

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 49

**Zeit- und Breitenbestimmungen
mit dem fotografischen Zenitteleskop
des Zentralinstituts für Physik der Erde**

von

Manfred Meinig

Horst Jochmann

Als Manuskript gedruckt

Potsdam 1976

| <u>Inhaltsverzeichnis</u> | Seite |
|---|-------|
| 1. Einleitung | 7 |
| 2. Konstruktions- und Arbeitsprinzip des Instruments | 9 |
| 3. Theorie der Auswertung | 15 |
| 3.1. Grundlegende Beziehungen zwischen Bildkoordinaten, Deklination, Stundenwinkel und geographischer Breite | 15 |
| 3.1.1. Betrachtungen zum Refraktionseinfluß | 16 |
| 3.1.2. Reihenentwicklungen der Abbildungsgleichungen | 17 |
| 3.1.3. Die Modifikation der Abbildungsgleichungen infolge der Bewegung des Plattenträgers während der Belichtung | 18 |
| 3.2. Der Beobachtungszyklus | 21 |
| 3.2.1. Der Einfluß des Umlegefehlers | 22 |
| 3.3. Die Beziehungen zwischen dem Koordinatensystem des Auswertegerätes und dem Bildkoordinatensystem | 23 |
| 3.4. Ableitung der Grundformeln für die Auswertung | 24 |
| 3.4.1. Die Abbildungsgleichungen für einen Sterndurchgang | 25 |
| 3.4.2. Orientierungsunbekannte θ und Maßstabsfaktor a_x | 26 |
| 3.4.3. Zeit und Zenitdistanz des Meridiandurchgangs | 27 |
| 3.5. Die Formeln des Rechenprogramms der PZT-Auswertung | 28 |
| 4. Fehlertheoretische Betrachtungen | 32 |
| 4.1. Der Einfluß von Azimut- und Umlegefehler auf Uhrkorrektion und Zenitdistanz | 32 |
| 4.2. Die fehlertheoretische Beziehung zwischen den Bildkoordinaten und den ermittelten Werten von z_m und t_m | 33 |
| 5. Beobachtungsprogramm | 37 |
| 6. Ergebnisse der Zeit- und Breitenbestimmungen | 40 |
| 7. Genauigkeitsuntersuchung | 43 |
| 7.1. Fehler der Plattenausmessung | 43 |
| 7.2. Lagefehler der Abbildungen auf der Photoplatte | 43 |
| 7.3. Fehler der Zeitregistrierung | 47 |
| 7.4. Fehler der Zeit- und Breitenbestimmungen | 47 |
| Literatur | 50 |
| Anhang: Beobachtungsergebnisse | 51 |

Zusammenfassung

Seit 1972 werden in Potsdam regelmäßig Beobachtungen mit dem PZT durchgeführt. Das Konstruktionsprinzip und die Arbeitsweise des Instruments werden erläutert. Aus den grundlegenden Beziehungen zwischen Bildkoordinaten, Sternörter und Stationskoordinaten werden die Abbildungsgleichungen entwickelt und daraus die Grundformeln für die Auswertung abgeleitet. Der Einfluß von Azimut- und Umlegefehler auf die Zeit- und Breitenbestimmung wird fehlertheoretisch untersucht. Für die Reduktion der Beobachtungen werden seit 1974 Sternörter verwendet, die auf Grund der Resultate von 1972 und 1973 verbessert wurden. In einer Genauigkeitsanalyse werden die Einflüsse verschiedener Fehlerquellen untersucht und die Leistungsfähigkeit des Instruments abgeschätzt. Die erhaltenen zufälligen Fehler der Zeit- und Breitenbestimmungen werden mit den theoretisch zu erwartenden Werten verglichen. Die Ergebnisse für die Jahre 1972 bis 1974 sind im Anhang zusammengestellt.

Summary

Observations have been carried out regularly in Potsdam using the PZT since 1972. The principles governing the design and mode of operation of the instrument are explained. From the fundamental relations between image point co-ordinates, star positions and station co-ordinates the imaging equations are developed and from them the basic formulae for evaluation are derived. The influence of azimuthal and reversal errors on time and latitude determination is examined from the point of view of error theory. For reduction of the observations star positions have been used since 1974, which have been improved taking as a basis the results of 1972 and 1973. By an accuracy analysis the influences of various sources of error are examined and the efficiency of the instrument is estimated. The random errors obtained in the time and latitude determinations are compared with the values to be expected in theory. The results for 1972 through 1974 are listed in the appendix.

Résumé

Depuis 1972 on réalise régulièrement à Potsdam des observations avec le PZT. Le principe de construction et le mode de fonctionnement de l'instrument sont expliqués. En partant des relations fondamentales entre les coordonnées de l'image, les positions d'étoiles et les coordonnées des stations, on développe les relations de conjugaison et on en déduit les formules de base en vue de l'évaluation. Du point de vue de la théorie des erreurs, on étudie l'influence des erreurs azimutales et de retournement sur la détermination de l'heure et de la latitude. Pour la réduction des observations, depuis 1974 on utilise des positions d'étoiles qui ont été améliorées en raison des résultats obtenus en 1972 et 1973. Moyennant une analyse de précision, on étudie les influences des différentes causes d'erreur et l'on apprécie le rendement de l'instrument. On effectue la comparaison entre les erreurs aléatoires obtenues pour la détermination de l'heure et de la latitude avec les valeurs théoriquement attendues. Les résultats obtenus de 1972 à 1974 figurent dans l'annexe.

Резюме

С 1972 года в Потсдаме регулярно ведутся наблюдения с помощью ФЦТ. Дается объяснение конструкции и принципа работы инструмента. Из основных связей между координатами изображения, местами положения звезд и координатами станций выводятся уравнения изображения, а из них – главные формулы оценки. На основе теоретически выведенных погрешностей исследуется влияние погрешностей азимута и перекладки на определение времени и широты. Для редукции наблюдений с 1974 года используются положения звезд, которые были улучшены на основании результатов 1972 и 1973 годов. При проведении анализа точности исследуются влияния различных источников погрешности и оценивается работоспособность инструмента. Полученные случайные погрешности определения времени и широты сравниваются с теоретически ожидаемыми. Результаты 1972 – 1974 гг. приведены в приложении.

1. Einleitung

Das photographische Zenitteleskop (PZT) wird als leistungsfähiges Instrument für geodätisch-astronomische Zeit- und Breitenbestimmungen auf ortsfesten Stationen zur Ermittlung von Daten für die Untersuchung des Rotationsverhaltens der Erde eingesetzt. Im Vergleich zu anderen, für den gleichen Zweck verwendeten Instrumententypen weist das PZT einige Vorteile auf.

Da der Beobachtungsvorgang automatisch abläuft und durch ein Programmschaltwerk gesteuert wird, werden persönliche Fehler bei der Beobachtung nicht wirksam, und der Beobachter wird weitgehend entlastet. Seine Tätigkeit besteht in der Vorbereitung des Instruments, der Zeitregistriergeräte und des Programmgebers, dem Einlegen der Kassette, dem Programmstart zum vorgegebenen Zeitpunkt, der Kontrolle und Überwachung des Programmablaufs und dem Entnehmen der Kassette nach Abschluß der Beobachtung.

Refraktionsfehler spielen wegen der Beobachtung in unmittelbarer Zenitnähe nur eine untergeordnete Rolle. Ihr Einfluß wird durch das Auswerteverfahren und die Gestaltung des Sternprogramms weiter verringert. Auch instrumentelle Fehlereinflüsse werden durch das Konstruktionsprinzip des PZT weitgehend eliminiert. Die geforderten Toleranzen für Aufstellung und Justierung lassen sich ohne Schwierigkeiten einhalten. Nicht zuletzt ist das PZT durch seine im Vergleich zu Passageinstrument und Astrolab größeren Dimensionen den anderen Instrumententypen überlegen.

Ein Nachteil des PZT ergibt sich aus der Tatsache, daß die Beobachtung nur in unmittelbarer Nähe des Zenits erfolgt und dadurch nur Sterne in einer schmalen Deklinationzone beobachtet werden können. Es stehen daher kaum Fundamentalsterne zur Verfügung, und das Programm muß aus Sternen zusammengestellt werden, deren Örter und Eigenbewegungen zunächst nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt sind und mit Hilfe der eigenen PZT-Beobachtungen sowie durch spezielle Beobachtungen noch verbessert werden müssen. Ein weiterer Nachteil besteht in der Verwendung der photographischen Platte als Zwischenspeicher, wodurch der Auswerteprozess recht zeitaufwendig wird.

Das in der Institutswerkstatt der Sternwarte Babelsberg gebaute PZT (Abb. 1) wurde nach der Übernahme durch das geodätisch-astronomische Observatorium des Zentralinstituts für Physik der Erde erprobt. Auf Grund der Erfahrungen, die bei den Versuchsbeobachtungen gewonnen wurden, sind einige instrumentelle Verbesserungen erfolgt. Das Instrument ist im westlichen Meridianhaus auf dem Gelände der Sternwarte Babelsberg aufgestellt. Zeit- und Breitenbestimmungen werden damit seit 1972 regelmäßig durchgeführt.

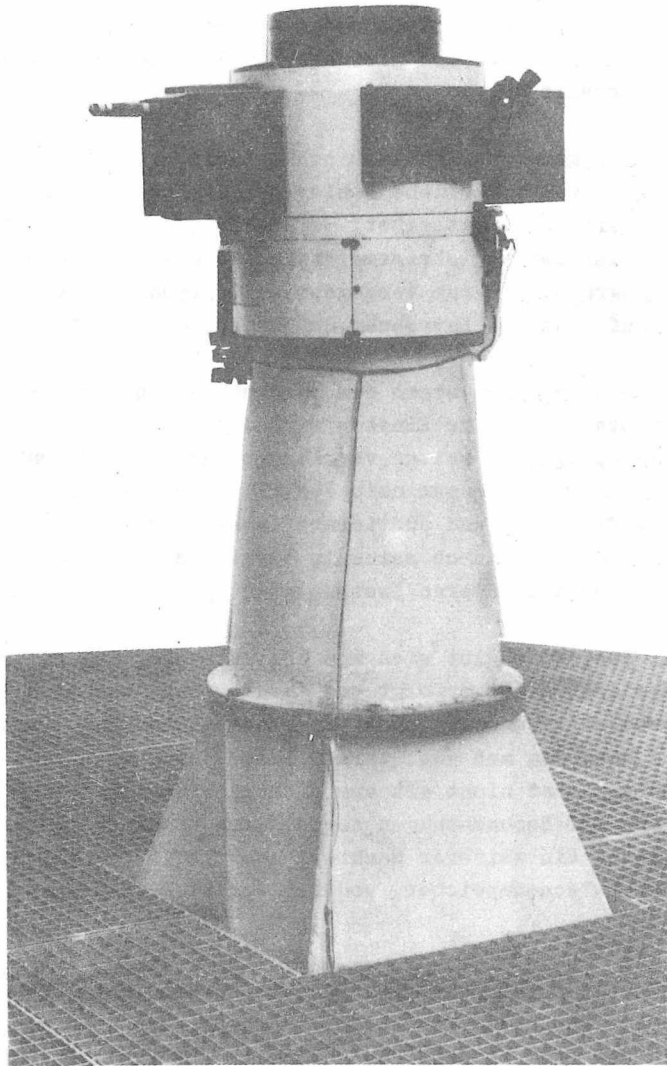


Abb. 1. Das photographische Zenitteleskop

2. Konstruktions- und Arbeitsprinzip des Instruments

Im Vergleich zu anderen Instrumenten zur geodätisch-astronomischen Orts- und Zeitbestimmung zeichnet sich das PZT durch die optimale Elimination des Einflusses von Instrumentenfehlern aus.

Alle genaueren Beobachtungsverfahren der geodätischen Astronomie beruhen auf der Stabilisierung der vom Beobachtungsinstrument definierten Vertikalkreise oder Alumkantrate während des Sterndurchgangs. Beim PZT, das eine vertikale optische Achse besitzt, erfolgt die Stabilisierung durch einen in der halben Brennweite liegenden Quecksilberhorizont. Die Bildebene befindet sich in der bildseitigen Hauptebene des Objektivs, wodurch gewährleistet ist, daß Abstandsfehler zwischen Quecksilberhorizont und Objektiv meßtechnisch nicht wirksam werden können. Sie würden lediglich eine Verschlechterung der Abbildungsqualität auf der photographischen Platte bewirken.

In Abb. 2 ist der wesentliche optische Aufbau des PZT dargestellt. Nachdem die Strahlen das Objektiv 1 passiert haben, werden sie am Quecksilberhorizont 2 reflektiert und erzeugen auf der Photoplatte 3, die sich in der bildseitigen Hauptebene des Objektivs befindet und in West—Ost-Richtung beweglich ist, ein Bild. Das Auswerteprinzip des PZT erfordert, daß jeweils 4 Bilder pro Sterndurchgang erzeugt werden, wobei zwischen den einzelnen Belichtungen der Instrumentenkopf jeweils um 180° gedreht werden muß. Nachführung der Photoplatte und Drehung des Instrumentenkopfes zwischen den einzelnen Beobachtungen erfolgen während eines Beobachtungszyklus automatisch.

Wie im folgenden Kapitel gezeigt wird, können aus den Koordinatendifferenzen der vier Bilder, die während eines Sterndurchgangs erzeugt werden, die Zenitdistanz und die Meridiandurchgangszeit ermittelt werden, wenn die zeitliche Mitte der vier Belichtungen gegeben ist. In Abb. 3 ist der zeitliche Ablauf der Beobachtung eines Sterndurchgangs dargestellt. Der gesamte Beobachtungszyklus dauert 120 s, jede Belichtung 20 s, und der Instrumentenkopf wird innerhalb von 10 s umgelegt. Alle notwendigen Bewegungen und Steuerbefehle werden vom Antriebsmechanismus (Abb. 4) selbsttätig durchgeführt.

Beim Auslösen des Startimpulses zieht der Startmagnet 5 die Zahnkupplung 15 an und bringt das Zyklusgetriebe 4 mit der Sekundenwelle 2 in Verbindung. Die Untersetzung von der Sekundenwelle zum Zyklusgetriebe ist 30 : 1. Vom Zyklusgetriebe wird nach 5 s der Kontakt geschlossen. Hierdurch wird über den Kupplungsmagneten 9 das Kegelradwendegetriebe 3 für den Transport des Plattenwagens eingekuppelt. Gleichzeitig wird die Belichtungsklappe geöffnet. Die Einkupplung des Kegelradwendegetriebes erfolgt über die Mitnehmerstifte 14, wobei je nach der Lage des Instrumentenkopfes die Einkupplung für Links- oder Rechtslauf erfolgt. Das Kegelradwendegetriebe ist gegenüber der Sekundenwelle 2 : 1 untersetzt. Die sich mit dem Kegelrad drehende Antriebsspindel 7 bewegt ein Mutterstück 8, durch das der mittels Federkraft an den Bewegungsmechanismus angedrückte Plattenwagen 13 bewegt wird. Die Antriebsspindel hat eine auf die geographische Breite des Aufstellungsortes abgestimmte Steigung.

