekannt ist, führt eines der in der Nautik üblichen Verfahren zum Ziel. Der Näherungswert sollte auf etwa $2'$ (10^5) genau sein. Man kann aber bei $10'$ Fehler noch messen und die erste Auswertung der Messung zur Verbesserung des Näherungswertes verwenden.

Die Sternörter und sonstigen astronomischen Daten können aus einem beliebigen astronomischen Jahrbuch übernommen werden. Der Entwurf eines Rechenformulars und das Beispiel sehen die Verwendung von "Apparent Places of Fundamental Stars" (Astronomisches Recheninstitut, Heidelberg, erscheint jährlich) vor. Der Gang der Rechnung ist aber bei anderen Jahrbüchern nicht wesentlich anders.

511 Aufstellen eines Programmes.

Da es nicht möglich ist, mit dem Astrolabium einen im Sternbild identifizierten Stern anzuzielen oder einen zufällig im Gesichtsfeld erscheinenden Stern am Himmel zu identifizieren, müssen Azimut und Zeit der Beobachtung vorausberechnet werden. Zuerst muß man aber die Sterne aussuchen, die um die vorgesehene Zeit überhaupt für die Messung geeignet sind. Dies kann anhand eines Verzeichnisses geschehen, das entweder für beliebige Standorte auf der ganzen Erde oder in einem bestimmten Gebiet Azimut und Orts-Sternzeit aller Sterne im Augenblick des Durchgangs durch 60° Höhe enthält. Man kann aber auch Sternkarten oder graphische Darstellungen verwenden. Auf Wunsch wird zu dem Ni 2-Astrolabium ein Sternwähler geliefert, dessen Handhabung im folgenden beschrieben wird. Für den Gebrauch anderer Hilfsmittel sind die speziellen Anleitungen für diese maßgebend.

5111 Auf dem Deckblatt des Sternwählers den Beobachtungsort und den Beobachtungskreis für 60° Höhe zeichnen. Dazu auf dem Deckblatt einen Meridian (beliebige Gerade durch den Mittelpunkt der Sternscheibe) ziehen; den Beobachtungsort auf diesem Meridian mit Hilfe der Teilung für die Deklination der Sterne markieren (geographische Breite gleich Deklination).

30° nördlich und 30° südlich dieses Punktes geht der Beobachtungskreis durch den Meridian, damit sind zwei Punkte des Kreises auf einem Durchmesser gegeben. (Vorsicht: Kreismittelpunkt ist nicht der Beobachtungsort.) Durch die Wahl der stereographischen Projektion für die Sternscheibe wird ein Kreis am Himmel auch auf der Sternscheibe ein Kreis.

Mit Hilfe des Diagrammes im Deckel des Sternwählers werden auf dem Kreis Marken für die Azimute aufgetragen. (Hierzu Deckblatt auf dieses Diagramm legen.)

5112 Auf dem Deckblatt wird nun eine Marke gezeichnet, an der man den Zeitpunkt der Beobachtung eines Sternes ablesen kann. Dazu wird zuerst der Nullstrich der Teilung am Rand der Karte auf den Ortsmeri-

dian gestellt. Dann wird im Abstand der geographischen Länge des Beobachtungsortes auf dem Deckblatt ein Hilfsstrich gezogen, der dem Meridian von Greenwich entspricht (G in Bild 4). Östliche Länge von Greenwich wird im Bezifferungssinn der Gradteilung am Rand der Sternscheibe eingezeichnet, westliche Länge im entgegengesetzten Sinne. Nun im astronomischen Jahrbuch die Sternzeit für 0 Uhr Weltzeit ¹⁾ aufsuchen.

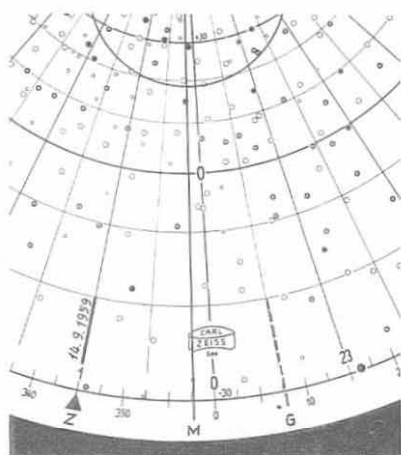
Wenn diese im Zeitmaß gegeben ist, dann diesen Wert der Stundenskala auf den Meridian von Greenwich stellen und dann auf dem Deckblatt die Marke so zeichnen, daß sie auf die Zonenzeit zeigt, die 0 Uhr Weltzeit entspricht (Bild 4).

Wenn die Sternzeit im Gradmaß gegeben ist, dann Null auf den Meridian von Greenwich stellen und bei dem gegebenen Stundenwinkel eine Hilfsmarke auf das Deckblatt zeichnen. Null auf diese Hilfsmarke stellen und dann die endgültige Marke so zeichnen, daß sie auf die örtliche Zonenzeit zeigt, die 0 Uhr Weltzeit entspricht.

Die so gezeichnete Marke zeigt für etwa einen Tag die Sterndurchgänge durch den Beobachtungskreis in örtlicher Zonenzeit an.

Durch Drehen der Sternscheibe entgegen dem Uhrzeigersinn wird die scheinbare Bewegung des Himmelsgewölbes nachgeahmt.

Bild 4




- Z Zonenzeit (hier Mitteleuropäische Zeit)
- M Ortsmeridian
- G Meridian von Greenwich

¹⁾ andere Bezeichnungen: scheinbare Sternzeit, Stundenwinkel des Frühlingspunktes. Weltzeit ist mittlere Sonnenzeit in Greenwich, sie wird meistens mit UT (Universal Time) abgekürzt.

5113 Auswahl der Sterne so, daß sie paarweise kurz hintereinander gemessen werden können. Das Azimut der Sterne eines Paares soll ungefähr um $180^\circ \pm 20^\circ$ verschieden sein. Zu einer Orts- oder Zeitbestimmung reichen je nach der gewünschten Genauigkeit 3 bis 8 Sternpaare aus (51).

Nach den Angaben im Sternwähler werden für jeden Stern notiert: Azimut und Deklination auf Winkelgrade, Rektaszension und Zeitpunkt des Sterndurchganges (in Zonenzeit) auf Zeitminuten genau und die Größe des Sternes.

Weiter ist aus dem Sternwähler zu ersehen, ob der Stern aufsteigt ($a < 180^\circ$) oder absteigt ($a > 180^\circ$) und unter welchem Winkel zum Horizontalfaden des Strickkreuzes er durch das Gesichtsfeld gehen wird. Zweckmäßig zeichnet man sich die Bewegungsrichtung des Sternes in das Beobachtungsformular ein, etwa so: 

In manchen Fällen werden die so aus dem Sternwähler gewonnenen Angaben schon für das Auffinden des Sternes ausreichen. Die Genauigkeit dieser Angaben hängt stark ab von der Genauigkeit, mit der man die genäherten Angaben des Standpunktes kennt und von der Genauigkeit der bisher beschriebenen Zeichenarbeiten. Da der Beobachtungskreis bei Messungen in mittleren Breiten verhältnismäßig groß wird, lassen sich dort die gesuchten Angaben mit dem Sternwähler ziemlich genau ermitteln; eine nähere Berechnung der Sterndaten wird dort meist entfallen können.

Sollen Azimut und Zeitpunkt des Sterndurchganges genauer bestimmt werden, so muß das mit folgender Rechnung geschehen:

5114 Man erhält Stundenwinkel t und Azimut a für den Anfang der Beobachtung aus:

$$\cos t_A = \frac{\sin h_A - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta} \quad \text{und}$$

$$\cos a_A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h_A}{\cos \varphi \cos h_A}$$

Rektaszension und Deklination werden hierzu aus dem Jahrbuch auf Zeit- bzw. Winkelminuten genau übernommen.

Der Index A bezeichnet Werte, die für den Beginn der Messung eines Sternes gelten, also für seinen Durchgang durch den ersten Doppelstrich. Je nachdem, ob nun der Stern aufsteigt oder absteigt, ist die Höhe $h_A = 59^{\circ}49'$ oder $h_A = 60^{\circ}11'$. Da es sich bei t_A und a_A sowieso nur um Näherungswerte handelt, werden immer diese beiden Werte für h_A eingesetzt, auch wenn nicht die Mitte der Doppelstriche oder nicht die äußersten Striche beobachtet werden.

Folgende Werte sind in diesen Gleichungen konstant:

	Stern steigt $h_A = 59^{\circ}49'$ $h_E = 60^{\circ}11'$	Stern fällt $h_A = 60^{\circ}11'$ $h_E = 59^{\circ}49'$
$\sin h_A$	0,8645	0,8676
$\log \sin h_A$	9.9367 - 10	9.9383 - 10
$\cos h_A$	0,5028	0,4972
$\log \cos h_A$	9.7014 - 10	9.6966 - 10
$\sin h_E$	0,8676	0,8645
$\log \sin h_E$	9.9383 - 10	9.9367 - 10
$\cos h_E$	0,4972	0,5028
$\log \cos h_E$	9.6966 - 10	9.7014 - 10

Für die Bestimmung des Quadranten von t gilt: wenn a kleiner als 180° , so ist t negativ (zwischen 180° und 360°). Die ungefähre Größe von a ist schon aus dem Sternwähler bekannt.

Um schon bei der Vorbereitung des Programmes die Möglichkeit auszuschließen, daß man sich zur Beobachtung zwei in zu kurzem zeitlichen Abstand im Fernrohr erscheinende Sterne aussucht, berechnet man sich zweckmäßig auch den Zeitpunkt des letzten Sterndurchganges. Hierzu bestimmt man zunächst

$$\cos t_E = \frac{\sin h_E - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

Der Index E bezieht sich auf Werte, die für das Ende der Beobachtung eines Sternes gelten.

Die Werte t_A und t_E werden in das Stundenmaß umgerechnet und dann aus den Gleichungen

$$\begin{aligned} \mathcal{J}_A &= t_A + \alpha & \text{und} \\ \mathcal{J}_E &= t_E + \alpha \end{aligned}$$

die Sternzeit für den ersten und letzten Durchgang des Sternes berechnet.

$$\begin{aligned} 1^h &= 15^\circ & 1^\circ &= 4^{\text{min}} \\ 1^m &= 15' & 1' &= 4^{\text{sec}} \\ 1^s &= 15'' & 1'' &= 0.067^{\text{sec}} \end{aligned}$$

Die Umwandlung der Sternzeiten in mittlere Sonnenzeit kann unterbleiben, wenn man neben der Hauptuhr bei der Messung noch eine zweite Uhr benutzt, die man auf die Sternzeit einstellt. Man kann hierzu jede einfache Uhr verwenden. Da die Sternzeit gegenüber mittl. Sonnenzeit in 24^h nur um $3^m 56^s$ vorgeht, kann die Differenz für die Beobachtungsperiode vernachlässigt werden (nur beim Aufsuchen der Sterne, nicht später bei der Auswertung).

5115 Für einen Zeitpunkt kurz vor dem voraussichtlichen Beginn der Messungen die Sternzeit berechnen und zu diesem Zeitpunkt die zweite Uhr auf Sternzeit einstellen. Für die Dauer der Beobachtung reicht dann die Genauigkeit dieser "Sternzeituhr" zum Auffinden der Sterne aus. Die Sternzeit ergibt sich aus:

$$\mathcal{J} = t_\gamma \text{ (0 Uhr)} + \Delta t + \lambda$$

Hierin sind

t_γ (0 Uhr) die Sternzeit für den Tag der Beobachtung um 0 Uhr UT (Aus Jahrbuch)

Δt die mit Hilfe einer Tabelle in Sternzeit umgerechnete Zeit, die von 0^h UT (nicht Zonenzeit) bis zum Beobachtungsbeginn verfließen ist; z. B. wenn um 19 Uhr mittlereuropäischer Zeit (MEZ) mit der Messung begonnen wird, so müssen zur Bestimmung von Δt 18^h in Sternzeit umgerechnet werden (MEZ - UT = 1^h).

λ die geographische Länge des Standpunktes im Stundenmaß, und zwar positiv bei östlicher Länge und negativ bei westlicher Länge.

512 Azimutbestimmung

Vor Beginn der Messung muß der Teilkreis orientiert werden, damit die errechneten Azimute eingestellt werden können. Dies kann entweder nach terrestrischen Zielen mit bekanntem Azimut und bekanntem Höhenwinkel oder über die Beobachtung der Sonne, des Mondes oder eines hellen Sternes in der Nähe des Horizontes geschehen. Den Himmelskörper oder das terrestrische Ziel zielt man durch seitliches Kippen des Prismas um die Fernrohrachse an. Auf diese Weise kann man Sterne natürlich nur dann erreichen, wenn ihre Höhe $h < 60^\circ$ ist. Bei der Kippung des Prismas entsteht das in Bild 5 dargestellte rechtwinklige Dreieck, in dem die Hypothenuse $AS = h$ durch den Ablenkungswinkel des Prismas (60°) und die Kathete BS bekannt sind bzw. berechnet werden können.

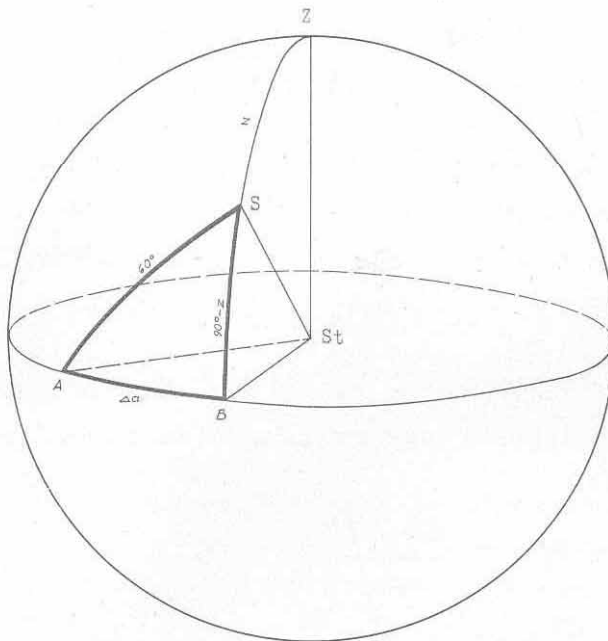


Bild 5

Z = Zenit

S = Stern

St = Standpunkt

5121 Zunächst muß der Ort des Sternes berechnet werden. Gesucht sind also seine Koordinaten im Horizontsystem, Azimut a und Höhe h . Aus dem Jahrbuch sind die Koordinaten des Sternes im Äquatorsystem bekannt, also Rektaszension α und Deklination δ . Die Berechnung von a und h wird an Hand folgender Formeln durchgeführt:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$
$$-\sin a = \frac{\cos \delta \sin t}{\cos h}$$

Darin sind: Stundenwinkel $t = \mathcal{J} - \alpha$

Sternzeit \mathcal{J} für den Zeitpunkt der Beobachtung
berechnet nach 5115

Es genügt, wenn diese Rechnung auf Minuten genau ausgeführt wird. Da durch diese Rechnung der Quadrant von a noch nicht bestimmt ist, wird aus der Formel

$$\cos a = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin h}{\cos \varphi \cos h}$$

nur noch das Vorzeichen des Cosinus ermittelt. Hierin sind aus der Berechnung von h schon die Werte für $\sin \delta$ und $\sin \varphi$ bekannt. Das Vorzeichen kann also sofort durch Vergleich des Wertes $\sin h \cdot \sin \varphi$ mit $\sin \delta$ bestimmt werden.

5122 Die Azimutdifferenz Δa , um die die Richtung der Fernrohrachse wegen der Kippung des Prismas noch verändert werden muß, ergibt sich aus

$$\cos \Delta a = \frac{\cos 60^\circ}{\cos h}$$

und unter Vernachlässigung der Refraktion,

$$\cos \Delta a = \frac{1}{2 \cos h}$$

Es ist zu beachten, in welcher Richtung die Verbesserung angebracht werden muß. Wurde bei der Zielung das Prisma nach rechts gekippt, so ist Δa von dem berechneten Azimut zu subtrahieren; wurde es nach links gekippt, so ist Δa zu addieren.