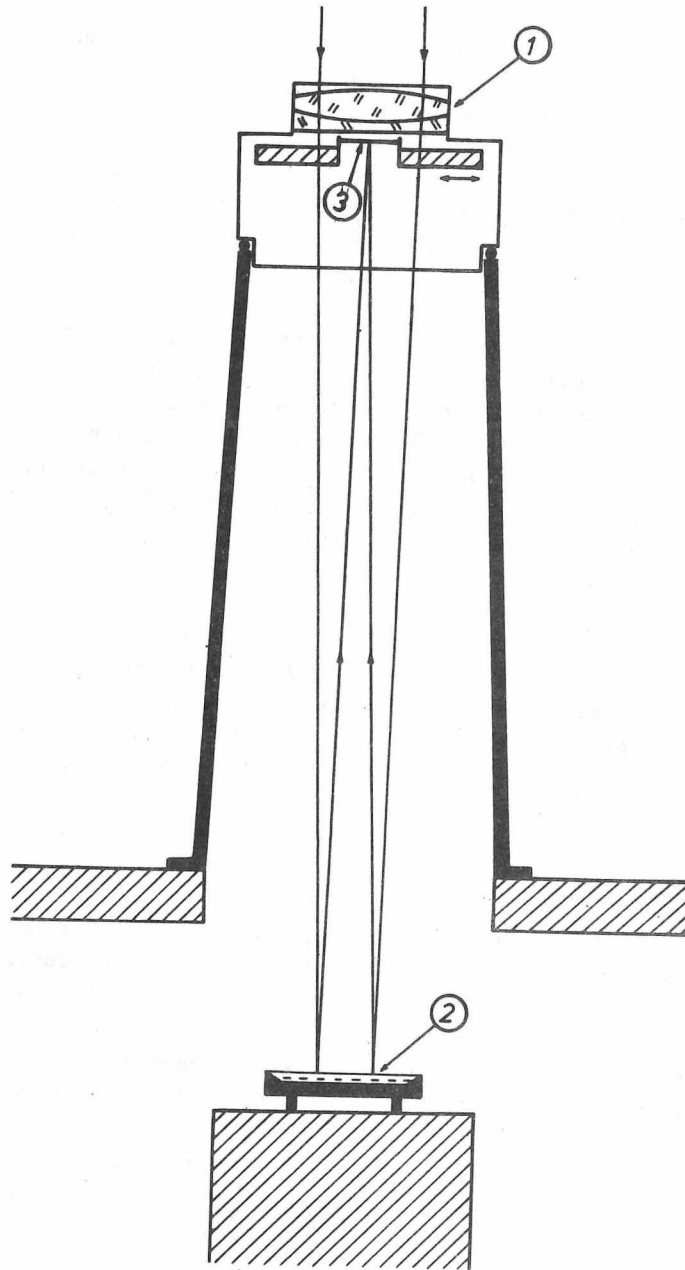


Abb. 2. Optischer Aufbau des PZT

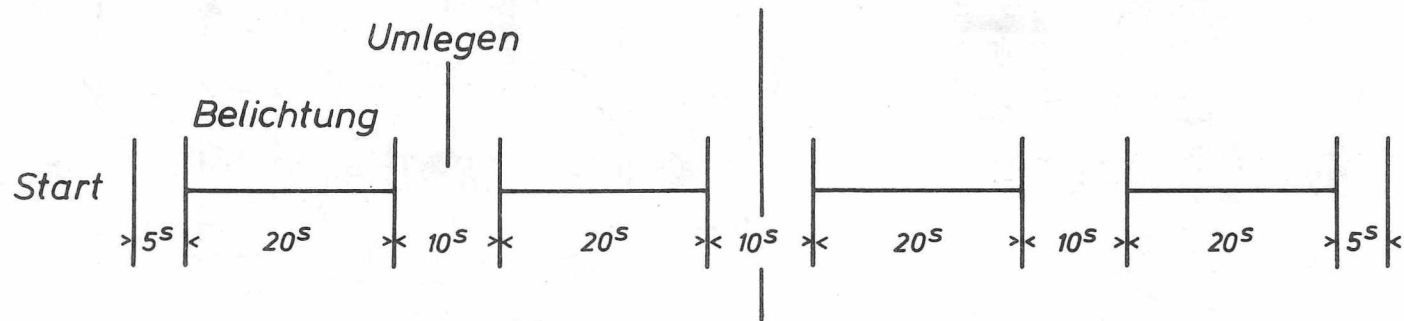


Abb. 3. Zeitlicher Ablauf der instrumentellen Funktionen während eines Sterndurchgangs
(nach ENGELBRECHT [1_7])

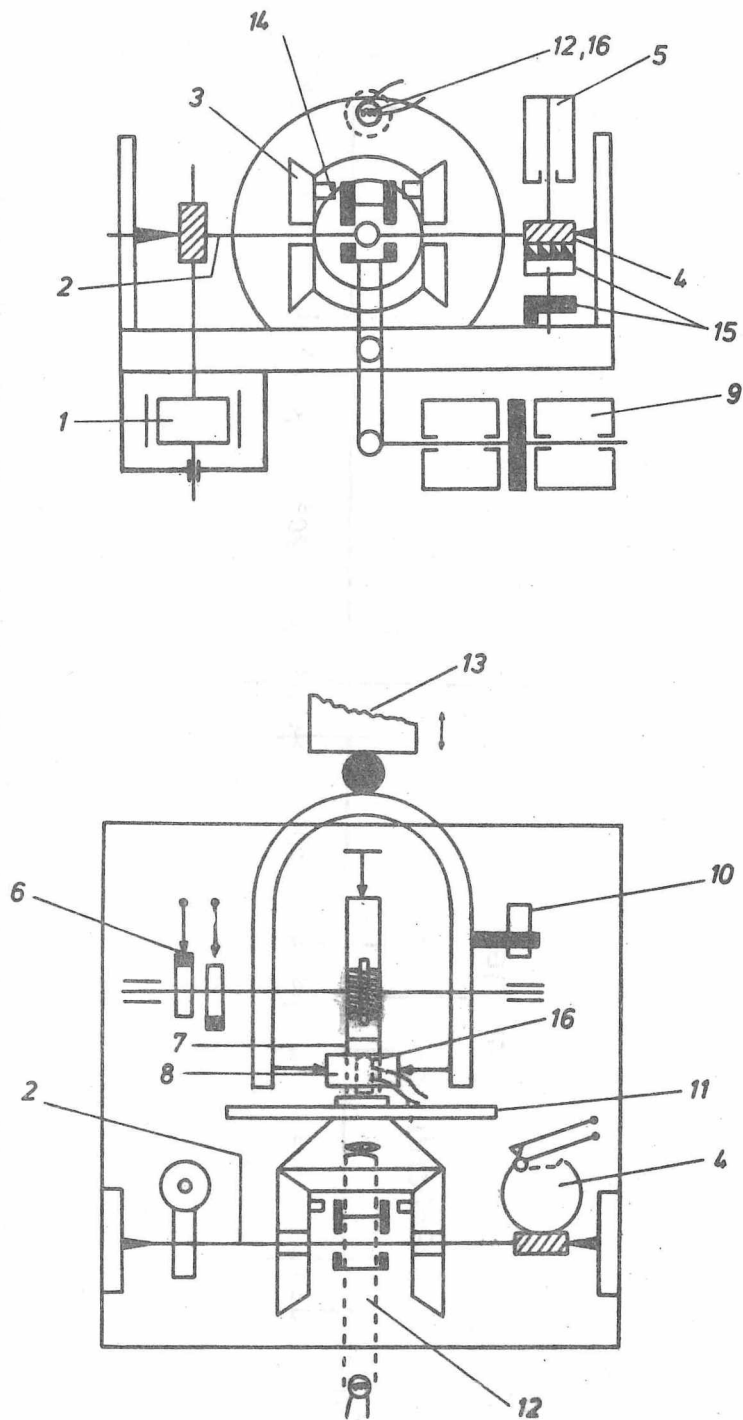


Abb. 4. Der Antriebsmechanismus (schematisch) des PZT-Flattenwagens
(nach ENGELBRECHT [17])

Neben dem Plattenwagen wird durch die Antriebsspindel eine 20 : 1 untersetzte Welle mit den Nockenscheiben 6 gedreht, durch die der Stoppkontakt und die Relais-schaltung zum Umlegen des Instrumentenkopfes ausgelöst werden. Jeweils nach dem 7 s dauernden Umlegen wird 3 s später ein neuer Belichtungsvorgang ausgelöst. Der Beobachtungszyklus wird über ein Zeitrelais in der Steuereinrichtung gestoppt. Mit der Antriebsspindel ist eine Piacrilscheibe 11 verbunden, die zur Zeitkontaktgabe dient. In dieser geschwärzten Piacrilscheibe befindet sich ein Lichtspalt, der das von einer Lampe mit optischer Abbildungseinrichtung 12 kommende Licht bei entsprechender Stellung der Scheibe hindurchläßt und dadurch die Abbildung des Lampenwendels auf eine Photodiode 16 ermöglicht. Hierdurch wird ein Startimpuls erzeugt, der einen elektronischen Zeitintervallmesser auslöst. Den Stoppimpuls erhält dieser durch die Sekundenkontakte des elektronischen Zeitdienstes des geodätisch-astronomischen Observatoriums. Beim Drehen der Antriebsspindel werden auf diesem Wege je Belichtung die Sekundenbruchteile eines Zeitpunktes registriert. Das Mittel der vier registrierten Zeiten entspricht den Sekundenbruchteilen der zeitlichen Mitte des Beobachtungszyklus. Der Antrieb der Sekundenwelle 2 erfolgt durch einen 1000-Hz-Synchronmotor 1, der durch die Normalfrequenz einer Quarzuhr gesteuert wird.

In Abb. 5 ist das Funktionsschema des PZT wiedergegeben. Die unter der gestrichelten Linie dargestellten Einheiten befinden sich am Instrument, während die darüber verzeichneten in einem separaten Steuerraum untergebracht sind.

Der Beobachtungszyklus kann für jeden Stern durch Handstart oder für das gesamte Programm einer Nacht durch den Programmgeber ausgelöst werden. Der vorstehend beschriebene Aufbau des Antriebsmechanismus und seine Zuordnung zur Zeitkontaktgabe gewährleisten eine von Justierfehlern weitgehend unbeeinflusste Relation der Sternbilder zum Zeitkontakt.

Verstreicht bei einer Belichtung vom Bewegungsbeginn bis zur Zeitkontaktgabe ein Zeitintervall Δt , so beträgt in der um 180° gedrehten Lage des Instrumentenkopfes das Zeitintervall $2 s - \Delta t$. Das Mittel aus den Zeitregistrierungen aller vier Belichtungen würde demnach die um 1 s verschobene zeitliche Mitte der Belichtungen ergeben. Diese notwendige Korrektur ist für die Auswertung der PZT-Beobachtung jedoch ohne Bedeutung, da ohnehin nur die Bruchteile von Sekunden berücksichtigt werden.

In ähnlicher Weise wie beim Zeitintervall von Bewegungsbeginn bis Zeitkontaktgabe werden durch die gegenläufige Bewegung in beiden Lagen des Instrumentenkopfes unterschiedliche Stellungen der Mitnehmerstifte 14 (Abb. 4) kompensiert. Unregelmäßige Fehler im Getriebe werden durch zeitliche Summierung bei der Belichtung ausgeglichen.

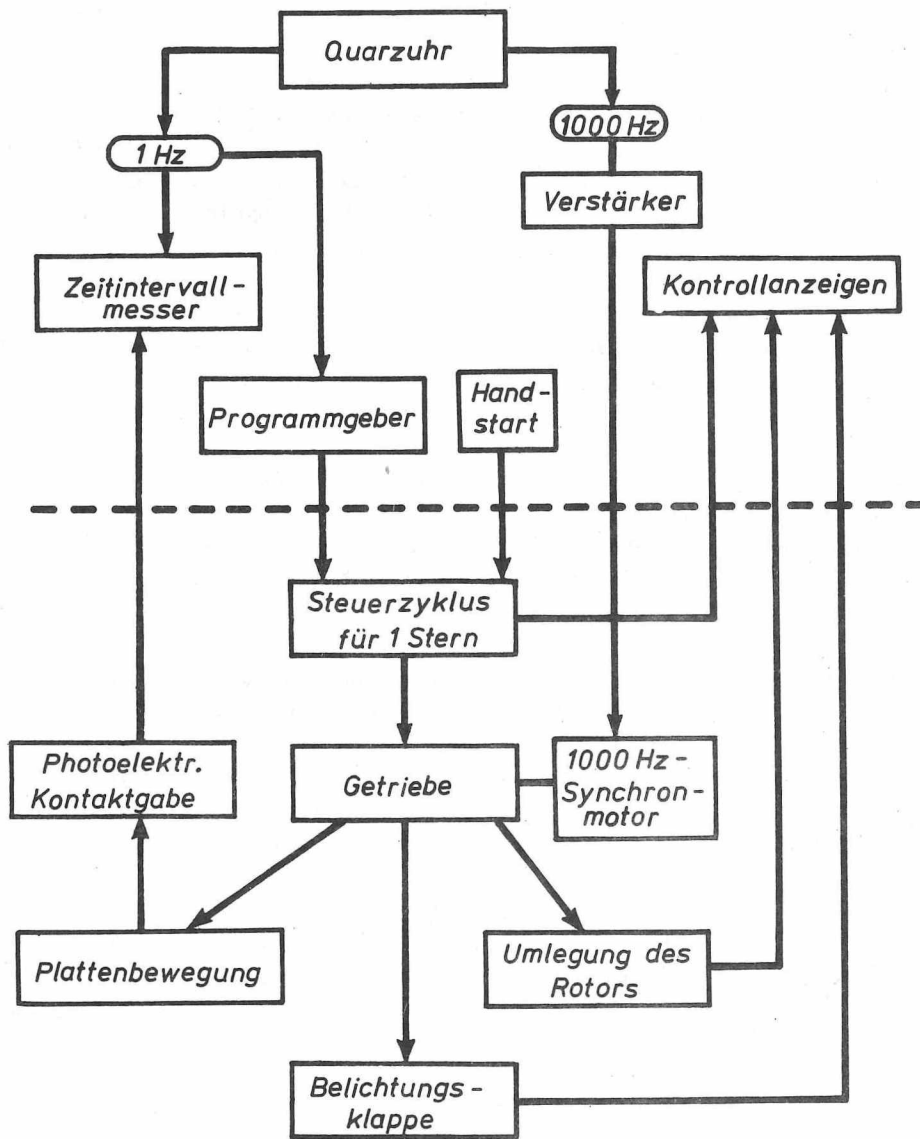


Abb. 5. Funktionsschema des PZT

3. Theorie der Auswertung

3.1. Grundlegende Beziehungen zwischen Bildkoordinaten, Deklination, Stundenwinkel und geographischer Breite

Wir legen ein Bildkoordinatensystem fest, dessen y' -Achse nach Süden und dessen x' -Achse nach Westen zeigt. Ein räumliches rechtwinkliges Koordinatensystem wird so orientiert, daß seine positive z -Achse nach dem Nordpol zeigt, die x -Achse parallel zur x' -Achse ist und die y -Achse in der Meridianebene liegt.

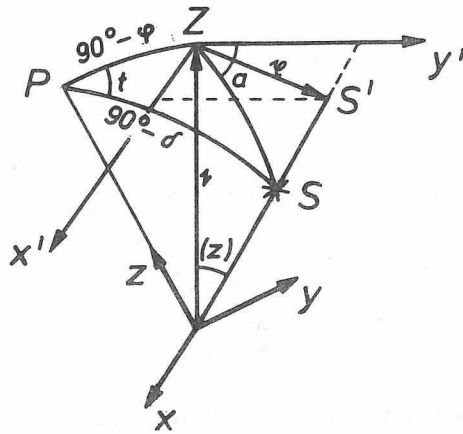


Abb. 6. Bildkoordinatensystem und räumliches Koordinatensystem

Abb. 6 zeigt die gegenseitige Lage der verschiedenen Koordinatensysteme. Im räumlichen Koordinatensystem wird der Einheitsvektor in Richtung des Sterns

$$(1) \quad \mathbf{s} = \begin{pmatrix} \cos \delta \sin t \\ \cos \delta \cos t \\ \sin \delta \end{pmatrix} .$$

Die Fernrohrachse (Abbildungskonstante c) wird durch den Vektor

$$(2) \quad \mathbf{c} = c \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{pmatrix}$$

dargestellt. Das Bildkoordinatensystem ist durch die Einheitsvektoren in Richtung seiner Koordinatenachsen definiert:

$$(3) \quad \mathbf{i}' = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{j}' = \begin{bmatrix} 0 \\ \sin \varphi \\ -\cos \varphi \end{bmatrix}.$$

Den Ortsvektor des Sternbildes in der Bildebene erhält man nach der vektoriellen Beziehung

$$(4) \quad \mathbf{r} = \lambda \mathbf{s} - \mathbf{c},$$

worin sich λ aus dem skalaren Produkt

$$\mathbf{r} \cdot \mathbf{c} = \lambda \mathbf{s} \cdot \mathbf{c} - c^2 = 0$$

zu

$$(5) \quad \lambda = \frac{c^2}{\mathbf{s} \cdot \mathbf{c}}$$

ergibt.