Es ist zweckmäßig, sich auf jedem Standpunkt sofort ein bestimmtes Azimut durch eine Zielmarke festzulegen, damit es jederzeit neu eingestellt werden kann. Als Zielmarke dient z.B. eine Taschenlampe oder ähnliches in mindestens etwa 15 m Entfernung. Beim Anzielen wird nicht auf die Marke fokussiert, sondern die Strichkreuzmitte auf die Mitte des Lichtkreises gestellt. Beim Anzielen der Hilfsmarke kann das Prisma gekippt werden, bei wiederholter Einstellung aber immer nach derselben Seite.

513 Die Verwendung eines Formulars für das Aufschreiben der Meßergebnisse gewährleistet, daß alle Messungen ausgeführt werden und keine vergessen wird. In dieses Formular können die Angaben aus dem Sternwähler und die Ergebnisse einer Vorausberechnung übernommen werden. Ein Entwurf für das Formular befindet sich in der Umschlagtasche dieses Heftes. Auch wenn keine Näherungsberechnung gemacht wird, müssen die Sternkoordinaten α und δ aus dem Sternwähler übernommen werden. Man braucht sie später zum Auffinden der Sterne im Jahrbuch, die dort nach ihrer Rektaszension geordnet aufgeführt sind. Von zwei sehr nahe benachbarten Sternen ist im Sternwähler nur der hellere eingezeichnet.

52 Ausführung von Messungen

521 Vor dem vorgesehenen Beginn der Beobachtungen die nach Ziffer 5115 berechnete Sternzeit auf der besonderen Uhr einstellen und die Uhr in Gang setzen.

522 Instrument aufstellen wie unter Ziffer 2 beschrieben.

5221 Kreis orientieren wie in 512 beschrieben.

523 Während der Messungsperiode muß mehrmals die Temperatur auf $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$) und einmal der Luftdruck auf ± 10 Millibar $\approx \pm 7$ mm Hg (Torr) genau gemessen werden.

524 Die Dosenlibelle des Ni 2 und die Röhrenlibelle am Prisma werden vor der Beobachtung jedes Sterns neu eingestellt.

525 Zu dem in der Vorausberechnung ermittelten Zeitpunkt wird das ebenfalls vorausberechnete Azimut eines Sternes eingestellt.

- 526 Zwischen den Messungen soll der Gang der Stoppuhr durch Vergleich mit der Hauptuhr immer wieder überprüft werden. Zu diesem Zweck beobachtet man den Sekundenzeiger der Hauptuhr, löst bei einer vollen Minute die Stoppuhr aus und bestimmt dann die Durchgänge des Sekundenzeigers der Hauptuhr zum Beispiel durch die Striche 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 54 und 0 mit dem Stoppuhrenhilfszeiger. Die Abweichung der Stoppuhr vom Nennwert wird jedesmal notiert. Zeigt die Stoppuhr nach dem Stoppen des Hilfszeigers beim Durchgang der Hauptuhr durch 6^s den Wert $6,2^s$, so wird $+0,2$ notiert. Zeigt sie nachher $11,8^s$ statt 12^s , so wird $-0,2$ notiert. Das arithmetische Mittel aller Ablesungen wird von der Uhrkorrektion der Hauptuhr abgezogen, um die für die Durchgänge der Sterne gültige Uhrkorrektion zu erhalten. Die Beobachtungen müssen gleichmäßig auf die volle Minute verteilt sein (zur Ausschaltung von Exzentrizitäten der Zeiger). Das Beispiel liefert 10 Werte, doch sind oft 6 oder 12 Werte leichter zu beobachten.
- 527 Bei stärkerem Temperaturrückgang während der Messungen kommt es vor, daß das Prisma oben beschlägt und die Sterne nicht mehr zu sehen sind. Es genügt, das Prisma mit einem Tuch abzuwischen

53 Auswertung

Die Auswertung der Messungen erfolgt am einfachsten nach dem Standlinienverfahren, weil ein Näherungswert für den Standort bzw. die Zeit schon bei der Vorbereitung der Messungen bestimmt worden ist.

Grundsätzlich können die Messungen zwei ganz verschiedene Ziele haben, nämlich

- a) Bestimmung des Standortes bei genau bekannter Zeit,
- b) Bestimmung der Zeit bei genau bekanntem Ort.

Die Berechnung erfolgt in beiden Fällen gleich, und zwar so, als ob immer Ort und Zeit genau bekannt wären. Erst ganz zuletzt erhält man auf zeichnerischem Wege im Fall a) Verbesserungen für die genäherten Werte von geographischer Breite und Länge des Standortes. Im Fall b) erhält man zwar entsprechende Werte, weiß aber, daß die "Verbesserung" der geographischen Breite nur auf der Unsicherheit der Messung beruht und die Verbesserung in geographischer Länge als Standkorrektion der Uhr gedeutet werden muß. Als dritte Unbekannte erhält man die Verbesserung für die Beobachtungshöhe, von der zu Beginn der Messungen nur

ein Näherungswert und die Tatsache bekannt sind, daß sie auf Grund der Eigenschaften des Instrumentes bei allen Sternen gleich ist.

Mit den "bekannten" Größen Zeit und Ort wird die Höhe des Sternes berechnet, die dieser hätte haben müssen, wenn die Ausgangsgrößen richtig wären. Aus der Differenz zwischen der berechneten Höhe und dem Näherungswert der wirklichen Beobachtungshöhe werden dann durch ein zeichnerisches Verfahren die drei Unbekannten bestimmt. Anstelle der Zeichnung kann auch eine entsprechende Rechnung ausgeführt werden.

Die einfache Berechnung nach 531 genügt, wenn das Ergebnis um $\pm 1''$ oder mehr unsicher sein darf, sonst muß - wesentlich umständlicher - nach 532 gerechnet werden.

531 Einfache Berechnung, wenn das Endergebnis um $\pm 1''$ oder mehr unsicher sein darf.

5311 Berechnungen im Beobachtungsprotokoll.

a) Für jeden einzelnen Stern wird das arithmetische Mittel u_1 aus allen Durchgangszeitpunkten z gebildet (auf volle $0,01^s$ abgerundet). Außerdem werden die Differenzen

$$b = u - u_1$$

berechnet. Die Sekunden der Differenzen b werden als dezimale Bruchteile der Minuten auf volle $0,1^m$ abgerundet angeschrieben. (Probe: $\sum b = 0$) Dann wird berechnet

$$c = \frac{\sum b^2}{n}$$

Darin ist $\sum b^2$ die Summe aller Werte b^2 und n die Anzahl der Differenzen b .

b) Das arithmetische Mittel Δu_2 aller vor dem Sterndurchgang gemessenen Differenzen zwischen Hauptuhr und Stoppuhr sowie das Mittel Δu_3 der Differenzen nach dem Sterndurchgang werden berechnet. Das Vorzeichen ist in 526 definiert.

Wenn die beiden Mittelwerte nicht gleich sind, wird der für den Zeitpunkt u_1 gültige Wert Δu_1 interpoliert unter der Voraussetzung, daß der Gang der Stoppuhr von Δu_2 bis Δu_3 unverändert

geblieben ist.

Nun ist

$$u_0 = u_1 - \Delta u_1$$

- c) Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit (Sternzeit siehe d). Durch Vergleich mit Zeitzeichen oder aus einer Zeitbestimmung mit dem Astrolabium bei bekanntem Ort ist die Standkorrektur Δu_0 der Hauptuhr in bezug auf Weltzeit (mittlere Sonnenzeit in Greenwich) bekannt. Somit ist zu berechnen

$$u = u_0 + \Delta u_0$$

Dies ist der endgültige Durchgangszeitpunkt des Sterns in Weltzeit. Im Fall der Zeitbestimmung ist Δu_0 ein Näherungswert.

- d) die Hauptuhr zeigt mittlere Sternzeit (Sonnenzeit siehe c).

Durch Vergleich mit Zeitzeichen oder aus einer Zeitbestimmung mit dem Astrolabium bei bekanntem Ort ist die Standkorrektur Δu_0 der Hauptuhr in bezug auf mittlere Greenwicher Sternzeit bekannt.

Somit ist

$$u = u_0 + \Delta u_0$$

der Durchgangszeitpunkt des Sterns in mittlerer Greenwicher Sternzeit. Diese wird durch Addition der Zuschläge für langperiodische und kurzperiodische Nutation in scheinbare Sternzeit verwandelt. Die Zuschläge sind in den Jahrbüchern angegeben; in "Apparent Places of Fundamental Stars" in Table II. Ist Δu_4 die Summe der Zuschläge, so wird schließlich

$$t_\gamma = u + \Delta u_4$$

Dies ist der endgültige Stundenwinkel des Frühlingspunktes in Greenwich im Augenblick des Sterndurchganges. Im Fall der Zeitbestimmung ist Δu_0 ein Näherungswert.

5312 Berechnungen im Rechenformular.

Bekannte Werte einsetzen.

- a) Geographische Breite φ und Länge λ sind bei Ortsbestimmung Näherungswerte, bei Zeitbestimmung genau bekannt. λ in Zeitmaß umrechnen (auf volle 0,1" bzw. 0,01^s abgerundet).

- b) Beobachtungshöhe h_0 . Bei der ersten Messung mit einem neuen Prisma wird angenommen, daß das Prisma um $60^{\circ}00'00,0''$ ablenkt und die Refraktion den Normalwert für $0^{\circ}C$, 760 mm Quecksilbersäule und 60° Höhe mit $34,7''$ hat. Dann ist $h_0 = 59^{\circ}59'25,3''$. Besser ist ein auf Grund früherer Messungen korrigierter Wert.

Aus dem Beobachtungsprotokoll übernehmen:

- c) Jahr, Monat und Tag der Messung.
- d) Nummer, Name und Größe des Sterns.
- e) Nach 5311c berechneten Wert u in die Zeile " $u = \dots$ "
oder den nach 5311d berechneten Wert t_{γ} in die Zeile " $t_{\gamma} =$ "
- f) Nach 5311a berechneten Wert C .
- g) Luftdruck b und Temperatur g , wobei nach Schätzung der bei der Beobachtung dieses Sterns gültige Wert interpoliert wird. Für die Sterne desselben Paares müssen aber immer gleiche Werte von Luftdruck und Temperatur verwendet werden.
- 5312 h) In die Zeile " ± 15 " wird $+ 15$, Null oder $- 15$ eingesetzt, wenn die oberen Komponenten der Doppelstriche bzw. die Mitten bzw. die unteren Komponenten verwendet sind.
- i) Die Abstände der ausgefallenen Striche von der Mitte der Strichplatte (Bild 2) werden eingesetzt. Diese Abstände sind in der oberen Hälfte der Strichplatte immer positiv, auch wenn ausnahmsweise die "astronomische" Seite rechts liegt.

Aus dem astronomischen Jahrbuch übernehmen:

Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit (Sternzeit siehe n):

- k) Den scheinbaren Ort des Sternes. Die Berechnung der scheinbaren Rektaszension (α) und der scheinbaren Deklination (δ) erfolgt nach der Anleitung des Jahrbuches. In dem Entwurf des Vordruckes (Seite 32 und Umschlagtasche) ist die Verwendung von "Apparent Places of Fundamental Stars" vorausgesetzt. Sowohl in den Zehntagesephemeriden der Sterne zwischen $- 81^{\circ}$ und $+ 81^{\circ}$ Deklination, als auch in den Eintagesephemeriden der Polsterne reicht für die hier angestrebte Genauigkeit lineare

Interpolation aus. Die Berücksichtigung der zweiten Differenzen ist also nicht notwendig. Abrundung auf volle $0,1''$ bzw. $0,01^s$.

- l) Die scheinbare Sternzeit um 0^h Weltzeit aus Table II, im Vor-
druck mit \mathcal{J}_{Gr} bezeichnet. (Abrundung auf volle $0,01^s$).

Berechnung von t_r

- m) In die Zeile "verflossene Zeit" ist u schon eingesetzt. Der Zu-
schlag für die Umrechnung von u in mittlere Sternzeit wird von
Table III übernommen und dann λ eingesetzt. Dann wird addiert:

$$\mathcal{J}_{Gr} + u + \text{Zuschlag} + \lambda = t_r$$

Die Hauptuhr zeigt mittlere Sternzeit (Sonnenzeit siehe k bis m):

- 5312 n) Aus dem Jahrbuch wird der scheinbare Ort des Sterns übertragen.
Die Berechnung erfolgt wie in k) beschrieben. Da zur Interpola-
tion die Weltzeit auf etwa 2 Stunden genau bekannt sein muß, ist
die Sternzeit bei Bedarf genähert in Weltzeit umzurechnen.

- o) Die Zeilen "verflossene Zeit" und "Zuschlag für Sternzeit" blei-
ben leer. λ wird eingesetzt, dann ist

$$\mathcal{J}_{Gr} + \lambda = t_r$$

Verbesserung der beobachteten Höhe

- p) Es ist

$$h_1 = h_0 \pm 15''$$

Die Verbesserung $15''$ oder 0 ist nach 5312h schon eingetragen.

Wenn an den Mitten der Doppelstriche beobachtet ist, ist $h_1 = h_0$.

- q) Wenn die Beobachtung an einzelnen Strichen ausgefallen ist.

Eine vollständige Beobachtung erfolgt an n_0 Strichen. Meistens
wird $n_0 = 10$ sein, doch kann bei Verwendung eines Chronographen
an allen 20 Einzelstrichen beobachtet werden, dann ist $n_0 = 20$.
Im Formularentwurf ist $n_0 = 10$ vorgesehen. Wenn an n Strichen be-
obachtet ist (also $n_0 - n$ ausgefallen sind), so ist anstelle von h_1
der Betrag

$$h_2 = h_1 - \frac{\sum d}{n}$$

als beobachtete Höhe einzusetzen. Darin ist $\sum d$ die algebraische Summe der Abstände d der ausgefallenen Striche von der Mitte, wie sie in Bild 2 angeschrieben sind. Der Abstand ist in der oberen Hälfte der Strichplatte stets positiv, auch wenn ausnahmsweise der astronomische Teil der Strichplatte rechts liegt. Oben und unten gilt dabei so, wie es im Okular zu sehen ist, weil das Ni 2 auch mit Prisma ein aufrechtes Bild gibt. Die Abstände der ausgefallenen Striche sind nach 5312i schon eingetragen. Bei vollständiger Beobachtung ist $h_2 = h_1$.

Beispiel: ausgefallen + 11 - 3 - 5

also $n = 7$

$$\frac{\sum d}{n} = \frac{60 (+11-3-5)}{7} = + 25,7''$$

$$h_2 = h_1 - 25,7''$$

Berechnung der Höhendifferenz Δh

5312 r) Aus dem nach m oder o berechneten t_γ berechnet man den Stundenwinkel des Sternes nach

$$t_* = t_\gamma - \alpha$$

Man erhält den Betrag zuerst im Stundenmaß und rechnet auf Gradmaß um ($24^h = 360^\circ$). Diese Umrechnung ist nicht notwendig, wenn eine Funktionentafel mit Argument im Stundenmaß zur Hand ist. Nun werden die Winkelfunktionen oder ihre Logarithmen aus entsprechenden Tafeln übernommen. Verwendet man die Zahlen, so genügt 6stellige Rechnung. Bei Verwendung von Logarithmen sind 7 Stellen nötig.