Aus (4) erhält man die Bildkoordinaten auf Grund der Beziehungen

$$(6) \quad \begin{cases} x' = \mathbf{r} \cdot \mathbf{i}' = \lambda \mathbf{s} \cdot \mathbf{i}' = c^2 \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{i}'}{\mathbf{s} \cdot \mathbf{c}}, \\ y' = \mathbf{r} \cdot \mathbf{j}' = \lambda \mathbf{s} \cdot \mathbf{j}' = c^2 \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{j}'}{\mathbf{s} \cdot \mathbf{c}}. \end{cases}$$

Unter Berücksichtigung der Formeln (1), (2) und (3) ergeben sich aus (6) folgende Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten, den astronomischen Äquatorialkoordinaten und der geographischen Breite:

$$(7) \quad \begin{cases} x' = c \frac{\cos \delta \sin t}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t}, \\ y' = c \frac{\sin \varphi \cos \delta \cos t - \cos \varphi \sin \delta}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t}. \end{cases}$$

(7) bezeichnen wir im folgenden als Abbildungsgleichungen.

3.1.1. Betrachtungen zum Refraktionseinfluß

Formel (7) stellt die rein geometrische Beziehung zwischen den astronomischen und den Bildkoordinaten dar. In ihr ist der tatsächliche Verlauf des Lichtstrahls, der bekanntlich infolge der astronomischen Refraktion gekrümmt ist, noch nicht berücksichtigt.

Um den Einfluß der Refraktion betrachten zu können, leiten wir nach Abb. 6 die Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten und dem Horizontsystem ab. Diese werden:

$$(8) \quad x' = f \tan z \sin a, \quad y' = f \tan z \cos a.$$

In (8) ist $f \approx c$ die Brennweite des PZT und z die Zenitdistanz. Zwischen der tatsächlichen Zenitdistanz z und der infolge Refraktion verfälschten z_R besteht bekanntlich die Beziehung

$$(9) \quad z - z_R = r_0 \tan z,$$

worin $r_0 = 0,000294$ die Refraktionskonstante ist. Da mit dem PZT nur zenitnahe Sterne beobachtet werden, gilt näherungsweise

$$z \approx \tan z,$$

so daß sich aus (9)

$$(10) \quad \tan z_R = (1 - r_0) \tan z$$

ergibt. Aus (10) folgt, daß die Beziehungen (8) gültig bleiben, wenn

$$c = (1 - r_0) f$$

gesetzt wird. Demnach kann die Refraktion unberücksichtigt bleiben, wenn das Auswertverfahren beim PZT so gestaltet wird, daß c als Unbekannte mitbestimmt wird.

Auf gleichem Wege werden eventuell vorhandene lineare Anteile der Verzeichnung des Objektivs kompensiert. Der Einfluß von Verzeichnungsanteilen höherer Ordnung kann wegen der geringen Neigung der Hauptstrahlen gegenüber der optischen Achse vernachlässigt werden.

3.1.2. Reihenentwicklungen der Abbildungsgleichungen

Da mit dem PZT zenitnahe Sterne beobachtet werden, ist es möglich, in (7) für die Winkelfunktionen der Stundenwinkel Reihenentwicklungen einzuführen. Setzen wir

$$\cos t = 1 - \frac{t^2}{2}, \quad \sin t = t - \frac{t^3}{6}$$

und berücksichtigen, daß für die Meridianzenitdistanz

$$z_m = \varphi - \delta$$

gilt, so wird

$$\begin{aligned} \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta &= \cos z_m \approx 1 - \frac{z_m^2}{2}, \\ \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta &= \sin z_m \approx z_m - \frac{z_m^3}{6}. \end{aligned}$$

Stellen wir die noch verbleibenden Funktionen von δ als Funktionen der geographischen Breite φ und der Zenitdistanz z_m dar, so erhält man nach einigen elementaren Umformungen aus (7):

$$(11) \begin{cases} x' = c \cos \varphi t + c \sin \varphi z_m t + \frac{c}{2} \cos \varphi (\cos^2 \varphi - \frac{1}{3}) t^3 \dots, \\ y' = c z_m - \frac{c}{4} \sin 2 \varphi t^2 + \frac{c}{2} \cos 2 \varphi z_m t^2 + \frac{c}{2} z_m^3 \dots \end{cases}$$

Wir wollen untersuchen, welche Fehler durch die Vernachlässigung der Glieder 3. Ordnung entstehen. Für das Potsdamer PZT gelten folgende Parameter:

$$\begin{aligned} \varphi &= 52^{\circ}24', & \cos \varphi &= 0,6101, \\ c &= 3773 \text{ mm}, & \sin \varphi &= 0,7923. \end{aligned}$$

Die maximale Zenitdistanz, die noch beobachtet werden kann, beträgt

$$z_m = 15',$$

und ein Stundenwinkel kann

$$t = 60^s$$

nicht überschreiten. Mit diesen Werten ergeben sich folgende Glieder 3. Ordnung:

$$\frac{c}{2} \cos \varphi (\cos^2 \varphi - \frac{1}{3}) t^3 = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ mm},$$

$$\frac{c}{2} \cos 2 \varphi z_m t^2 + \frac{c}{3} z_m^3 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mm}.$$

Beide Glieder liefern Maximalfehler, die weit unter der Standardabweichung der Bildkoordinatenmessung ($\approx \pm 2 \mu\text{m}$) liegen. Den weiteren Untersuchungen können die Gleichungen

$$(12) \quad x' = c \cos \varphi t + c \sin \varphi z_m t, \quad y' = c z_m - \frac{c}{4} \sin 2 \varphi t^2$$

zugrunde gelegt werden.

3.1.3. Die Modifikation der Abbildungsgleichungen infolge der Bewegung des Plattenträgers während der Belichtung

In den bisherigen Untersuchungen wurde ein statischer Abbildungsprozeß vorausgesetzt. Tatsächlich ist der Abbildungsprozeß infolge der endlichen Belichtungszeit und der hierdurch erforderlichen Nachführung der Platte dynamisch. Dies muß bei den der Auswertung zugrunde liegenden Gleichungen berücksichtigt werden.

Für die weiteren Untersuchungen führen wir folgende Größen ein: t_0 sei der Zeitpunkt des Beginns der Belichtung, τ die Belichtungszeit (Zeit der Nachführung), $t_M = t_0 + \tau/2$ die Mitte der Belichtung und t_m der Zeitpunkt des Meridiandurch-

gangs. t ist im folgenden die fortlaufende Zeitzählung. Mit vorstehenden Bezeichnungen ergibt sich nach (12):

$$(13) \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho} \cos \varphi (t - t_m) + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m (t - t_m) \\ \frac{c}{\rho} z_m - \frac{c}{4} \frac{225}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t - t_m)^2 \end{pmatrix} .$$

In (13) wurde noch berücksichtigt, daß t in Zeitsekunden und z_m in Winkelsekunden in die Berechnungen eingeführt werden.

Aus (13) erhalten wir die Bewegungsgeschwindigkeit eines Sternbildes in der Bildebene

$$(14) \quad \underline{v}_s = \frac{d\underline{x}}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho} \cos \varphi + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m \\ -\frac{c}{2} \frac{225}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t - t_m) \end{pmatrix}$$

(14) gibt die Bewegungsgeschwindigkeit des PZT-Plattenträgers an, die zur Erzeugung einer punktförmigen Abbildung des Sterns erforderlich ist. Da beim PZT eine geradlinige Bewegung in Richtung der x' -Achse des Bildkoordinatensystems mit der Geschwindigkeit $15 c \cos \varphi / \rho$ erfolgt, ist strenggenommen eine punktförmige Abbildung a priori nicht gewährleistet. Neben diesem konstruktiv bedingten Fehlereinfluß muß noch berücksichtigt werden, daß die Bewegungsrichtung des Plattenwagens mit der x' -Achse einen Winkel α (Plattenwagenazimut) einschließen kann. Auch kann die tatsächliche Bewegungsgeschwindigkeit v_p vom genannten Sollwert abweichen. Bezeichnen wir den Geschwindigkeitsvektor der Plattenbewegung mit

$$(15) \quad \underline{v}_p = \begin{pmatrix} v_p \cos \alpha \\ -v_p \sin \alpha \end{pmatrix},$$

so wird die notwendige Bedingung $\underline{v}_s - \underline{v}_p = 0$ in der Regel nicht erfüllt, und wir müssen mit einer Geschwindigkeitsdifferenz

$$(16) \quad \Delta \underline{v} = \underline{v}_s - \underline{v}_p$$

rechnen, infolge der wir einen Lagefehler des Schwerpunktes des Sternbildes

$$(17) \quad \Delta \underline{x} = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta \tau} \Delta \underline{v} dt$$

erhalten. Mit

$$\Delta s = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho} \cos \varphi + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m - v_p \cos \alpha \\ -\frac{c}{2} \frac{225}{\rho^2} \sin 2\varphi (t - t_m) + v_p \sin \alpha \end{pmatrix}$$

ergibt sich nach (17)

$$(18) \Delta \xi = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \frac{\tau}{2} + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m \frac{\tau}{2} - v_p \cos \alpha \frac{\tau}{2} \\ -\frac{c}{4} \frac{225}{\rho^2} \sin 2\varphi (t_0 - t_m + \frac{\tau}{2}) + v_p \sin \alpha \frac{\tau}{2} \end{pmatrix}.$$

Setzen wir

$$v_p = \frac{15c}{\rho} \cos \varphi + \Delta v,$$

so wird

$$(19) \Delta \xi = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \frac{\tau}{2} + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m \frac{\tau}{2} - (\frac{15c}{\rho} \cos \varphi + \Delta v) \cos \alpha \frac{\tau}{2} \\ -\frac{c}{4} \frac{225}{\rho^2} \sin 2\varphi (t_0 - t_m + \frac{\tau}{2}) + (\frac{15c}{\rho} \cos \varphi + \Delta v) \sin \alpha \frac{\tau}{2} \end{pmatrix}.$$

Für $\Delta s = 0$ und $\alpha = 0$ erhalten wir aus (19) den konstruktiv bedingten Lagefehler

$$(20) \Delta \xi = \begin{pmatrix} \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi z_m \frac{\tau}{2} \\ -\frac{c}{4} \frac{225}{\rho^2} \sin 2\varphi (t_0 - t_m + \frac{\tau}{2}) \end{pmatrix}.$$

Mit (13) ergibt sich nach

$$(\underline{x}) = \underline{x}_0(t_0) + \Delta \xi$$

die modifizierte Abbildungsgleichung. Für ihre Komponenten erhalten wir unter Berücksichtigung kleiner Winkel α :

$$(21) \begin{cases} (x'_0) = \frac{15c}{\rho} (t_0 - t_m) + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi (t_m - t_m) z_m + \frac{15c}{4\rho^3} \cos \varphi \alpha^2 \tau - \frac{\Delta v}{2} \tau, \\ (y'_0) = \frac{c}{\rho} z_m - \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2\varphi (t_0 - t_m)^2 - \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2\varphi (t_m - t_m) + \\ + \frac{15c}{2\rho^2} \alpha \tau + \frac{1}{2\rho} \tau \Delta v \alpha. \end{cases}$$

Vorstehende Gleichungen sind die Abbildungsgleichungen des PZT bei Berücksichtigung des dynamischen Belichtungsvorgangs. Um zu Gleichungen zu kommen, die der Auswertung der PZT-Beobachtungen zugrunde gelegt werden können, muß zunächst der Ablauf des Beobachtungszyklus näher analysiert werden.

3.2. Der Beobachtungszyklus

Bei der Beobachtung des Sterndurchgangs mit dem PZT werden vier Belichtungen ausgeführt. Zwischen jeder Belichtung wird die Platte um 180° gedreht (Umlegung). Im allgemeinen beginnt der Beobachtungszyklus, wenn sich der Antriebsmotor für die Plattennachführung östlich vom Meridian (Lage-Ost) befindet. In dieser Situation soll die in Abb. 6 dargestellte Lage des Bildkoordinatensystems (Positivbild) vorliegen. In Abb. 7 ist die Entstehung der vier belichteten Sternbilder nach dem in Abb. 2 gegebenen Zeitverlauf dargestellt.

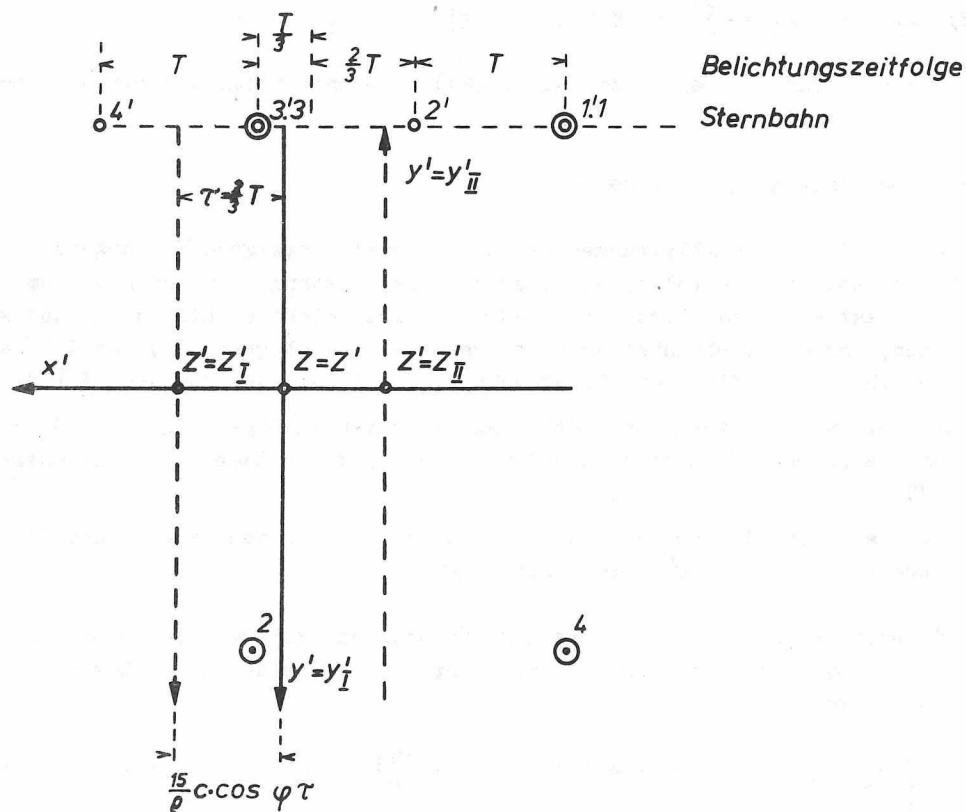


Abb. 7. Die gegenseitige Lage der Sternbilder

5^s nach Auslösen des Beobachtungszyklus beginnt die erste Belichtung ($\tau = 20^s$), während der der Plattenwagen nachgeführt wird. Fallen zu Beginn der Belichtungen Zenitbild und Plattenzeit ($Z = Z'$) zusammen, so wird infolge der Plattenbewegung Z' in die Position ($Z' = Z'_I$) verschoben. Der Verschiebungsbetrag ist $15c \cos \varphi \tau / \rho$. Durch die Umlegung kommt das Plattenzenit in die Position ($Z' = Z'_{II}$) und wird bei der nachfolgenden Verschiebung in die Ausgangsposition ($Z = Z'$) transportiert. Für die dritte und vierte Belichtung wiederholt sich der Vorgang in gleicher Weise.

In Abb. 7 sind die Sternpositionen (1', 2', 3', 4') in der Bildebene zu Beginn der Belichtung dargestellt. Die Belichtung der Positionen 1' und 3' erfolgt in Lage-Ost, so daß deren Bilder auf der Photoplatte die gleiche Lage wie in der Bildebene haben. Die Belichtung von 2' und 4' erfolgt bei um 180° gedrehter und um $15c \cos \varphi \tau / \rho$ verschobener Platte, wodurch die photographischen Bilder in die Positionen 2 und 4 kommen.

Bezeichnet man die Bildkoordinaten in der Ausgangslage (Bild 1 und 3) mit x'_I und y'_I , so gilt auf Grund der Drehung und Verschiebung der Platte für die zweite Lage

$$(22) \quad x'_{II} = -x'_I - \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \tau, \quad y'_{II} = -y'_I.$$

In (22) sind für die Lage I die durch (21) gegebenen Bildkoordinaten einzuführen.

3.2.1. Der Einfluß des Umlegefehlers

In den bisherigen Ableitungen hatten wir stillschweigend vorausgesetzt, daß die Umlegung fehlerfrei erfolgt, d.h., es wird der Instrumentenkopf genau um 180° gedreht. Praktisch wird diese Voraussetzung jedoch nicht erfüllt sein, und wir müssen annehmen, daß der Drehwinkel um einen Betrag ω (Umlegefehler) von 180° abweicht. Dieser Fehler beeinflusst die Bildkoordinaten auf zwei verschiedene Arten:

1. Die Bewegungsrichtung des Plattenwagens erhält in Lage II einen anderen Azimutfehler als in Lage I. Hierdurch ändern sich für diese Lage die Abbildungsgleichungen (21).
2. Die Transformation zwischen den Bildkoordinaten in den Lagen I und II ist mit einem Drehwinkel $180^\circ + \omega$ durchzuführen.

Die erste Wirkung des Umlegefehlers berücksichtigen wir, indem wir in (21) α durch $(\alpha + \omega)$ ersetzen, und die Transformation zwischen den Bildkoordinaten erfolgt nach den Formeln

$$(23) \quad \begin{cases} x'_{II} = -(x') \cos \omega + (y') \sin \omega - \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \tau \approx -(x') + (y') \frac{\omega}{\rho} - \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \tau, \\ y'_{II} = -(y') \cos \omega - (x') \sin \omega \approx -(y') - (x') \frac{\omega}{\rho}. \end{cases}$$

Eine Untersuchung der Größenordnung der Koeffizienten von α und ω ergibt, daß man sich wegen der kleinen Werte dieser Winkel in unseren Abbildungsgleichungen auf

lineare Glieder beschränken kann. Unter Berücksichtigung von (22) und (23) ergeben sich aus (21) folgende Abbildungsgleichungen:

$$(24) \quad \left\{ \begin{array}{l} x_I^i = \frac{15c}{\rho} \cos \varphi (t_0 - t_m) + \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi (t_M - t_m) z_m - \frac{\tau}{2} \Delta v, \\ y_I^i = \frac{c}{\rho} z_m - \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t_0 - t_m)^2 - \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t_M - t_m) \tau + \\ \quad + \frac{15c}{2\rho^2} \cos \varphi \tau \alpha, \\ x_{II}^i = \frac{15c}{\rho} \cos \varphi (t_0 - t_m) - \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi (t_M - t_m) z_m + \frac{\tau}{2} \Delta v + \frac{c}{\rho} z_m \omega - \\ \quad - \frac{15c}{\rho} \cos \varphi \tau, \\ y_{II}^i = -\frac{c}{\rho} z_m + \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t_0 - t_m)^2 + \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2 \varphi (t_M - t_m) \tau - \\ \quad - \frac{15c}{2\rho^2} \cos \varphi \tau \alpha - \frac{15c}{\rho^2} \cos \varphi (t_0 - t_m) \omega. \end{array} \right.$$

In (24) führen wir für die vom Aufstellungsort und der Konstruktion des PZT abhängigen Koeffizienten folgende Bezeichnungen ein:

$$(25) \quad \left\{ \begin{array}{l} a_x = \frac{15c}{\rho} \cos \varphi, \quad b_x = \frac{15c}{\rho^2} \sin \varphi, \\ a_y = \frac{c}{\rho}, \quad b_y = \frac{225}{4} \frac{c}{\rho^2} \sin 2 \varphi. \end{array} \right.$$

Hiermit erhält man aus (24) folgende Form der Abbildungsgleichungen:

$$(26) \quad \left\{ \begin{array}{l} x_I^i = a_x (t_0 - t_m) + b_x (t_M - t_m) z_m - \frac{\tau}{2} \Delta v, \\ y_I^i = a_y z_m - b_y \left\{ (t_0 - t_m)^2 + (t_M - t_m) \tau \right\} + \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha, \\ x_{II}^i = -a_x (t_0 - t_m) - b_x (t_M - t_m) z_m + \frac{\tau}{2} \Delta v + \frac{a_y}{\rho} z_m \omega - a_x \tau, \\ y_{II}^i = -a_y z_m + b_y \left\{ (t_0 - t_m)^2 + (t_M - t_m) \tau \right\} - \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha - \frac{a_x}{\rho} (t_0 - t_m) \omega. \end{array} \right.$$

3.3. Die Beziehungen zwischen dem Koordinatensystem des Auswertegerätes und dem Bildkoordinatensystem

Die Auswertung der PZT-Platten wird im geodätisch-astronomischen Observatorium Potsdam mit dem Koordinatenmeßgerät "Ascorecord" des VEB Carl Zeiss Jena durchgeführt. Dabei ergeben sich die Koordinatenwerte im System des Meßgerätes. Die Messung erfolgt an den belichteten Negativplatten der PZT-Beobachtung.

Für eine geschlossene Form der Auswertung ist es zweckmäßig, die Abbildungsbeziehung zwischen gemessenen Koordinaten - im System des Koordinatenmeßgerätes - und den sphärischen Werten z_m und t_m herzustellen. Abb. 8 stellt die Beziehungen zwischen

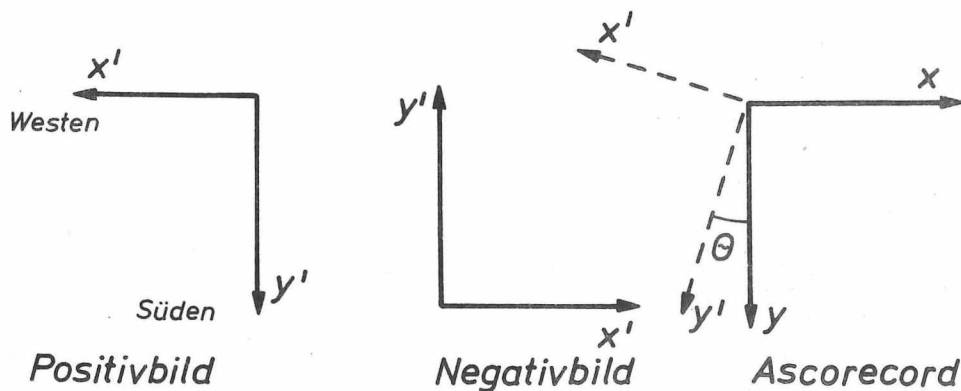


Abb. 8. Die gegenseitige Lage der Koordinatensysteme des Positivbildes, des Negativbildes und des Koordinatenmeßgerätes

den Koordinatensystemen des Positivbildes, des Negativbildes und des Koordinatenmeßgerätes dar.

Berücksichtigen wir noch, daß im allgemeinen zwischen dem Bildkoordinaten- und dem Gerätekoordinatensystem ein Orientierungsfehler θ besteht, so liest man aus Abb. 8 leicht folgende Transformationsgleichungen ab:

$$(27) \quad y' = y \cos \theta - x \sin \theta + y_0, \quad x' = -x \cos \theta - y \sin \theta + x_0.$$

3.4. Ableitung der Grundformeln für die Auswertung

Die Bestimmung der geographischen Breite und Uhrkorrektur erfolgt nach den Formeln

$$(28) \quad \varphi = \delta + z_m, \quad \Delta U = k (\alpha - \lambda - SZ_{0_{Gr}}) - t_m + 0,021;$$

dabei sind δ die Deklination, α die Rektaszension, λ die geographische Länge, $SZ_{0_{Gr}}$ die Sternzeit für 0^h Weltzeit, $k = 0,997\,269\,57$ der Umrechnungsfaktor von Sternzeitintervallen in Intervalle der mittleren Zeit und $0,021$ die Korrektur infolge täglicher Aberration. z_m und t_m gehen in die abgeleiteten Abbildungsgleichungen ein und sind im Auswerteverfahren zu ermitteln.

Ferner hatten wir in Abschnitt 3.1.1. festgestellt, daß es zur Ausschaltung des während der Beobachtung konstanten Anteils der astronomischen Refraktion erforderlich ist, die Abbildungskonstante c im Auswerteverfahren zu bestimmen. c ist im Formelsystem (26) im Koeffizienten a_x (Maßstabsfaktor) enthalten, den wir als weitere Unbekannte in die Auswertung einführen wollen.

Die Transformationsbeziehung (27) ist uns a priori ebenfalls unbekannt. Wir wollen deren Konstanten jedoch nur insoweit explizit angeben, wie es für den Auswertevorgang erforderlich ist.

ω und α lassen sich wegen der Struktur der Matrix, die sich aus den Abbildungsbeziehungen für einen Sterndurchgang ergibt, nicht im Auswerteverfahren, sondern nur durch zusätzliche Meßmittel oder speziell angeordnete Beobachtungsverfahren bestimmen. Als Beobachtungswerte liegen dem Auswerteverfahren die gemessenen Bildkoordinaten (x_i, y_i) und die - zumindest in Bruchteilen der Sekunde - registrierte Zeit der Mitte des Beobachtungszyklus zugrunde.

3.4.1. Die Abbildungsgleichungen für einen Sterndurchgang

Während eines Sterndurchgangs erfolgen die Belichtungen der Bilder 1 und 3 in Lage I und die der Bilder 2 und 4 in Lage II. Berücksichtigt man dies, so erhält man aus (26) und (27) folgende Abbildungsgleichungen für die vier Bilder eines Sterndurchgangs:

$$(29a) \left\{ \begin{array}{l} x_0 - x_1 \cos \theta - y_1 \sin \theta = a_x (t_1 - t_m) + b_x z_m (t_{M_1} - t_m) - \frac{f}{2} \Delta v, \\ x_0 - x_2 \cos \theta - y_2 \sin \theta = -a_x (t_2 - t_m) - b_x z_m (t_{M_2} - t_m) + \frac{f}{2} \Delta v + \\ \quad + \frac{a_y}{\rho} z_m \omega - a_x \tau, \\ x_0 - x_3 \cos \theta - y_3 \sin \theta = a_x (t_3 - t_m) + b_x z_m (t_{M_3} - t_m) - \frac{f}{2} \Delta v, \\ x_0 - x_4 \cos \theta - y_4 \sin \theta = -a_x (t_4 - t_m) - b_x z_m (t_{M_4} - t_m) + \frac{f}{2} \Delta v + \\ \quad + \frac{a_y}{\rho} z_m \omega - a_x \tau, \end{array} \right.$$

$$(29b) \left\{ \begin{array}{l} y_0 + y_1 \cos \theta - x_1 \sin \theta = a_y z_m - b_y \left\{ (t_1 - t_m)^2 + (t_{M_1} - t_m) \tau \right\} + \\ \quad + \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha, \\ y_0 + y_2 \cos \theta - x_2 \sin \theta = -a_y z_m + b_y \left\{ (t_2 - t_m)^2 + (t_{M_2} - t_m) \tau \right\} - \\ \quad - \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha - \frac{a_x}{\rho} (t_2 - t_m) \omega, \\ y_0 + y_3 \cos \theta - x_3 \sin \theta = a_y z_m - b_y \left\{ (t_3 - t_m)^2 + (t_{M_3} - t_m) \tau \right\} + \\ \quad + \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha, \\ y_0 + y_4 \cos \theta - x_4 \sin \theta = -a_y z_m + b_y \left\{ (t_4 - t_m)^2 + (t_{M_4} - t_m) \tau \right\} - \\ \quad - \frac{a_x}{2\rho} \tau \alpha - \frac{a_x}{\rho} (t_4 - t_m) \omega. \end{array} \right.$$

In vorstehenden Gleichungen wurden mit t_1, t_2, t_3, t_4 die Zeitpunkte des Beginns der Belichtungen und mit $t_{M_1}, t_{M_2}, t_{M_3}, t_{M_4}$ die der Belichtungsmitten bezeichnet. Die Belichtungen erfolgen in Abständen von $T = 30^s$, so daß in den folgenden Ableitungen die Beziehungen

$$(30) \quad \begin{aligned} t_2 &= t_1 + T, & t_{M_2} &= t_{M_1} + T, \\ t_3 &= t_1 + 2T, & t_{M_3} &= t_{M_1} + 2T, \\ t_4 &= t_1 + 3T, & t_{M_4} &= t_{M_1} + 3T \end{aligned}$$

berücksichtigt werden können.

3.4.2. Orientierungsunbekannte θ und Maßstabsfaktor a_x

Die Berechnung der Orientierungsunbekannten erfolgt mit Hilfe des Gleichungssystems (29b). Durch entsprechende Subtraktion und Addition gewinnt man folgende Gleichung:

$$(31) \quad \begin{aligned} (y_4 - y_2 + y_1 - y_3) \cos \theta - (x_4 - x_2 + x_1 - x_3) \sin \theta = \\ = b_y \left\{ (t_4 - t_m)^2 - (t_2 - t_m)^2 + (t_3 - t_m)^2 - (t_1 - t_m)^2 + \right. \\ \left. + (t_{M_4} - t_{M_2} + t_{M_3} - t_{M_1})\tau \right\} - \frac{a_x}{\rho} (t_4 - t_2) \omega . \end{aligned}$$

Den mit b_y multiplizierten Ausdruck in vorstehender Formel kann man mit Berücksichtigung von (30) in folgende Form bringen:

$$\begin{aligned} (t_4 - t_m)^2 - (t_2 - t_m)^2 + (t_3 - t_m)^2 - (t_1 - t_m)^2 + (t_{M_4} - t_{M_2} + t_{M_3} - t_{M_1})\tau = \\ = 2T (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 - 4t_m + 2\tau) . \end{aligned}$$

Dieser Zeitausdruck läßt sich auf Grund des Gleichungssystems (29b) als Funktion der Bildkoordinaten darstellen. Mit

$$(32) \quad t_S = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

ergibt sich

$$t_S - 4t_m + 2\tau = \frac{1}{a_x + b_x z_m} \left\{ (x_2 - x_1 + x_4 - x_3) \cos \theta + (y_2 - y_1 + y_4 - y_3) \sin \theta \right\} .$$

Setzen wir dies in (31) ein und berücksichtigen die Beziehungen

$$(33) \quad \begin{cases} y_a = y_1 - y_2 - y_3 + y_4, & x_a = x_1 - x_2 - x_3 + x_4, \\ y_t = -y_1 + y_2 - y_3 + y_4, & x_t = -x_1 + x_2 - x_3 + x_4, \end{cases}$$

so erhalten wir zur Bestimmung der Orientierungsunbekannten folgende Formel:

$$(34) \quad \tan \theta = \frac{y_a}{x_a} - \frac{2T b_y}{a_x + b_x(z_m)} \left(\frac{x_t}{x_a} + \frac{y_t y_a}{x_a^2} \right) + \frac{2a_x T}{\rho x_a} \omega .$$

Die in vorstehende Formel eingehenden Werte a_x , b_x , b_y und z_m werden genügend genau auf Grund der annähernd bekannten geographischen Breite, der Brennweite und der Deklination des Sterns berechnet.