Man berechnet

$$A = \sin \varphi \cdot \sin \delta$$

$$B = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$D = \sin h_2 - (A+B)$$

Mit Hilfe der Änderung s von $\sin h_2$ für eine Änderung von h_2 um $1''$ kann der Wert D in die Höhendifferenz Δh_1 umgerechnet werden nach

$$\Delta h_1 = \frac{D}{s}$$

Der Betrag s kann entweder direkt aus der ersten Differenz der Sinustafel berechnet werden oder nach

$$s = \cos h_2 \cdot 48,5 \cdot 10^{-7} .$$

Diese Rechnung gilt mit maximal $\pm 1\%$ Fehler, solange $|\Delta h_1| \leq 60''$.

Die Differenz Δh_1 ist nun noch um die Einflüsse der Krümmung der Sternbahn und der Änderung der Refraktion infolge Änderung von Luftdruck und Temperatur zu berichtigen.

5312 s) Die Krümmung der Sternbahn hat den Einfluß

$$\delta h_1 = 3,93 \cdot B \cdot C (1 - 3,464 B \cdot \tan^2 t)$$

t) Der Luftdruck hat den Einfluß

$$\delta h_2 = - 0,0456 (b - 760)$$

wenn der Luftdruck b in mm Quecksilber oder Torr gemessen ist. Zeigt das Barometer Millibar, so ist

$$\delta h_2 = - 0,0342 (b - 1013)$$

Wenn in "inches of mercury" gemessen wird, ist

$$\delta h_2 = - 1,16 (b - 30)$$

u) Die Temperatur hat den Einfluß

$$\delta h_3 = + 0,127 \cdot g$$

wenn g in $^{\circ}\text{C}$ gemessen ist. Wird in $^{\circ}\text{F}$ gemessen, so ist

$$\delta h_3 = + 0,0706 (F - 32)$$

v) Im Endergebnis ist dann

$$\Delta h = \Delta h_1 + \delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3$$

Das Azimut des Sterns ist von der Vorausberechnung her bekannt. Falls dieser Wert ausnahmsweise zu ungenau sein sollte, erhält man das Azimut aus den in 5121 angegebenen Gleichungen. Dabei genügt Rechnung mit 4 Stellen oder mit dem Rechenschieber.

532 Berechnung, wenn das Endergebnis um $\pm 0,2''$ unsicher sein darf.

Voraussetzung für diese kleine Streuung des Endergebnisses ist die Beobachtung von wenigstens 160 Sterndurchgängen. Das sind also 8 Paare an je 10 Strichen. Wenn mehr als durchschnittlich 1 Strich bei jedem Stern ausgefallen ist, muß ein weiteres Paar beobachtet werden.

Entsprechend der erwarteten Genauigkeit werden alle Verbesserungen berücksichtigt, die größer als $0,2''$ werden können. Andererseits bleiben auch hier alle Verbesserungen weg, deren Höchstbetrag kleiner als $0,2''$ ist. Somit bleiben

unberücksichtigt: die zweiten Differenzen bei der Interpolation des Sternortes
Parallaxen, die nicht schon in den Sternörtertern berücksichtigt sind
Änderung der Präzession von 0^h Weltzeit bis zum Zeitpunkt der Messung.

Die Standlinienmethode wird sehr schnell ungenau, wenn der wahre Standort vom genäherten einen zu großen Abstand hat. Es ist deshalb ratsam, vor der genauen Durchrechnung drei Sternpaare nach 531 durchzurechnen und das Ergebnis als Näherungswert für die genaue Durchrechnung einzusetzen.

5321 Die Berechnungen im Beobachtungsprotokoll erfolgen genau so wie in 5311 beschrieben, jedoch werden die Werte b und C mit je 1 Stelle mehr aufgeschrieben, also auf $0,01^m$ bzw. $0,001$ abgerundet.

5322 Berechnungen im Rechenformular

Bekannte Werte einsetzen

- a) φ und λ einsetzen wie in 5312a beschrieben, aber auf volle $0,01''$ bzw. $0,001^s$ genau.
- b) h_0 einsetzen. Der hier verwendete Näherungswert für h_0 muß auf $\pm 10''$ genau sein. Es ist deshalb unerlässlich, entweder auf frühere Ergebnisse zurückzugreifen oder eine vorläufige Durchrechnung nach 531 zu verwerten.

Aus dem Beobachtungsprotokoll werden die Werte übernommen wie in 5312 c bis i beschrieben.

Aus dem astronomischen Jahrbuch werden der scheinbare Ort und die scheinbare Sternzeit übernommen wie in 5312 k und l beschrieben, jedoch mit der vollen im Jahrbuch angegebenen Stellenzahl.

Außerdem werden gleichzeitig die Koeffizienten $d\alpha(\Psi)$, $d\delta(\Psi)$, $d\alpha(\mathcal{E})$ und $d\delta(\mathcal{E})$ für die Berechnung des Einflusses der kurzperiodischen Nutation übernommen.

Dann werden die Beträge $d\Psi$ und $d\mathcal{E}$ der kurzperiodischen Nutation aus Table I übernommen und die Verbesserungen

$$\begin{aligned}\Delta\alpha &= d\alpha(\Psi) \cdot d\Psi + d\alpha(\mathcal{E}) \cdot d\mathcal{E} && \text{für Rektaszension} \\ \Delta\delta &= d\delta(\Psi) \cdot d\Psi + d\delta(\mathcal{E}) \cdot d\mathcal{E} && \text{für Deklination}\end{aligned}$$

berechnet.

Nun folgt die Berechnung des Stundenwinkels t_* des Sternes nach 5312 m bis o und 5312r. Dieser Wert und die scheinbare Deklination werden um den Einfluß der täglichen Aberration berichtigt. Es ist

$$\begin{aligned}\Delta t_* &= -0,32'' \cdot \frac{\cos\varphi}{\cos\delta} \cdot \cos t_* \\ \Delta\delta &= +0,32'' \cdot \cos\varphi \cdot \sin\delta \cdot \sin t_*\end{aligned}$$

$$t_* \text{ berichtigt} = t_* + \Delta t_*$$

$$\delta \text{ berichtigt} = \delta + \Delta\delta$$

Mit diesen berichtigten Werten wird weitergerechnet wie in 5312 r bis v beschrieben. Rechnung mit 7 Stellen ist notwendig, aber auch immer ausreichend.

54 Ausgleichung

Mit den nach 53 berechneten Elementen können die Standlinien dargestellt werden. Die Ausgleichung erfolgt entweder graphisch oder rechnerisch. Wenn die Azimute über den Horizont gut verteilt sind, wird man die graphische Ausgleichung vorziehen, wenn sie es nicht sind, dürfte die rechnerische Ausgleichung zweckmäßiger sein.

541 Graphisch

Zur Darstellung der Standlinien wählt man am einfachsten ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Nullpunkt den genähert bekannten Koordinaten des Standpunktes entspricht. Es ist

$$x = c \cdot \Delta \varphi \quad \text{und}$$

$$y = c \cdot \cos \varphi \cdot \Delta \lambda$$

Für c wählt man etwa 2 bis 10 mm je 1". Da dieses Netz nur einen sehr kleinen Teil der Erdoberfläche darstellt ($\Delta \varphi = 1''$ entspricht 30 m auf der Erdoberfläche), kann es als winkeltreu betrachtet werden.

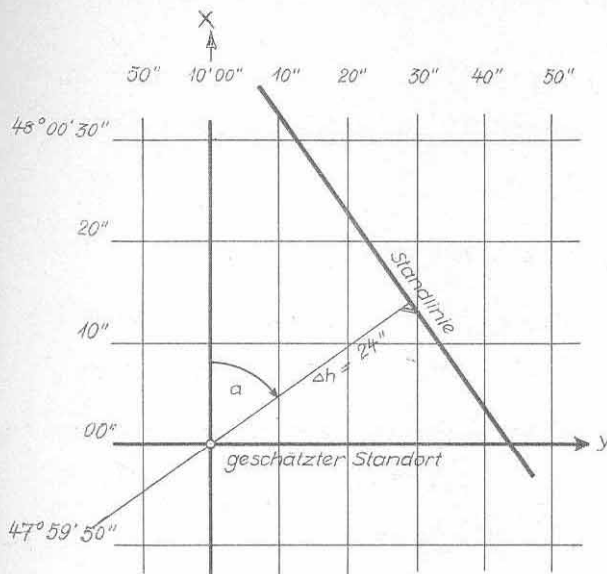


Bild 6

Man trägt im genäherten Standpunkt von der x-Achse aus das Azimut des Sternes und in der so gewonnenen Richtung $+\Delta h$ (wenn Δh negativ ist, in der entgegengesetzten Richtung) im Maßstab der geographischen Breite ab. Durch den Endpunkt wird die Standlinie rechtwinklig zur Richtung von Δh gezeichnet (Bild 6)

Durch sämtliche Standlinien wird ein ausgleichender Kreis gezeichnet, dessen Mittelpunkt den tatsächlichen Standort und dessen Radius die am Wert h_0 anzubringende Verbesserung darstellt.