Zur Ermittlung des Maßstabsfaktors bilden wir aus (29a) den Ausdruck

$$\begin{aligned} (x_1 - x_3 - x_2 + x_4) \cos \theta + (y_1 - y_3 - y_2 + y_4) \sin \theta &= \\ &= a_x (t_3 - t_1 + t_4 - t_2) + b_x z_m (t_{M_3} - t_{M_1} + t_{M_4} - t_{M_2}) . \end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung von (30) und (33) wird

$$(35) \quad a_x = \frac{1}{4T} (x_a \cos \theta + y_a \sin \theta) - b_x(z_m) .$$

Aus (35) erhalten wir den für die Berechnung der Breite erforderlichen Maßstabsfaktor

$$(36) \quad a_y = \frac{a_x}{15 \cos \varphi}$$

und die Abbildungskonstante

$$(37) \quad c = a_y \rho = \frac{a_x}{15 \cos \varphi} \rho .$$

3.4.3. Zeit und Zenitdistanz des Meridiandurchgangs

Die Meridiandurchgangszeit erhält man aus (29a) unter Berücksichtigung von (30), (32) und (33) zu

$$(38) \quad t_m = \frac{1}{4} t_B + \frac{\tau}{2} - \frac{x_t \cos \theta + y_t \sin \theta}{4(a_x + b_x(z_m))} - \frac{1}{2} \frac{\tau \Delta v}{a_x + b_x(z_m)} - \frac{1}{2} \frac{a_y(z_m)}{a_x + b_x(z_m)} \frac{\omega}{\rho} .$$

In vorstehender Formel ist $1/4 t_B + \tau/2$ die Zeitmitte des Beobachtungszyklus. Dieser Wert wird als Mittel der Zeitregistrierungen während der vier Belichtungsvorgänge erhalten.

Zur Berechnung der Zenitdistanz wird aus (29b) unter Berücksichtigung von (33) die Gleichung

$$\begin{aligned} (39) \quad -y_t \cos \theta + x_t \sin \theta &= 4a_y z_m - b_y \left\{ (t_1 - t_m)^2 + (t_2 - t_m)^2 + \right. \\ &+ (t_3 - t_m)^2 + (t_4 - t_m)^2 + \tau (t_{M_1} + t_{M_2} + t_{M_3} + t_{M_4} - 4t_m) \left. \right\} + \frac{2a_x}{\rho} \tau \alpha + \\ &+ \frac{a_x}{\rho} (t_2 - t_4 - 2t_m) \omega \end{aligned}$$

abgeleitet. Zur Berechnung des mit b_y multiplizierten Klammerausdrucks werden außer t_1 sämtliche Belichtungszeiten durch die Beziehungen (30) dargestellt. In dem umgewandelten Ausdruck ist außer den bekannten Werten T und τ nur noch die Differenz $t_1 - t_m$ enthalten. Da b_y ein kleiner Wert ist, können wir bei der Berechnung dieser Differenz den kleinen Winkel θ und die auf die Krümmung des Parallels zurückzuführenden Glieder im Gleichungssystem (29) vernachlässigen. Es gilt dann näherungsweise

$$t_1 - t_m = \frac{1}{a_x} (x_0 - x_1).$$

Die Summation der Gleichungen (29a) ergibt

$$x_0 = \frac{1}{4} (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - \frac{1}{2} T a_x,$$

womit wir

$$t_1 - t_m = \frac{1}{a_x} \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} - x_1 \right) - \frac{T}{2}$$

erhalten.

Wir setzen zur Vereinfachung

$$(40) \quad t_1 - t_m = -\frac{3}{2} T + \Delta t,$$

worin

$$(41) \quad \Delta t = \frac{1}{a_x} \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} - x_1 \right) + T$$

ist. Berücksichtigt man vorstehenden Gedankengang in (39), so ergibt sich für die Zenitdistanz

$$(42) \quad z_m = \frac{1}{4a_y} (-y_t \cos \theta + x_t \sin \theta) + \frac{b_y}{4a_y} (5T^2 + 2\tau^2 + 4\tau \Delta t + 4\Delta t^2) - \frac{1}{2} \frac{a_x}{a_y} \frac{T}{\rho} \alpha - \frac{1}{4\rho} \frac{a_x}{a_y} (t_2 + t_4 - 2t_m) \omega.$$

3.5. Die Formeln des Rechenprogramms der PZT-Auswertung

Die in Abschnitt 3.4. abgeleiteten Formeln bilden die Grundlage für die Aufstellung des Rechenprogramms. In ihnen werden die Einflüsse von Azimut- und Umlegefehler mit berücksichtigt. Wie sich aus den noch darzustellenden fehlertheoretischen Untersuchungen ergibt, beeinflussen die Fehler dieser Werte das Ergebnis nur in so geringem Umfang, daß die erforderlichen Toleranzen von Azimut und Umlegung leicht eingehalten werden und für die Auswertung $\omega = 0$ und $\alpha = 0$ angenommen werden können. Die gleiche Annahme ist auch für den Fehler der Nachführgeschwindigkeit gerechtfertigt.

Die in folgender Beschreibung des Rechenganges dargestellten definitiven Formeln gelten speziell für den Aufstellungsort des Potsdamer PZT. Der Berechnung der Konstanten lagen folgende Werte zugrunde:

$$\begin{aligned}(\varphi) &= 52^{\circ}24'24'', & c &= 3773,5 \text{ mm}, & T &= 30_{\text{MZ}}^{\text{S}} = 30,082 137_{\text{SZ}}^{\text{S}}, \\ \tau &= 20^{\text{S}}.\end{aligned}$$

Der programmierte Rechengang dient jeweils für die Auswertung einer Gruppe von ca. 10 bis 12 Sternen, deren Bilder sich auf einer Platte befinden. Durch Messung der Bildkoordinaten erhalten wir für jeden Stern die Koordinaten

$$x_1, x_2, x_3, x_4; \quad y_1, y_2, y_3, y_4.$$

Während der Beobachtung wird die Differenz zwischen der zeitlichen Mitte des Beobachtungszyklus und dem Sekundenzeichen des elektronischen Zeitdienstes Potsdam

$$dt_U = Z (\text{PZT}) - \text{UTC} (\text{ZIPE})$$

registriert. Für eine Gruppe wird jeweils das Mittel aus den Registrierungen aller Sterndurchgänge in die Auswertung eingeführt.

Auf Grund des Näherungswertes (φ) der geographischen Breite wird ein Näherungswert der Meridianzenitdistanz für jeden Stern

$$(z_m) = (\varphi) - \delta$$

berechnet. Aus den Bildkoordinaten jedes Sterns ergeben sich die Werte

$$\begin{aligned}y_a &= y_1 - y_2 - y_3 + y_4, & x_a &= x_1 - x_2 - x_3 + x_4; \\ y_t &= -y_1 + y_2 - y_3 + y_4, & x_t &= -x_1 + x_2 - x_3 + x_4.\end{aligned}$$

Mit vorstehenden Ausdrücken erhält man nach (34) die Orientierungsunbekannte

$$\tan \theta = \frac{y_a}{x_a} - \frac{2T b_y}{a_x + b_x(z_m)} \left(\frac{x_t}{x_a} + \frac{y_t y_a}{x_a^2} \right) = \frac{y_a}{x_a} - 0,001 733 2 \left(\frac{x_t}{x_a} + \frac{y_t y_a}{x_a^2} \right).$$

Aus sämtlichen Werten θ , die sich für eine Gruppe ergeben, wird das arithmetische Mittel gebildet und in die weitere Auswertung eingeführt.

Nach (35) ergibt sich der Maßstabsfaktor

$$\begin{aligned}a_x &= \frac{1}{4T} (x_a \cos \theta + y_a \sin \theta) - b_x(z_m) = \\ &= 0,831 057 9 \cdot 10^{-2} (x_a \cos \theta + y_a \sin \theta) - 0,105 471 \cdot 10^{-5}(z_m),\end{aligned}$$

für den ebenfalls das Mittel aus allen Werten der Gruppe gebildet und in die weitere Auswertung eingeführt wird. Zur Berechnung der Meridianzenitdistanzen bilden wir aus vorstehender Formel den Wert

$$a_y = \frac{a_x}{15 \cos \varphi} = \frac{a_x}{9,150\,778\,5}$$

und

$$c = 206\,264,81 a_y .$$

Um die Uhrkorrektur zu bestimmen, berechnen wir zunächst die Weltzeit des Meridiandurchgangs für alle Sterne. Führt man alle Werte in Sekunden ein, so ergibt sich

$$t_0 = (\alpha - \lambda - SZ_{0,Gr}) \cdot 0,997\,269\,57,$$

worin α die Rektaszension, λ die geographische Länge und $SZ_{0,Gr}$ die Sternzeit für 0^h Weltzeit sind. Nach (38) berechnen wir

$$\begin{aligned} t_m &= -\frac{1}{4(a_x + b_x(z_m))} \{x_t \cos \theta + y_t \sin \theta\} = \\ &= -\frac{0,997\,269\,57}{4(a_x + 0,105\,471 \cdot 10^{-5}(z_m))} \{x_t \cos \theta + y_t \sin \theta\} . \end{aligned}$$

Damit erhalten wir die Uhrkorrektur zu

$$dU = (t_0 + 0,021 - t_m + dt_U) .$$

Von vorstehendem Wert sind nur die Sekundenbruchteile brauchbar, da die Mitte des Beobachtungszyklus nur hinsichtlich dieser Bruchteile festgelegt ist.

Zur Ermittlung der Zenitdistanz wird zunächst der Wert

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{1}{a_x} \left\{ \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} - x_1 \right\} + T = \\ &= 5,973 \left\{ \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} - x_1 \right\} + 30^s \end{aligned}$$

berechnet, mit dem wir die Zenitdistanz

$$\begin{aligned} z_m &= \frac{1}{4a_y} (-y_t \cos \theta + x_t \sin \theta) + \frac{b_y}{4a_y} (5T^2 + 2\tau^2 + 4\tau\Delta t + 4\Delta t^2) = \\ &= \frac{1}{4a_y} (-y_t \cos \theta + x_t \sin \theta) + 0,35'' + 0,005\,29 \Delta t + 0,000\,264 \Delta t^2 \end{aligned}$$

erhalten.

Auf Grund der Zenitdistanzen ergibt sich für jeden Stern ein Wert der geographischen Breite

$$\varphi = \delta + z_m .$$

Für jede Gruppe wird ein Mittelwert der geographischen Breite und der Uhrkorrektion berechnet. Das Programm wird ergänzt durch Berechnungen der mittleren Fehler der Einzel- und Mittelwerte für θ , a_x , dU und ϕ nach bekannten Formeln der Fehlertheorie.

4. Fehlertheoretische Betrachtungen

4.1. Der Einfluß von Azimut- und Umlegefehler auf Uhrkorrektion und Zenitdistanz

Nehmen wir an, die Orientierungsunbekannte sei nur durch den Umlegefehler beeinflusst, und setzen für diesen Fall die Formel (34) an, so erhalten wir direkt den durch ω verursachten Fehler der Orientierungsunbekannten

$$d\theta = 2a_x \frac{T}{x_a} \omega .$$

Mit diesem Wert ergibt sich aus (38) der Fehler der Uhrkorrektion

$$(43) \quad dt_m = -\frac{1}{2} \left\{ \frac{y_t}{(a_x + b_x z_m)} \frac{a_x T}{x_a} + \frac{a_y z_m}{(a_x + b_x z_m)} \right\} \frac{\omega}{\rho} .$$

Aus den Formeln (29) wird näherungsweise

$$x_a = 4a_x T, \quad y_t = -4a_y z_m$$

erhalten, womit in (43) der Faktor von ω/ρ verschwindet. Ein Umlegefehler hat in erster Ordnung demnach keinen Einfluß auf die Bestimmung der Uhrkorrektion. Ebenso verschwindet der Einfluß des Azimutfehlers. Für den Einfluß des Umlegefehlers auf die Zenitdistanz erhält man aus (42)

$$dz_m = \frac{x_t}{4a_y} \frac{d\theta}{\rho} - \frac{1}{4\rho} \frac{a_x}{a_y} (t_2 + t_4 - 2t_m) \omega .$$

Berücksichtigt man in vorstehender Formel den Einfluß des Umlegefehlers auf die Orientierungsunbekannte und setzt man näherungsweise

$$x_t \approx a_x (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 - 4t_m),$$

so ergibt sich für den Einfluß des Umlegefehlers auf die Zenitdistanz

$$(44) \quad dz_m = -\frac{1}{4} \frac{a_x}{a_y} T \frac{\omega}{\rho} .$$

Den Einfluß eines Azimutfehlers auf die Zenitdistanz kann man aus (42) direkt ablesen:

$$(45) \quad dz_{m\alpha} = -\frac{1}{2} \frac{a_x}{a_y} \frac{T}{\rho} \alpha .$$

Setzt man die sich aus den konstruktiven Parametern und dem Aufstellungsort des PZT ergebenden Werte für a_x , a_y , T und τ in (44) und (45) ein, so werden

$$(46) \quad dz_{m\omega} = -3,33 \cdot 10^{-4} \omega ,$$

$$(47) \quad dz_{m\alpha} = 4,44 \cdot 10^{-4} \alpha .$$

Lassen wir in der Zenitdistanz einen durch beide Einflüsse verursachten Fehler von $0,01''$ zu, so müssen

$$\omega \leq 30'' \quad \text{und} \quad \alpha \leq 20''$$

sein.

Durch (43), (44) und (45) sind die Einflüsse systematischer Fehleranteile von α und ω dargestellt. Mit einer unregelmäßigen Änderung des Azimutfehlers im Laufe eines Beobachtungszyklus ist nicht zu rechnen. Dagegen können wir annehmen, daß sich der Umlegefehler nach jedem Wechsel der Lage um unregelmäßige Beträge ändert. Den Einfluß unregelmäßiger Änderungen des Umlegefehlers erhält man durch die Annahme unterschiedlicher Werte von ω für jede Lage des Beobachtungszyklus. Das berücksichtigt man in den Formeln (29) und wendet auf (38) und (42) das Fehlerfortpflanzungsgesetz an. Man erhält

$$(48) \quad m_{t_{m,\omega}} = 0,3 \frac{a_y}{a_x} \frac{z_m}{\rho} m_\omega$$

und

$$(49) \quad m_{z_{m,\omega}} = \frac{0,517}{\rho} \frac{a_x}{a_y} m_\omega .$$

Setzt man in beide Formeln die Werte a_x, a_y ein und nimmt für (48) die maximal mögliche Zenitdistanz $z_m = 15'$ an, so erhält man

$$m_{t_{m,\omega}} = 1,45 \cdot 10^{-4} m_\omega, \quad m_{z_{m,\omega}} = 6,9 \cdot 10^{-4} m_\omega .$$

Vorstehende Werte zeigen, daß selbst relativ große unregelmäßige Änderungen von ω einen nur geringen Einfluß auf die Bestimmung von Meridianzenitdistanz und Meridiandurchgangszeit haben.