542 Eine halbgraphische Ausgleichung ist auf folgendem Wege möglich:

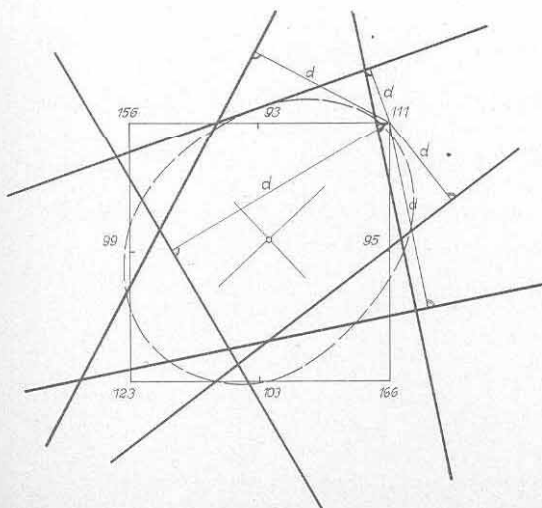


Bild 7

Zunächst werden die Standlinien nach 541 gezeichnet. Aus der Lage der Standlinien läßt sich nun schon der ungefähre wahre Standort angeben. Um diesen zeichnet man ein Quadrat mit nicht zu langen Seiten und markiert deren Mitte (Bild 7). Für die Eckpunkte und die Seitenmitten berechnet man nun die Summe der Quadrate der Abstände d von den

Standlinien, also $[dd]$. Die Abstände d werden aus der Zeichnung entnommen. Für jeden der 8 Punkte erhält man damit eine Zahl, die man als Höhenzahl ansehen darf. Man wählt nun eine "Höhe" aus, die zwischen der höchsten Zahl der vier Seitenmitten und der niedrigsten Zahl der Eckpunkte liegt (in Bild 7 also zwischen 103 und 111). Für diese Zahl (im Beispiel 110) interpoliert man nun auf den Quadratseiten eine Linie gleicher Höhe. Man erhält eine Ellipse, deren Mittelpunkt der wahre Standpunkt ist. Die Ellipse gibt einen Anhalt für Form und Lage der Fehlerellipse.

543 Rechnerisch

Die Aufstellung der Verbesserungsgleichungen erfolgt über die Darstellung der Standlinien in der Hesseschen Normalform, sie lauten dann

$$V_i = x \cos a_i + y \sin a_i - \Delta h_i$$

x und y sind die Koordinaten des ausgeglichenen Punktes a_i und Δh_i die nach 53 berechneten Werte für Azimut und Höhenverbesserung.

Aus den Fehlergleichungen die Normalgleichungen berechnen und weitere Rechnungen in der üblichen Form durchführen.

Der Wert x gibt sofort die Verbesserung für die geographische Breite an, die Verbesserung für die Länge folgt aus

$$\Delta \lambda = \frac{y}{\cos \varphi}$$

6 Zusammenstellung der Bezeichnungen

α Rektaszension) Koordinaten des Sternes im
))
 δ Deklination) Äquatorsystem

A Index für den Durchgang eines Sternes durch den
1. Faden des Strichkreuzes (Anfang der Beobachtung)

E Index für den Durchgang eines Sternes durch den
letzten Faden des Strichkreuzes (Ende der Beobachtung)

* Index für Angaben, die sich auf den Sternort beziehen

\mathcal{S} scheinbare Sternzeit mit Index Gr. in Greenwich, sonst
im Standort.

λ geogr. Länge) Koordinaten des
))
 φ geogr. Breite) Standpunktes

h Höhe) Koordinaten des Sternes
))
a Azimut) im Horizontsystem

t Stundenwinkel

u Uhrzeit

b Luftdruck

b Zeitdifferenz (5311) zur Berechnung von C

g Temperatur

A $\sin \varphi \sin \delta$

B $\cos \varphi \cos \delta \cos t$

C Korrektionsgröße (5311)

D Zwischenergebnis (5312)

UT Universal Time (mittl. Greenwicher Zeit, Weltzeit)

γ Index für Angaben, die sich auf den Frühlingspunkt
beziehen (Zeichen für Widder)

7 Zusammenstellung der notwendigen Hilfsmittel

71 Zur Vorbereitung

Sternwähler

Rechenschieber

Vierstellige Tafel der Winkelfunktionen oder
ihrer Logarithmen

Rechenmaschine, falls nicht logarithmisch ge-
rechnet wird.

Astronomisches Jahrbuch

Hilfsmittel zur genäherten Bestimmung des
Standortes auf etwa 2' genau.

Zeichenmaterial (Bleistift, Zirkel, Lineal usw.)

72 Zur Messung

Ni 2 mit Astrolabium-Ausrüstung

Programm

Hauptuhr (entweder Quarzuhr, welche die Zeit
über die ganze Beobachtungsperiode ausrei-
chend genau anzeigt, oder mechanische Uhr
mit Rundfunkempfänger oder Telefonverbindung
zum Empfang von Zeitzeichen).

Stoppuhr mit Doppelzeiger (Schleppzeiger)

Taschenlampen

Thermometer

Barometer

73 Zur Auswertung

Rechenschieber

Tafel der Winkelfunktionen oder ihrer Logarithmen
mit 6 oder 7 Stellen je nach der gewünschten
Genauigkeit

Rechenmaschine mit 12 bis 15 Ziffern im Resultat-
werk, falls nicht logarithmisch gerechnet wird.

Jahrbuch, das die astronomischen Daten mit der ge-
wünschten Genauigkeit enthält.

Zeichenmaterial

8 Beispiel

Tag der Messung 1959 Sept. 14

Genäherte Koordinaten des Standortes:

$$\varphi = + 48^{\circ} 47'$$

$$\lambda = + 10^{\circ} 06' = 40^m 24^s$$

Aus dem Jahrbuch: Sternzeit um 0^h U.T.

$$\mathcal{L}_{Gr} = 23^h 28^m 53,897^s$$

(Zur Vorbereitung des Sternwählers siehe auch Bild 4)

Die Messungen sollen beginnen um $20^h 30^m$ mitteleuropäischer Zeit (MEZ)

Vom Sternwähler

	Zeit	Azimut	α	δ	Größe
1. Paar	$20^h 37^m$	108°	$22^h 08^m$	$+ 33^{\circ}$	4
	$20^h 46^m$	304°	$16^h 44^m$	$+ 57^{\circ}$	5
2. Paar	$20^h 58^m$	130°	$21^h 51^m$	$+ 26^{\circ}$	5
	$21^h 07^m$	322°	$17^h 08^m$	$+ 66^{\circ}$	3

usw.

Genauere Berechnung: Für den ersten Stern findet man im Jahrbuch: Nummer 835, Name π Pegasi, Größe 4,4

$$\alpha = 22^h 08^m 13^s \qquad \delta = + 32^{\circ} 59'$$

$$\cos t_A = \frac{\sin h_A - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

(h_A von 5114)

$$= \frac{0,864 - 0,544 \cdot 0,752}{0,659 \cdot 0,839} = + \frac{0,455}{0,553} = + 0,823$$

$$t_A = 325^{\circ} 24' = 21^h 42^m \text{ oder } t_A = - 34^{\circ} 36' = - 2^h 18^m$$

weil $a < 180^\circ$ ist t zwischen 180° und 360° (negativ)

$$\cos t_E = \frac{0,868 - 0,409}{0,553} = + 0,829$$

$$t_E = 326^\circ 00' = 21^h 44^m \text{ oder } t_E = - 34^\circ 00' = - 2^h 16^m$$

$$\mathcal{J}_A = t_A + \alpha$$

$$= 19^h 50^m$$

$$\mathcal{J}_E = 19^h 52^m$$

Zur Zeit \mathcal{J}_A ist der Stern in der Nähe des ersten Fadens zu erwarten, und zwar im Azimut a_A .

$$\begin{aligned} \cos a_A &= \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin h_A}{\cos \varphi \cdot \cos h_A} \\ &= \frac{0,544 - 0,752 \cdot 0,864}{0,659 \cdot 0,503} = - \frac{0,106}{0,331} = - 0,319 \end{aligned}$$

$$a_A = 108^\circ 36'$$

Für die anderen Sterne wird entsprechend gerechnet.

Einstellen der Sternzeituhr um $20^h 30^m$ MEZ:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_{Gr} + \Delta t + \lambda$$

$$\mathcal{J} = 23^h 29^m + 19^h 30^m + 3^m + 40^m = 19^h 42^m$$

Azimetbestimmung

Der Teilkreis soll durch Anzielen der Sonne um 17^h MEZ = 16^h U.T. orientiert werden.

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

Aus dem Jahrbuch:

$$\text{Zeitgleichung } e_0 = 4^m 17^s$$

$$\text{Deklination } \delta_0 = + 3^{\circ} 32'$$

$$\begin{aligned} t_0 &= \text{UT} + \lambda + e_0 - 12^h = 16^h + 40^m 24^s + 4^m 17^s - 12^h \\ &= 4^h 44^m 41^s = 71^{\circ} 10' \end{aligned}$$

$$\sin h = 0,752 \cdot 0,062 + 0,659 \cdot 0,998 \cdot 0,323 = 0,259$$

$$h = 15^{\circ} 00'$$

$$-\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \sin t}{\cos h} = + \frac{0,998 \cdot 0,946}{0,966} = + 0,978$$

$$a = 258^{\circ} 00'$$

Verbesserung wegen Prismenkipfung

$$\cos \Delta a = \frac{1}{2 \cos h} = 0,518$$

$$\Delta a = 58^{\circ} 50'$$

Ausgleichung: Die Fehlergleichungen lauten:

$$v_i = x \cdot \cos a_i + y \cdot \sin a_i - \Delta h_i$$

$$v_1 = - 0,323 x + 0,946 y - 24,0$$

$$v_2 = + 0,564 x - 0,826 y - 14,5$$

$$v_3 = \dots$$

Messungen mit dem Zeiss-Ni2-Astrolabium

Ort Oberkochen

Beob.

Azimut a einstellen, der Stern erscheint um ϑ Uhr örtlicher Sternzeit

a $108^{\circ} 37'$ ϑ $19^h 49^m$	α $22^h 08^m$ δ $+32^{\circ} 59'$	Größe 4 Nr. 835	obere Striche Mitte untere Striche	Temp. $11,5^{\circ}C$ Druck 721 mmHg
--	--	------------------------	--	---

Fa den	Durchgang z			z (dez)	b	b ²	Stoppuhr		Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit mittlere Sternzeit
	h	m	sec				20 ^h 35 ^m	20 ^h 44 ^m	
-11	20	37	10,6	37,18	-1,13	1,28	-0,6	-1,0	$b = z - u_1$ $C = \frac{\sum b^2}{n}$ wo $n = \text{Anzahl der beobacht. Durchgänge}$ $\Delta u_1 = \text{Korrektur der Stoppuhr auf die Hauptuhr}$ $\Delta u_0 = \text{Korrektur der Hauptuhr auf UT oder UST}$
7,5			32,8	37,55	-0,76	0,58	-0,8	-1,0	
5							-0,8	-1,0	
3							-0,8	-0,8	
-15		38	11,8	38,20	-0,11	0,01	-0,8	-1,2	
+15			30,8	38,51	+0,20	0,04	-1,0	-1,2	
3			40,4	38,67	+0,36	0,13	-1,0	-1,2	
5			53,6	38,89	+0,58	0,34	-1,0	-1,0	
7,5		39	09,6	39,14	+0,83	0,69	-0,8	-1,2	
11							-0,8	-1,2	
Summe	5	189,6			$\sum b^2 = 3,07$		-8,4	-10,8	
	6	129,6			$C = 0,439$		$\Delta u_2 = 0,84$	$\Delta u_3 = 1,08$	

u_1 $20^h 38^m 18,51^s$ Δu_1 $- 0,96$	Bemerkungen
u_0 $20 38 17,55$ Δu_0 $- 0 59 59,64$	
u $19 38 17,91$ Δu_4 t_r	

a $^{\circ}$ $'$ ϑ h m	α h m δ $^{\circ}$ $'$	Größe Nr.	obere Striche Mitte untere Striche	Temp. $^{\circ}C$ Druck $mmHg$
---	---	--------------	--	-----------------------------------

Fa den	Durchgang z			z (dez)	b	b ²	Stoppuhr		Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit mittlere Sternzeit
	h	m	sec				h	m	
11									
7,5									
5									
3									
1,5									
1,5									
3									
5									
7,5									
11									
Summe					$\sum b^2$		Δu_2	Δu_3	
					C				

u_1 Δu_1	Bemerkungen
u_0 Δu_0	
u Δu_4 t_r	

Auswertung der Messungen mit dem Zeiss-Ni2-Astrolabium

An den Strichen mit den Abständen d (in Winkelminuten) von der Mitte ist die Beobachtung ausgefallen.	d	-5
		-3
		+11
	$\Sigma d = +3$	

Standort Oberkochen Parkplatz des ZEISS-Werkes

vorläufige Koordinaten $\varphi +48^{\circ} 47' 00,0''$ $\lambda +10^{\circ} 06' 00,0''$
 (+ φ = nördlich, + λ = östlich Greenwich)
 $+0^{\circ} 40' 24,00'' S$

Beobachtungshöhe	Datum der Messung Jahr <u>1959</u> Monat <u>9</u> Tag <u>14,8</u>
h_0 59° 59' 25,30"	Temperatur g <u>11,5</u> °C Luftdruck b <u>721</u> mm Hg
$\pm 15''$ 0	
h_1 59 59 25,30	Stern
$-60 \frac{\Sigma d}{n}$ - 25,71	
h_2 59 58 59,59	Größe <u>4,4</u> Name <u>π Pegasi</u> Nr. <u>835</u>

Scheinbare Sternzeit um 0^h Weltzeit ϑ_{Gr}	23 ^h 28 ^m 53,897 ^s
Verflossene Zeit u	19 38 17,91(0)
Zuschlag für Sternzeit	3 13,564
Geograph. Länge λ	0 40 24,000
Stundenwinkel des Frühlingspunktes t_r	43 50 49,371
Scheinbarer Sternort (interpoliert) α	22 08 13,496
Stundenwinkel des Sterns t_*	21 42 35,875

$d\alpha(\psi) + 0,053$	$d\delta(\psi) + 0,35$	$\Delta\alpha = d\alpha(\psi) \cdot d\psi + d\alpha(\epsilon) \cdot d\epsilon$ $\Delta\delta = d\delta(\psi) \cdot d\psi + d\delta(\epsilon) \cdot d\epsilon$
$d\alpha(\epsilon) - 0,038$	$d\delta(\epsilon) - 0,47$	
$d\psi + 0,20$	$d\epsilon + 0,02$	
$d\alpha(\psi)d\psi + 0,011$	$d\delta(\psi)d\psi + 0,07$	
$d\alpha(\epsilon)d\epsilon - 0,001$	$d\delta(\epsilon)d\epsilon - 0,01$	

δ	+32° 59' 02,19"
$+\Delta\delta_1$	+ 0,06
$+\Delta\delta_2$	- 0,06
Endgültig δ	+32 59 02,19