4.2. Die fehlertheoretische Beziehung zwischen den Bildkoordinaten und den ermittelten Werten von z_m und t_m

Es wird vorausgesetzt, die Bildkoordinaten seien nur mit zufälligen Fehlern behaftet und die Auswertung erfolge nach den in Abschnitt 3.5. zusammengestellten Formeln. Als Gewichtseinheitsfehler wird der mittlere Fehler der Koordinaten angenommen, der für beide Koordinatenwerte gleich groß sei. Damit erhalten wir die Gewichtskoeffizienten

$$Q_{xx} = Q_{yy} = 1.$$

Mit diesen Werten ergeben sich nach (33) die Gewichts- und Korrelationskoeffizienten der Werte x_a, y_a, x_t und y_t

$$(50) \left\{ \begin{array}{llll} Q_{y_a y_a} = 4, & Q_{y_a x_a} = 0, & Q_{y_a y_t} = 0, & Q_{y_a x_t} = 0, \\ & Q_{x_a x_a} = 4, & Q_{x_a y_t} = 0, & Q_{x_a x_t} = 0, \\ & & Q_{y_t y_t} = 4, & Q_{y_t x_t} = 0, \\ & & & Q_{x_t x_t} = 4. \end{array} \right.$$

Durch Bildung des Differentials von (34) erhalten wir

$$(51) \quad d\theta = \frac{\cos^2 \theta}{x_a} dy_a - y_a \frac{\cos^2 \theta}{x_a^2} dx_a.$$

In vorstehender Formel und auch in den noch abzuleitenden können wir uns auf die Hauptglieder beschränken, da der Fehlereinfluß der Bildkoordinaten auf die Korrektionsglieder bedeutungslos ist. Wir wollen annehmen, die Beobachtung sei symmetrisch zum Meridian erfolgt, womit wir

$$y_1 = y_3, \quad x_1 = x_4; \quad y_2 = y_4, \quad x_2 = x_3$$

setzen können. Hieraus folgt

$$y_a = 0, \quad x_a = 2(x_1 - x_2); \quad y_t = 2(y_2 - y_1), \quad x_t = 0.$$

Ferner gilt näherungsweise

$$\cos \theta \approx 1, \quad \sin \theta \approx 0.$$

Hiermit wird (51)

$$d\theta = \frac{1}{2} \frac{1}{x_1 - x_2} dy_a,$$

woraus man folgende Gewichts- und Korrelationskoeffizienten erhält:

$$(52) \left\{ \begin{array}{ll} Q_{\theta\theta} = \frac{1}{4} \frac{1}{(x_1 - x_2)^2} Q_{y_a y_a} = \frac{1}{(x_1 - x_2)^2}, \\ Q_{\theta x_a} = 0; \quad Q_{\theta y_a} = \frac{1}{2} \frac{1}{x_1 - x_2} Q_{y_a y_a} = \frac{2}{x_1 - x_2}; \\ Q_{\theta x_t} = 0; \quad Q_{\theta y_t} = 0. \end{array} \right.$$

Aus (35) ergibt sich

$$(53) \quad da_x = \frac{1}{4T} dx_a$$

oder

$$(54) \quad Q_{a_x a_x} = \frac{1}{16T^2} Q_{x_a x_a} = \frac{1}{4T^2}.$$

Nach Berechnung der θ und a_x werden in die weitere Auswertung Gruppenmittel dieser Werte eingeführt. Für eine Gruppe von n Sternen ergeben sich demnach folgende Gewichts- und Korrelationskoeffizienten:

$$(55) \quad \begin{cases} Q_{\theta\theta} = \frac{1}{n} \frac{1}{(x_1 - x_2)^2}, & Q_{\theta y_a} = \frac{1}{n} \frac{2}{x_1 - x_2}, \\ Q_{a_x a_x} = \frac{1}{4n T^2}, & Q_{a_x x_a} = \frac{1}{nT}, \\ Q_{a_x y_a} = 0, & Q_{a_x x_t} = 0, & Q_{a_x y_t} = 0. \end{cases}$$

Ferner ist

$$(56) \quad Q_{a_y a_y} = \frac{Q_{a_x a_x}}{15^2 \cos^2 \varphi}.$$

Aus der Formel zur Berechnung der Meridiandurchgangszeit (38) wird

$$(57) \quad dt_m = - \frac{1}{4(a_x + b_x z_m)} (dx_t + y_t d\theta)$$

erhalten, woraus für den Gewichtskoeffizienten

$$(58) \quad Q_{t_m t_m} = \frac{1}{16(a_x + b_x z_m)^2} (Q_{x_t x_t} + y_t^2 Q_{\theta\theta})$$

folgt. Nach einigen elementaren Umformungen ergibt sich aus (58):

$$(59) \quad Q_{t_m t_m} = \frac{T^2}{(x_1 - x_2)^2} \left(1 + \frac{1}{n} \frac{(y_1 - y_2)^2}{(x_1 - x_2)^2}\right).$$

Auf gleichem Wege erhält man aus (42)

$$(60) \quad Q_{z_m z_m} = \frac{1}{4a_y^2} \left(1 + \frac{1}{900 n T^2 \cos^2 \varphi} \frac{(y_2 - y_1)^2}{a_y^2}\right).$$

Mit den Parametern des PZT ergeben sich für eine Gruppe von $n = 10$ Sternen folgende Zahlenwerte für die Gewichtskoeffizienten:

$$Q_{\theta\theta} = 10^{-3},$$

$$Q_{a_x a_x} = 2,78 \cdot 10^{-5}, \quad Q_{a_y a_y} = 3,33 \cdot 10^{-7},$$

$$Q_{t_m t_m} = 9 (1 + 10^{-3} (y_2 - y_1)^2),$$

$$Q_{z_m z_m} = 0,74 \cdot 10^3 (1 + 0,246 \cdot 10^{-3} (y_2 - y_1)^2).$$

Der Maximalwert der Ordinatendifferenz beträgt beim PZT $(y_2 - y_1)_{\max} \approx 30$ mm, womit die Gewichtskoeffizienten von t_m und z_m in folgendem Bereich schwanken:

$$1. \quad y_2 - y_1 \approx 0, \quad Q_{t_m t_m} = 9, \quad Q_{z_m z_m} = 0,74 \cdot 10^3,$$

$$2. \quad y_2 - y_1 \approx 30, \quad Q_{t_m t_m} = 17, \quad Q_{z_m z_m} = 0,90 \cdot 10^3.$$

Bei der Koordinatenmessung mit dem "Ascorecord" wird ein mittlerer Fehler von $m_0 \pm 0,0015$ mm erreicht, woraus man die mittleren Fehler der Zenitdistanz und der Meridiandurchgangszeit

$$1. \quad m_{t_m} = \pm 0^s,0045, \quad m_{z_m} = \pm 0^s,041,$$

$$2. \quad m_{t_m} = \pm 0^s,0062, \quad m_{z_m} = \pm 0^s,045$$

erhält.

Diese mittleren Fehler repräsentieren den Einfluß der Koordinatenmessung. Sie werden in der Regel wesentlich kleiner sein als die tatsächlich mit dem PZT erreichbaren. Es wird zusätzlich zu den Meßfehlern noch mit Fehlereinflüssen zu rechnen sein, die in den Verzerrungen der photographischen Schicht und den Variationen der Geometrie des Abbildungsvorgangs durch Veränderungen des Refraktionseinflusses zu suchen sind. Wie später noch nachgewiesen wird, kann unter Berücksichtigung aller erkennbaren Umstände der mittlere Fehler der Bildkoordinaten zu

$$m_0 = \pm 0,006 \text{ mm}$$

geschätzt werden. Mit diesem Wert ergeben sich folgende mittlere Fehler von t_m und z_m :

$$1. \quad m_{t_m} = \pm 0^s,0180, \quad m_{z_m} = \pm 0^s,16,$$

$$2. \quad m_{t_m} = \pm 0^s,0247, \quad m_{z_m} = \pm 0^s,18.$$

5. Beobachtungsprogramm

Das Sternprogramm für die Beobachtung mit dem PZT besteht aus insgesamt 257 Sternen bis zur Helligkeit $9^m,5$ aus dem Katalog der Astronomischen Gesellschaft AGK 3 [7]. Aus der Gesamtzahl der Sterne wurden 24 Gruppen gebildet. Um den Einfluß eines Fehlers des Plattenmaßstabs bei der Berechnung der geographischen Breite klein zu halten, wurden die Sterne einer Gruppe so ausgewählt, daß die Summe ihrer Zenitdistanzen möglichst klein ist. Der Plattenmaßstab läßt sich im Durchschnitt für eine Gruppe von 10 Sternen mit einer relativen Genauigkeit von ca. $1 \cdot 10^{-4}$ bestimmen. Damit kein größerer Fehler als $0^s,02$ in der Breite entsteht, müssen die Zenitdistanzen z der H Hauptsterne einer Gruppe die Bedingung

$$(61) \quad \frac{1}{H} |\sum z| \leq 3'$$

erfüllen. Die kürzeste Zeitdifferenz zweier aufeinanderfolgender Sterne ist instrumentell bedingt durch die Dauer von 120^s für den Beobachtungszyklus eines Sterns. In einigen Fällen enthält das Programm Sterne mit sehr kleinen Rektaszensionsunterschieden ($\Delta \alpha \leq 14^s$), die mit dem gleichen Beobachtungszyklus aufgenommen werden können.

In Tab. 1 sind für jede Gruppe die Gesamtzahl N der Sterne, die Anzahl H der Hauptsterne, die Anzahl Z der Zusatzsterne, der Rektaszensionsbereich α und der Beobachtungszeitraum angegeben. Die durchschnittliche Anzahl der Hauptsterne pro Gruppe beträgt 10 (minimal 8, maximal 12). In jeder klaren Nacht werden nach Möglichkeit 3 Sterngruppen beobachtet. Im Normalfall wird auf eine Platte jeweils nur eine Gruppe aufgenommen. Die Programmfolge im Laufe eines Jahres geht aus Abb. 9 hervor. Der Programmwechsel erfolgt halbmonatlich nach dem Prinzip der Kettenmethode. Jede Gruppe wird somit in einem Zeitraum von 1 1/2 Monaten und die Kombination zweier benachbarter Gruppen einen Monat lang beobachtet.

Die mittleren Örter und die Eigenbewegungen der PZT-Sterne sind im Sternkatalog für das Potsdamer PZT [4] zusammengestellt. Die Rektaszensionen und Deklinationen wurden auf Grund der Ergebnisse der PZT-Beobachtungen von 1972 und 1973 korrigiert. Die Bestimmung der Sternkoordinatenkorrekturen geschah in zwei Schritten:

1. Aus den Restfehlern innerhalb der Gruppen wurden individuelle Korrekturen abgeleitet. Im Zusammenhang damit erfolgte die Reduktion unvollständiger Gruppen auf das entsprechende Gruppenzentrum.
2. Nach dem Prinzip der Kettenmethode wurden aus den Differenzen zwischen den in der gleichen Nacht beobachteten Gruppen die Gruppenkorrekturen berechnet.

Ausführlich ist die Ermittlung der Sternkoordinatenkorrekturen aus den Potsdamer PZT-Beobachtungen in [4] dargestellt. Die Genauigkeit für die aus individuellen und Gruppenkorrekturen zusammengesetzten Gesamtkorrekturen beträgt im Durchschnitt $\pm 0^s,08$ für die Deklination und $\pm 0^s,010$ für die Rektaszension.

Die aus den PZT-Beobachtungen erhaltenen Deklinationen wurden zusammen mit weiteren 5 zu verschiedenen Epochen seit 1915 beobachteten Katalogen dazu verwendet, um neue Eigenbewegungskomponenten in Deklination für die PZT-Sterne zu berechnen. Die mittleren Fehler dieser neu berechneten Eigenbewegungen sind im Durchschnitt mit $\pm 0^s,004$ nur halb so groß wie die der Eigenbewegungen des AGK 3.

Tab. 1. Anzahl der Sterne und Beobachtungszeiträume der Gruppen

| Gruppe | N | H | Z | α | Beobachtungszeitraum |
|--------|-----|-----|----|---|----------------------|
| 1 | 12 | 10 | 2 | 0 ^h 02 ^m - 0 ^h 46 ^m | 1. Okt. - 15. Nov. |
| 2 | 12 | 10 | 2 | 0 55 - 1 37 | 16. Okt. - 30. Nov. |
| 3 | 10 | 9 | 1 | 1 49 - 2 26 | 1. Nov. - 15. Dez. |
| 4 | 11 | 10 | 1 | 2 34 - 3 11 | 16. Nov. - 31. Dez. |
| 5 | 14 | 12 | 2 | 3 19 - 4 01 | 1. Dez. - 15. Jan. |
| 6 | 13 | 10 | 3 | 4 16 - 4 57 | 16. Dez. - 31. Jan. |
| 7 | 12 | 12 | - | 5 06 - 5 57 | 1. Jan. - 15. Febr. |
| 8 | 10 | 10 | - | 6 14 - 6 58 | 16. Jan. - 28. Febr. |
| 9 | 9 | 9 | - | 7 13 - 7 47 | 1. Febr. - 15. März |
| 10 | 10 | 10 | - | 8 09 - 9 19 | 16. Febr. - 31. März |
| 11 | 10 | 10 | - | 9 32 - 10 43 | 1. März - 15. Apr. |
| 12 | 11 | 10 | 1 | 10 53 - 12 18 | 16. März - 30. Apr. |
| 13 | 11 | 11 | - | 12 47 - 14 09 | 1. Apr. - 15. Mai |
| 14 | 11 | 10 | 1 | 14 20 - 15 22 | 16. Apr. - 31. Mai |
| 15 | 10 | 8 | 2 | 15 42 - 16 36 | 1. Mai - 15. Juni |
| 16 | 8 | 8 | - | 17 01 - 17 17 | 16. Mai - 30. Juni |
| 17 | 9 | 9 | - | 17 30 - 18 19 | 1. Juni - 15. Juli |
| 18 | 10 | 10 | - | 18 31 - 19 09 | 16. Juni - 31. Juli |
| 19 | 9 | 9 | - | 19 18 - 19 43 | 1. Juli - 15. Aug. |
| 20 | 12 | 10 | 2 | 19 55 - 20 46 | 16. Juli - 31. Aug. |
| 21 | 12 | 12 | - | 20 59 - 21 31 | 1. Aug. - 15. Sept. |
| 22 | 10 | 10 | - | 21 42 - 22 13 | 16. Aug. - 30. Sept. |
| 23 | 11 | 10 | 1 | 22 25 - 22 54 | 1. Sept. - 15. Okt. |
| 24 | 10 | 10 | - | 23 04 - 23 48 | 16. Sept. - 31. Okt. |
| Summe | 257 | 239 | 18 | | |

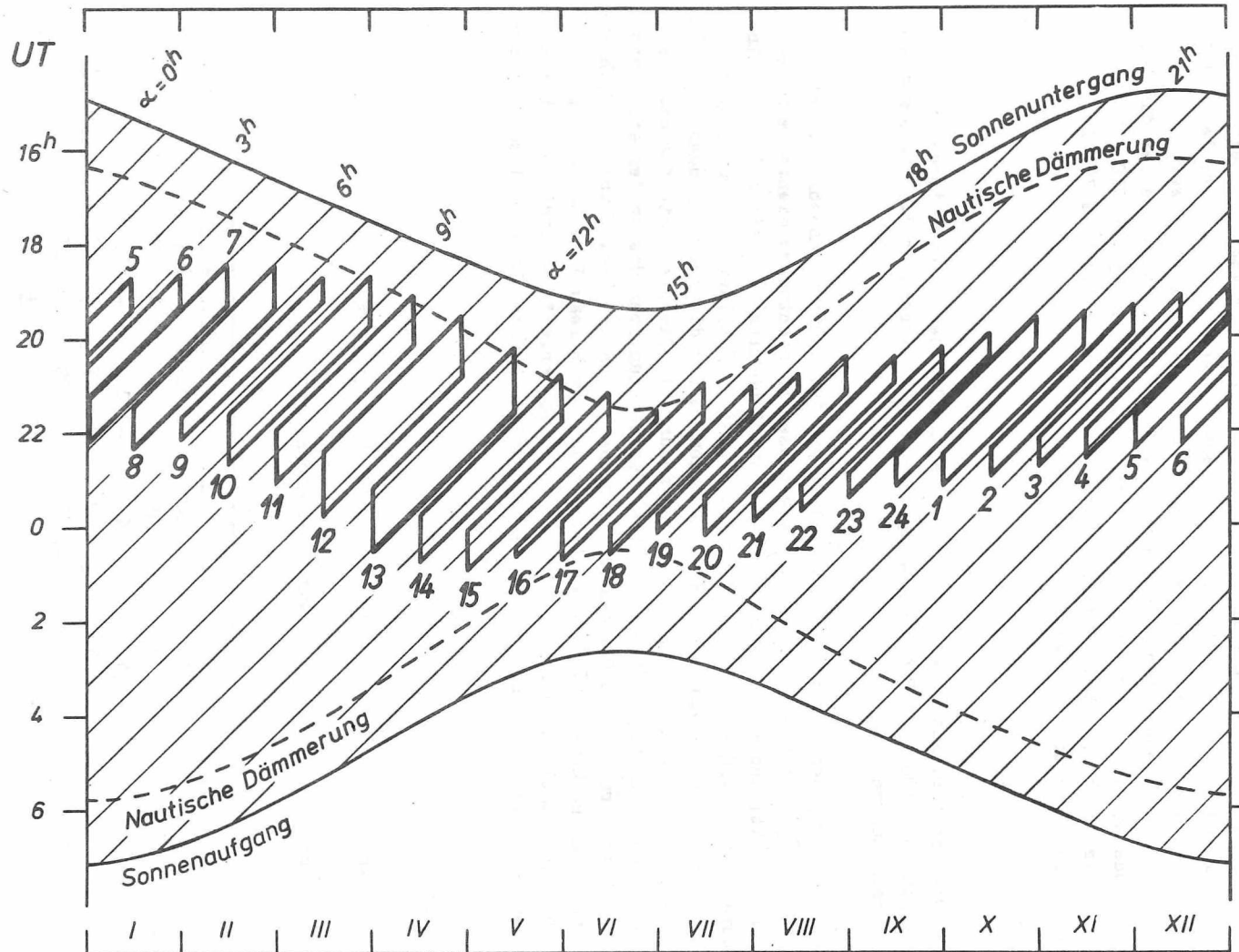


Abb. 9. Programm für die Beobachtung der Gruppen 1 bis 24

6. Ergebnisse der Zeit- und Breitenbestimmungen

Bei der Auswertung der PZT-Beobachtungen sind zunächst die rechtwinkligen Koordinaten der Sternabbildungen auf der Photoplatte zu bestimmen. Dazu wird ein Koordinatenmeßgerät mit automatischer Datenregistrierung "Ascorecord" vom VEB Carl Zeiss Jena benutzt. Vor der Messung wird die Platte im Meßgerät genähert orientiert; der restliche Orientierungsfehler wird aus den Meßwerten rechnerisch ermittelt. Weitere Ausgangsdaten für die Berechnung der Uhrkorrektur und der Breite sind die bei der Beobachtung gemessene zeitliche Lage des Beobachtungszyklus im Zeitsystem UTC (ZIPE), die scheinbaren Örter der beobachteten Sterne sowie die Sternzeit für 0^h Weltzeit. Für die geographische Länge wird der Wert

$$\lambda = 52^{\text{m}}25^{\text{s}},200 \text{ E}$$

angenommen. Die rechnerische Auswertung erfolgt mit Hilfe des elektronischen Rechenautomaten Robotron R 300. Der Programmierung lagen die in Abschnitt 3.5. zusammengestellten Formeln zugrunde.

Für die Auswertung der Beobachtungen von 1972 und 1973 wurden zunächst die Sternörter des AGK 3 [7] verwendet. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen dienten zur Berechnung von Korrekturen für die AGK-3-Örter, worauf bereits im vorigen Kapitel eingegangen wurde. Der revidierte Katalog der PZT-Sterne [4] bildet die Grundlage für die Reduktion der Beobachtungen seit 1974. Außerdem wurden die Beobachtungen von 1972 und 1973 unter Verwendung dieses Kataloges neu reduziert. Die Resultate für die Jahre 1972 bis 1974 sind im Anhang zusammengestellt. Übersichten über die in den einzelnen Jahren beobachteten Gruppen und Gruppenkombinationen geben die Tab. 2 und 3. Nach Berücksichtigung der Polbewegung unter Verwendung der vom Bureau International de l'Heure (BIH) veröffentlichten Polkoordinaten tritt im Verlauf der Breitenenergebnisse in den Jahren 1972 bis 1974 deutlich eine Jahresperiode hervor. Eine Analyse nach dem Ansatz

$$(62) \quad \varphi = \varphi_0 + z,$$

$$(63) \quad z = a \sin 2\pi t + b \cos 2\pi t + c \sin 4\pi t + d \cos 4\pi t$$

(t = Jahresbruchteil) führte zu folgenden Ergebnissen:

| | a | b | c | d |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1972 | $-0,185$ | $0,068$ | $0,021$ | $0,017$ |
| | ± 17 | ± 19 | ± 22 | ± 15 |
| 1973 | $-0,171$ | $0,020$ | $-0,048$ | $-0,016$ |
| | ± 17 | ± 18 | ± 17 | ± 18 |
| 1974 | $-0,236$ | $-0,017$ | $0,009$ | $0,028$ |
| | ± 14 | ± 16 | ± 15 | ± 15 |

Als mögliche Ursachen für das lokale z-Glied kommen z.B. restliche Deklinationsfehler der Form $\Delta\delta_{\alpha}$ oder meteorologische Einflüsse in Frage. Die Ergebnisse der Zeitbestimmungen zeigen nach Berücksichtigung der Polbewegung und der Rotationsschwankungen der Erde keine so offensichtliche Jahresperiode wie die Breitenbestimmungen.

Tab. 2. Anzahl der beobachteten Gruppen

| Gruppe | 1972 | 1973 | 1974 |
|--------|------|------|------|
| 1 | 7 | 6 | 0 |
| 2 | 5 | 4 | 1 |
| 3 | 5 | 4 | 2 |
| 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 1 | 6 | 3 |
| 7 | 1 | 5 | 1 |
| 8 | 1 | 5 | 1 |
| 9 | 2 | 8 | 2 |
| 10 | 3 | 8 | 4 |
| 11 | 3 | 7 | 6 |
| 12 | 6 | 7 | 6 |
| 13 | 4 | 6 | 6 |
| 14 | 6 | 5 | 6 |
| 15 | 3 | 9 | 6 |
| 16 | 3 | 9 | 5 |
| 17 | 4 | 8 | 3 |
| 18 | 5 | 11 | 2 |
| 19 | 2 | 11 | 4 |
| 20 | 2 | 9 | 9 |
| 21 | 1 | 11 | 9 |
| 22 | 4 | 10 | 9 |
| 23 | 5 | 6 | 6 |
| 24 | 7 | 5 | 5 |
| Summe | 88 | 167 | 102 |

Tab. 3. Anzahl der beobachteten Gruppenkombinationen

| Kombination | 1972 | 1973 | 1974 |
|-------------|------|------|------|
| 1 - 2 | 3 | 3 | 0 |
| 2 - 3 | 4 | 3 | 1 |
| 3 - 4 | 3 | 0 | 2 |
| 4 - 5 | 4 | 2 | 2 |
| 5 - 6 | 1 | 3 | 1 |
| 6 - 7 | 0 | 3 | 1 |
| 7 - 8 | 1 | 3 | 1 |
| 8 - 9 | 0 | 4 | 0 |
| 9 - 10 | 1 | 5 | 2 |
| 10 - 11 | 3 | 5 | 2 |
| 11 - 12 | 2 | 5 | 5 |
| 12 - 13 | 2 | 3 | 2 |
| 13 - 14 | 4 | 1 | 2 |
| 14 - 15 | 3 | 5 | 4 |
| 15 - 16 | 0 | 7 | 3 |
| 16 - 17 | 3 | 3 | 2 |
| 17 - 18 | 3 | 6 | 1 |
| 18 - 19 | 2 | 7 | 1 |
| 19 - 20 | 1 | 6 | 4 |
| 20 - 21 | 0 | 5 | 8 |
| 21 - 22 | 0 | 6 | 5 |
| 22 - 23 | 4 | 4 | 4 |
| 23 - 24 | 4 | 2 | 5 |
| 24 - 1 | 6 | 3 | 0 |
| Summe | 54 | 94 | 58 |

Für die Korrektur wegen der Polbewegung und der Rotationsschwankungen wurden die vom BIH veröffentlichten Größen verwendet. Aus den korrigierten Zeitbestimmungen lassen sich Verbesserungen für die angenommene geographische Länge ableiten. Damit erhält man für die einzelnen Jahre die folgenden Mittelwerte der Länge der PZT-Station:

| Länge der PZT-Station | |
|-----------------------|---|
| 1972 | $52^{\text{m}}25^{\text{s}}2307 \pm 0^{\text{s}}0013$ |
| 1973 | $25,2303 \pm 0,0015$ |
| 1974 | $25,2534 \pm 0,0019$ |

Der Unterschied zwischen den Längenwerten von 1972/73 einerseits und 1974 andererseits hat seine Ursache offenbar in einer Änderung am Registriersystem zu Beginn des Jahres 1974.

Berechnet man aus den korrigierten Breitenbestimmungen die mittleren Breiten für die einzelnen Jahre, so ergeben sich einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung des z-Gliedes die folgenden Werte:

| Breite der PZT-Station | | |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | ohne z | mit z |
| 1972 | $52^{\circ}24'24''861 \pm 0''020$ | $52^{\circ}24'24''853 \pm 0''013$ |
| 1973 | $24,882 \pm 0,015$ | $24,891 \pm 0,013$ |
| 1974 | $24,925 \pm 0,021$ | $24,915 \pm 0,011$ |

Zum Vergleich mit den PZT-Ergebnissen wurden die aus früheren Beobachtungen vorliegenden konventionellen Koordinaten der PZT-Station herangezogen [57]:

$$\lambda = 52^{\text{m}}25^{\text{s}}239 \text{ E}, \quad \varphi = 52^{\circ}24'24''36 \text{ N.}$$

Die aus den PZT-Beobachtungen erhaltenen Längenwerte zeigen eine befriedigende Übereinstimmung mit dem konventionellen Wert, während bei der Breite eine signifikante Differenz vorhanden ist. Zur Aufklärung dieser Diskrepanz wurde 1973 die Breite unabhängig nach der STERNECK-Methode mit einem Universalinstrument Wild T4 bestimmt [37]. Aus dieser Messung ergab sich die Breite zu

$$\varphi = 52^{\circ}24'25''03 \pm 0''08.$$

Dieser Wert kann als Bestätigung der PZT-Ergebnisse betrachtet werden, während die zum Vergleich verwendete konventionelle Breite offenbar fehlerhaft ist.

7. Genauigkeitsuntersuchung

7.1. Fehler der Plattenausmessung

Der Meßfehler am "Ascorecord", der sich aus dem Fehler der Einstellung des Sterns mit der Meßmarke und dem Ablesefehler zusammensetzt, wurde aus Differenzen von Doppelmessungen berechnet. Die Analyse eines umfangreichen Datenmaterials aus den Jahren 1972 und 1973 ergab im Gesamtdurchschnitt für den mittleren Fehler einer Einzelmessung $\pm 0,0032$ mm. Abgesehen von Sternen heller als $6^m,0$ besteht keine eindeutige Helligkeitsabhängigkeit des Meßfehlers. Bei den Sternen, die heller als $6^m,0$ sind, ist die Meßunsicherheit deutlich größer ($\pm 0,0046$ mm). Schließt man diese hellen Sterne aus den Betrachtungen aus, so beträgt der durchschnittliche Fehler einer Einzelmessung $\pm 0,0028$ mm und ist für beide Koordinaten gleich groß.

Eine bessere Qualität der photographischen Abbildung wurde durch die Verwendung von ZU2-Platten ab Mai 1974 und die im Zusammenhang damit verbesserte Fokussierung erreicht. Damit verringerte sich der Meßfehler um ca. 30 % und beträgt für die einmalige Messung einer Koordinate $\pm 0,0020$ mm. Bei der Auswertung der PZT-Beobachtungen werden für die rechtwinkligen Koordinaten der Sternabbildungen auf der Photoplatte die Mittelwerte von Doppelmessungen eingeführt. Nach den vorliegenden Untersuchungen ergibt sich die Meßunsicherheit dieser Größen für beide Koordinaten gleich zu

$$m_x = m_y = \pm 0,0015 \text{ mm.}$$

7.2. Lagefehler der Abbildungen auf der Photoplatte

Die Fehler in den Positionen der Abbildungen auf der Photoplatte wurden auf zwei verschiedenen Wegen ermittelt: einmal aus x-Differenzen von jeweils zwei in der gleichen Lage des Drehkopfes aufgenommenen Bildern und zum anderen aus den Unterschieden der Schwerpunktkoordinaten bzw. der Koordinatensummen von jeweils 4 zu einem Stern gehörenden Bildern. Aus den x-Differenzen läßt sich nur die Fehlerkomponente in x-Richtung bestimmen. Ausgehend von den Gleichungen (29a), erhält man unter Berücksichtigung der Tatsache, daß

$$t_4 - t_2 = t_3 - t_1 \quad \text{und} \quad t_{M_4} - t_{M_2} = t_{M_3} - t_{M_1}$$

gilt, die Beziehung

$$(64) \quad (x_1 - x_3) \cos \theta + (y_1 - y_3) \sin \theta = (x_4 - x_2) \cos \theta + (y_4 - y_2) \sin \theta$$

bzw.

$$(65) \quad x_1 + x_2 - x_3 - x_4 = (-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) \tan \theta .$$

Zur Abschätzung des Betrages des Ausdrucks $(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4)$ setzen wir in den Gleichungen (29b) die Werte ω und θ gleich Null und erhalten durch Summen- bzw. Differenzbildung

$$-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 = b_y \left\{ (t_1 - t_m)^2 - (t_2 - t_m)^2 - (t_3 - t_m)^2 + (t_4 - t_m)^2 \right\}.$$

Für b_y ergibt sich durch Einsetzen der Zahlenwerte in (25)

$$b_y = 0,48 \cdot 10^{-5}.$$

Unter der Annahme, daß der Sterndurchgang symmetrisch beobachtet wurde, gilt

$$(t_1 - t_m)^2 = (t_4 - t_m)^2 = 2025$$

und

$$(t_2 - t_m)^2 = (t_3 - t_m)^2 = 225,$$

und damit wird

$$-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 = 0,017 \text{ mm.}$$

Bei der Ausmessung werden die PZT-Platten im Koordinatenmeßgerät im allgemeinen so orientiert, daß $\tan \theta < 2 \cdot 10^{-3}$ wird, so daß das Glied $(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) \tan \theta$ in Formel (65) vernachlässigt werden kann. Damit erhält man aus (65) die Bedingung

$$(66) \quad x_1 + x_2 - x_3 - x_4 = 0.$$

Infolge von Fehlern in den gemessenen x -Koordinaten wird diese Bedingung durch die Meßwerte nicht erfüllt sein, und aus den Abweichungen Δ kann der mittlere Fehler einer x -Koordinate im Durchschnitt für n Sterne nach folgender Formel ermittelt werden:

$$(67) \quad m_x^i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}$$

Die Auswertung von ca. 250 Sternen ergab

$$m_x^i = \pm 0,0056 \text{ mm.}$$

Eliminiert man den Meßfehler, der in diesem Wert noch enthalten ist, so beträgt der Lagefehler in x -Richtung

$$m_{lx}^i = \pm 0,0054 \text{ mm.}$$

Bei der zweiten Art der Berechnung der Lagefehler wurde von den Koordinatensummen von jeweils 4 zu einem Stern gehörenden Bildern ausgegangen. Dabei kann in den Gleichungen (29a) und (29b) die Größe θ vernachlässigt werden, weil sie im allgemeinen auf Grund der erwähnten Orientierung der Platte vor der Messung hinreichend klein ist. Wir erhalten dann folgende Beziehungen:

$$(68) \quad \begin{cases} x_0 - x_1 = a_x (t_1 - t_m) + b_x z_m (t_{M_1} - t_m), \\ x_0 - x_2 = -a_x (t_2 - t_m) - b_x z_m (t_{M_2} - t_m), \\ x_0 - x_3 = a_x (t_3 - t_m) + b_x z_m (t_{M_3} - t_m), \\ x_0 - x_4 = -a_x (t_4 - t_m) - b_x z_m (t_{M_4} - t_m) \end{cases}$$

und

$$(69) \quad \begin{cases} y_0 + y_1 = a_y z_m - b_y \left\{ (t_1 - t_m)^2 + (t_{M_1} - t_m)\tau \right\}, \\ y_0 + y_2 = -a_y z_m + b_y \left\{ (t_2 - t_m)^2 + (t_{M_1} - t_m)\tau \right\}, \\ y_0 + y_3 = a_y z_m - b_y \left\{ (t_3 - t_m)^2 + (t_{M_1} - t_m)\tau \right\}, \\ y_0 + y_4 = -a_y z_m + b_y \left\{ (t_4 - t_m)^2 + (t_{M_1} - t_m)\tau \right\}. \end{cases}$$