Korrektur für kurzperiod. Nutation $-\Delta\alpha$

$\Delta t = -0,32'' \frac{\cos\varphi \cdot \cos t_*}{\cos\delta}$ $\Delta\delta_2 = +0,32'' \cos\varphi \cdot \sin\delta \cdot \sin t_*$

$\cos\varphi + 0,659$ $\cos\delta + 0,838$ $\sin\delta + 0,545$
 $\cos t_* + 0,826$ $\sin t_* - 0,564$ (auf 3 Stellen)

Korrektur für tägliche Aberration $+\Delta t$

Endgültig t_* 325 38 57,77

Siebenstell. Höhenrechnung	$(\log) \cos \varphi$ 9, 818 8250
$(\log) \sin \varphi$ 9, 876 3468	$(\log) \cos \delta$ 9, 923 6704
$(\log) \sin \delta$ 9, 735 9213	$(\log) \cos t_*$ 9, 916 7698
$\log A$ 9, 612 2681	$\log B$ 9, 659 2652
$A + 0,409$ 5134	C (vom Messprotokoll) 0,439
$B + 0,456$ 3155	$t_g t_*$ (auf 3 Stellen) -0,684
$A+B + 0,865$ 8289	$E = 1 - 3,464B \cdot t_g^2 t_*$ +0,259
$\sin h_2 + 0,865$ 8790	
$D = \sin h_2 - (A+B) +$ 501	
$\lambda = \cosh 2 \cdot 48,5 \cdot 10^{-7} = 24,3$	

$\Delta h_1 = \frac{D}{\rho}$ in Winkelsek.	+20,62"
$\delta h_1 = C \cdot B \cdot 3,93E$	+ 0,20
$\delta h_2 = -0,0456(b-760mm)$	+ 1,78
$\delta h_3 = +0,127 \cdot g^{\circ}C$	+ 1,46
Höhendifferenz Δh	+24,06"
Azimut a (vom Messprotokoll)	108° 37'

Luftdruck b und Lufttemperatur g sind bei den 2 Sternen eines Paares stets gleich. (Mittelwerte)

Messungen mit dem Zeiss-Ni2-Astrolabium

Blatt _____
 Tag _____
 Ort _____
 Beob. _____

Azimut a einstellen, der Stern erscheint um ϑ Uhr örtlicher Sternzeit

a $^{\circ}$ _____ $'$ _____ ϑ $^{\circ}$ _____ $'$ _____	α $^{\circ}$ _____ $'$ _____ δ $^{\circ}$ _____ $'$ _____	Größe _____ Nr. _____	obere Striche _____ Mitte _____ untere Striche _____	Temp. _____ $^{\circ}\text{C}$ Druck _____ mmHg
--	--	--------------------------	--	--

Fa den	Durchgang z			m (dez)	b	b ²	Stoppuhr		Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit mittlere Sternzeit $b = z - u_1$ $C = \frac{\sum b^2}{n}$ wo $n = \text{Anzahl der beobacht. Durchgänge}$ $\Delta u_1 = \text{Korrektur der Stoppuhr auf die Hauptuhr}$ $\Delta u_0 = \text{Korrektur der Hauptuhr auf UT oder UST}$
	h	m	sec				h	m	
11									
7,5									
5									
3									
1,5									
1,5									
3									
5									
7,5									
11									
Summe					$\sum b^2$ _____		Δu_2 _____	Δu_3 _____	

u_1				Bemerkungen
Δu_1				
u_0				
Δu_0				
u				
Δu_4				
t_r				

a $^{\circ}$ _____ $'$ _____ ϑ $^{\circ}$ _____ $'$ _____	α $^{\circ}$ _____ $'$ _____ δ $^{\circ}$ _____ $'$ _____	Größe _____ Nr. _____	obere Striche _____ Mitte _____ untere Striche _____	Temp. _____ $^{\circ}\text{C}$ Druck _____ mmHg
--	--	--------------------------	--	--

Fa den	Durchgang z			m (dez)	b	b ²	Stoppuhr		Die Hauptuhr zeigt mittlere Sonnenzeit mittlere Sternzeit
	h	m	sec				h	m	
11									
7,5									
5									
3									
1,5									
1,5									
3									
5									
7,5									
11									
Summe					$\sum b^2$ _____		Δu_2 _____	Δu_3 _____	

u_1				Bemerkungen
Δu_1				
u_0				
Δu_0				
u				
Δu_4				
t_r				

Auswertung der Messungen mit dem Zeiss-Ni2-Astrolabium

An den Strichen mit den Abständen d (in Winkelminuten) von der Mitte ist die Beobachtung ausgefallen.

Σd _____

Beobachtungshöhe

h_0			
$\pm 15''$			
h_1			
$-60 \frac{\Sigma d}{n}$			
h_2			

Standort _____

vorläufige Koordinaten φ $^{\circ}$ $'$ $''$ λ $^{\circ}$ $'$ $''$

($\varphi+$ = nördlich
 $\lambda+$ = östlich Greenwich)

_____ h _____ m _____ s

Datum der Messung Jahr _____ Monat _____ Tag _____

Temperatur g _____ $^{\circ}C$ Luftdruck b _____ mmHg

Stern

Größe _____ Name _____ Nr. _____

Scheinbare Sternzeit um 0^h Weltzeit ϑ_{Gr}				
Verflossene Zeit u				
Zuschlag für Sternzeit				
Geograph. Länge λ				
Stundenwinkel des Frühlingspunktes t_{γ}				
Scheinbarer Sternort (interpoliert) α				
Stundenwinkel des Sterns t_*				
$d\alpha(\psi)$ _____	$d\delta(\psi)$ _____			
$d\alpha(\epsilon)$ _____	$d\delta(\epsilon)$ _____			
$d\psi$ _____	$d\epsilon$ _____	$\Delta\alpha = d\alpha(\psi) \cdot d\psi + d\alpha(\epsilon) \cdot d\epsilon$		
$d\alpha(\psi)d\psi$ _____	$d\delta(\psi)d\psi$ _____	$\Delta\delta_1 = d\delta(\psi) \cdot d\psi + d\delta(\epsilon) \cdot d\epsilon$		
$d\alpha(\epsilon)d\epsilon$ _____	$d\delta(\epsilon)d\epsilon$ _____			
Korrektur für kurzperiod. Nutation $-\Delta\alpha$				
$\Delta t = -0,32'' \frac{\cos\varphi \cdot \cos t_*}{\cos\delta}$	$\Delta\delta_2 = +0,32'' \cos\varphi \cdot \sin\delta \cdot \sin t_*$			
$\cos\varphi$ _____	$\cos\delta$ _____	$\sin\delta$ _____		
$\cos t_*$ _____	$\sin t_*$ _____	(auf 3 Stellen)		
Korrektur für tägliche Aberration $+\Delta t$				
Endgültig t_*				

δ			
$+\Delta\delta_1$			
$+\Delta\delta_2$			
δ			

Siebenstell. Höhenrechnung

$(\log) \cos \varphi$			
$(\log) \sin \varphi$			
$(\log) \sin \delta$			
$\log A$			
A			
B			
$A+B$			
\sinh_2			
$D = \sinh_2 - (A+B)$			
$\Delta = \cosh_2 \cdot 48,5 \cdot 10^{-7}$			

$(\log) \cos \delta$			
$(\log) \cos t_*$			
$\log B$			
C (vom Messprotokoll)			
$\text{tg} t_*$ (auf 3 Stellen)			
$E = 1 - 3,464B \cdot \text{tg}^2 t_*$			

$\Delta h_1 = \frac{D}{\Delta}$ in Winkelsek. _____

$\delta h_1 = C \cdot B \cdot 3,93E$ _____

$\delta h_2 = -0,0456(b - 760\text{mm})$ _____

$\delta h_3 = +0,127 \cdot g^{\circ}C$ _____

Höhendifferenz Δh _____

Azimut a _____

(vom Messprotokoll)

Luftdruck b und Lufttemperatur g sind bei den 2 Sternen eines Paares stets gleich. (Mittelwerte)

Graphische Auswertung der Messungen mit dem Zeiss-Ni2-Astrolabium nach dem Standlinienverfahren