Durch Summenbildung und Umformung ergibt sich

$$(70) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 4x_0 + 2(a_x + b_x z_m) T$$

und

$$(71) \quad y_1 + y_2 + y_3 + y_4 = -4y_0 + b_y T \left\{ 2\tau + (t_1 - t_m) + (t_2 - t_m) + (t_3 - t_m) + (t_4 - t_m) \right\}.$$

Für (70) können wir schreiben

$$(72) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = K_x + 2b_x z_m T,$$

wobei $K_x = 4x_0 + 2a_x T$ ein konstanter Wert für alle Sterne einer Gruppe ist. Man erhält aus (69) mit ausreichender Näherung

$$z_m = \frac{y_1 - y_2}{2a_y}$$

und somit aus (72)

$$(73) \quad K_x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - \frac{b_x T}{a_y} (y_1 - y_2)$$

bzw. nach Einsetzen der Zahlenwerte

$$(74) \quad K_x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - 0,1736 \cdot 10^{-2} (y_1 - y_2).$$

In (71) kann unter Berücksichtigung der Gleichungen (68) mit ausreichender Näherung

$$(t_1 - t_m) + (t_2 - t_m) + (t_3 - t_m) + (t_4 - t_m) = \frac{1}{a_x} (x_2 - x_1 + x_4 - x_3)$$

geschrieben werden. Setzt man ferner $-4y_0 = K_y$, so folgt aus (71)

$$(75) \quad y_1 + y_2 + y_3 + y_4 = K_y + \frac{b_y}{a_x} T (x_2 - x_1 + x_4 - x_3).$$

Da im allgemeinen die Aufnahmen symmetrisch zum Meridian liegen, wird der Klammerausdruck in (75) sehr klein, so daß das zweite Glied auf der rechten Seite von Formel (75) vernachlässigt werden kann. Damit wird

$$(76) \quad K_y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4.$$

Aus den Beziehungen (74) und (76) ergibt sich die Möglichkeit, mittlere Koordinatenfehler zu berechnen. Dazu sind für alle n Sterne einer Gruppe aus den Werten K_x und K_y die Mittelwerte zu bilden:

$$(77) \quad \bar{K}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{x_i}, \quad \bar{K}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{y_i}.$$

Mit den Abweichungen der Einzelwerte vom Mittel

$$v_{x_i} = \bar{K}_x - K_{x_i} \quad \text{und} \quad v_{y_i} = \bar{K}_y - K_{y_i}$$

erhält man die mittleren Koordinatenfehler für ein Bild zu

$$(78) \quad \bar{m}_x = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum v_x^2}{n-1}} \quad \text{und} \quad \bar{m}_y = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum v_y^2}{n-1}}.$$

Aus der Auswertung von 50 Platten mit jeweils mindestens 10 Sternen ergaben sich im Durchschnitt folgende Fehler:

$$\bar{m}_x = \pm 0,0063 \text{ mm}, \quad \bar{m}_y = \pm 0,0064 \text{ mm}.$$

Eliminiert man wieder den Meßfehler, so verbleibt als Lagefehler

$$\bar{m}_{L_x} = \pm 0,0061 \text{ mm} \quad \text{bzw.} \quad \bar{m}_{L_y} = \pm 0,0062 \text{ mm}.$$

Es zeigt sich, daß beide Koordinaten mit gleicher Genauigkeit erhalten werden. Auf Grund des geringen Einflusses des Meßfehlers ist eine weitere Verbesserung der Meßgenauigkeit nicht erforderlich. Die Hauptfehlerquellen sind offenbar in Refraktionsanomalien, Szintillation, Verzerrungen der photographischen Schicht und instrumentellen Fehlereinflüssen zu suchen.

Für den Einfluß der Bildbewegung (Richtungsszintillation) gibt HØG [27] folgende Formel an:

$$(79) \quad \sigma = 0,33 (\tau + 0,65)^{-0,25}$$

(mit τ = Integrationszeit). Beim PZT beträgt die Integrationszeit für ein Bild $\tau = 20^s$, und der Einfluß der Richtungsszintillation wird nach (79)

$$\sigma = \pm 0,155$$

oder in linearem Maß auf der Platte $\pm 0,003$ mm.

7.3. Fehler der Zeitregistrierung

Der zufällige Fehler der Zeitregistrierung wurde aus Differenzen der in bezug auf die Zeitskala UTC (ZIPE) registrierten Zeitimpulse des PZT für die erste und dritte bzw. zweite und vierte Belichtung berechnet. Die Genauigkeit der Registrierung eines Einzelimpulses beträgt $\pm 0,2$ ms. Für jeden Stern werden vier Impulse registriert, und in die Auswertung wird das Mittel aus den registrierten Impulsen für alle Sterne einer Gruppe eingeführt. Der zufällige Fehler dieses Mittelwertes liegt unter $0,1$ ms und spielt im Vergleich zu anderen Fehlereinflüssen eine untergeordnete Rolle.

7.4. Fehler der Zeit- und Breitenbestimmungen

Der Einfluß des in Abschnitt 7.2. ermittelten Lagefehlers auf die Endergebnisse wurde bereits in Abschnitt 4.2. untersucht. Die bei den fehlertheoretischen Betrachtungen erhaltenen mittleren Fehler sollen nun verglichen werden mit den Fehlern, die sich aus den Zeit- und Breitenbestimmungen ergeben. Die mittleren Fehler für die Beobachtung eines Sterns wurden aus den Abweichungen der Einzelwerte vom Gruppenmittel berechnet. Für die verschiedenen Jahre ergaben sich folgende Durchschnittswerte:

| | $m\Delta u_{\phi}$ | $m\phi_0$ |
|------|--------------------|-----------|
| 1972 | $0,0183$ | $0,167$ |
| 1973 | $0,0173$ | $0,166$ |
| 1974 | $0,0201$ | $0,177$ |

Diese Ergebnisse befinden sich in guter Übereinstimmung mit den theoretisch erwarteten Werten, wenn man berücksichtigt, daß außer dem Lagefehler auch noch die in Kap. 5 erwähnten Sternkoordinatenfehler die Endergebnisse beeinflussen. Aus den angegebenen Werten für die Beobachtungsgenauigkeit läßt sich die zu erwartende durchschnittliche innere Genauigkeit für eine Gruppe von 10 Sternen abschätzen zu

$$m\Delta u_i = \pm 0,0059 \quad \text{und} \quad m\phi_i = \pm 0,054.$$

Die äußere Genauigkeit wurde aus den Abweichungen der Gruppenmittel vom Jahresmittel berechnet, wobei vorher eine Reduktion wegen der Polbewegung und der Differenzen zwischen der astronomisch bestimmten Zeit und der koordinierten Weltzeit mit den vom BIH veröffentlichten Größen erfolgte. Die äußeren mittleren Fehler für die Beobachtung einer Gruppe haben folgende Beträge:

| | $m'_{\Delta u}$ | m'_{ϕ} |
|------|-----------------|-------------|
| 1972 | 0,0125 | 0,189 |
| 1973 | 0,0185 | 0,196 |
| 1974 | 0,0184 | 0,209 |

Bei Berücksichtigung der lokalen jahreszeitlichen Schwankungen der Ergebnisse, wie sie für die Breitenbestimmungen entsprechend Formel (63) und für die Zeitbestimmungen in analoger Weise erfolgte, verringern sich diese Fehler auf folgende Werte:

| | $m_{\Delta u}$ | m_{ϕ} |
|------|----------------|------------|
| 1972 | 0,0108 | 0,110 |
| 1973 | 0,0161 | 0,156 |
| 1974 | 0,0157 | 0,097 |

In Abb. 10 sind die Durchschnittswerte dieser Fehler für die Jahre 1972 bis 1974 im Vergleich zu anderen PZT-Stationen dargestellt. Die äußeren mittleren Fehler der anderen Stationen wurden aus den Restfehlern im System des BIH [6] für das Jahr 1973 bestimmt. Die Fehler der Zeitbestimmungen wurden für alle Stationen auf den Äquator reduziert und in Bogensekunden umgerechnet. Das Kreuz in Abb. 10 bezeichnet den Mittelwert aus allen Observatorien. Es zeigt sich, daß die Qualität der Potsdamer PZT-Beobachtungen der der anderen PZT-Stationen ebenbürtig ist, wenn die lokalen jahreszeitlichen Schwankungen berücksichtigt werden, wie es in gleicher Weise beim BIH für die übrigen Stationen geschehen ist.

Sämtliche vorstehenden Schätzwerte der mittleren Fehler wurden mit einer so großen Zahl von Freiheitsgraden ermittelt, daß sie als Erwartungswerte angesehen werden können. Eine Angabe von Vertrauensintervallen erübrigt sich daher.

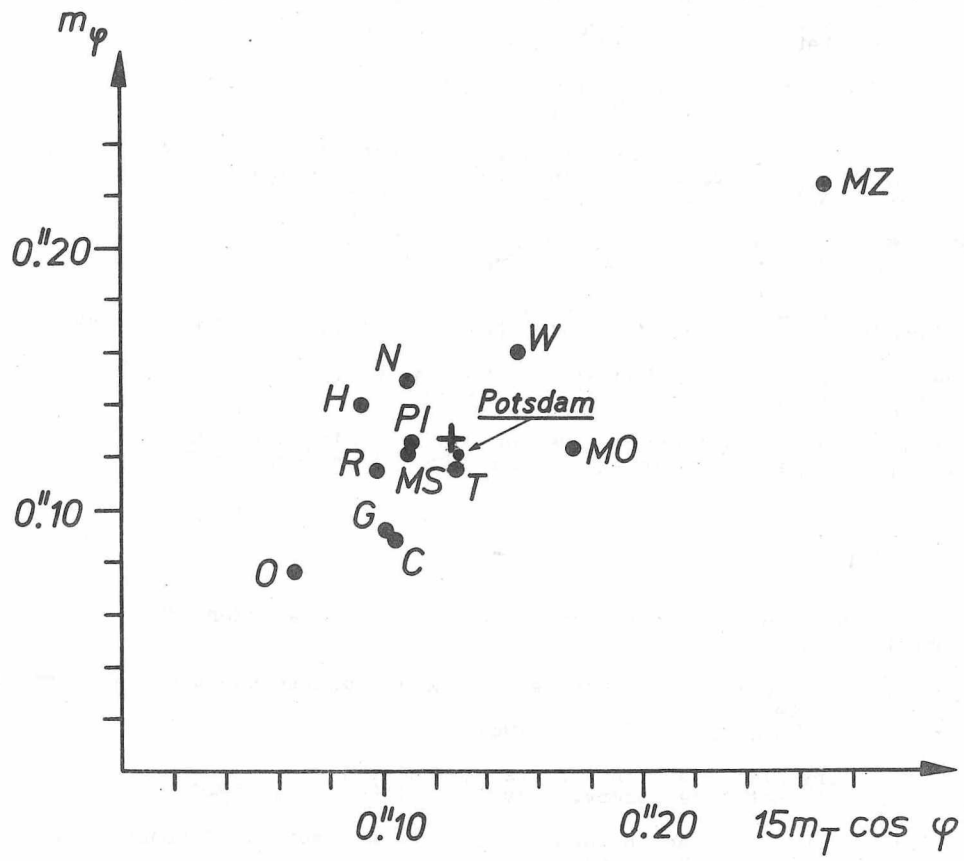


Abb. 10. Genauigkeitsvergleich mit anderen PZT-Stationen

Literatur

- [1] ENGELBRECHT, J.: Das Photo-Zenit-Teleskop (PZT) der Sternwarte Babelsberg (Konstruktion und Funktion).
Feingerätetechnik 15 (1966) 1, S. 8-12
- [2] HØG, E.: The photoelectric meridian circle of Bergedorf/Perth.
Astron. and Astrophys. 19 (1972), S. 27-40
- [3] HOHL, R.; SCHOMANN, B.: Geodätisch-astronomische Ortsbestimmung für den Standpunkt des photographischen Zenitteleskops in Babelsberg.
Diplomarbeit Techn. Univ. Dresden 1973 (unveröff.)
- [4] MEINIG, M.: Sternkatalog für das Potsdamer PZT.
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam 37 (1976)
- [5] STRUVE, H.: Die neue Berliner Sternwarte in Babelsberg.
Veröff. Sternwarte Berlin-Babelsberg, Bd. III, H. 1, Berlin 1919
- [6] Bureau International de l'Heure: Rotation de la Terre.
Observations traitées et résidus en 1973.
- [7] ... Dritter Katalog der Astronomischen Gesellschaft, Zone +52°.
Computerausschrift vom Stern Datenzentrum Straßburg (1972)

Weitere Literatur

- PAUSCHER, H.: Theorie und Reduktionsmethode für das Babelsberger PZT.
(unveröff. Manuskript)
- SCHULER, W.: Étude théorique et expérimentale de la lunette zénithale photographique (PZT) de Neuchâtel.
Genève: Edition Médecine & Hygiène 1967
- TAKAGI, S.: Geometry of the setting errors of the PZT.
Publ. internat. Latitude Observ. Mizusawa 2 (1961), S. 137-149
- THOMAS, D.V.: Photographic zenith tube, instrument and method of reduction.
Roy. Observ. Bull. No. 81 (1964)

Anhang: Beobachtungsergebnisse

| | |
|----------|---|
| Spalte 1 | laufende Nummer |
| 2 | Datum: Monat, Tag |
| 3 | Modifiziertes Julianisches Datum für die Mitte der Beobachtung |
| 4 | Gruppennummer |
| 5 | Anzahl der Sterne der Zeitbestimmung |
| 6 | UTC(PZT) - UTC(ZIPE) $\lfloor 0^{\text{S}},0001 \rfloor$ |
| 7 | mittlerer Fehler der Zeitbestimmung $\lfloor 0^{\text{S}},0001 \rfloor$ |
| 8 | Anzahl der Sterne der Breitenbestimmung |
| 9 | beobachtete Breite |
| 10 | mittlerer Fehler der Breite $\lfloor 0^{\text{M}},001 \rfloor$ |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | ϕ | m_{ϕ} | |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|--------|------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1972 | | | | | | | | 52°24' | |
| 1 | 02 02 | 41 349.83 | 7 | 7 | -1094 | 59 | 7 | 24.677 | 28 | |
| 2 | 02 02 | 349.87 | 8 | 6 | -1206 | 61 | 6 | 24.631 | 70 | |
| 3 | 03 13 | 389.80 | 9 | 9 | -2441 | 58 | 9 | 24.623 | 53 | |
| 4 | 03 13 | 389.86 | 10 | 8 | -2500 | 45 | 8 | 24.592 | 53 | |
| 5 | 03 13 | 389.90 | 11 | 7 | -2492 | 102 | 7 | 24.547 | 67 | |
| 6 | 03 14 | 390.86 | 10 | 6 | -2168 | 52 | 6 | 24.496 | 83 | |
| 7 | 03 14 | 390.90 | 11 | 4 | -2434 | 74 | 4 | 24.466 | 84 | |
| 8 | 03 14 | 390.95 | 12 | 6 | -2555 | 73 | 6 | 24.524 | 64 | |
| 9 | 03 24 | 400.83 | 10 | 7 | -2910 | 93 | 7 | 24.500 | 32 | |
| 10 | 03 24 | 400.88 | 11 | 8 | -2816 | 69 | 8 | 24.509 | 47 | |
| 11 | 03 24 | 400.93 | 12 | 9 | -2656 | 44 | 9 | 24.445 | 37 | |
| 12 | 04 24 | 431.84 | 12 | 11 | -3801 | 77 | 11 | 24.357 | 43 | |
| 13 | 04 24 | 431.96 | 13 | 6 | -3840 | 71 | 6 | 24.306 | 66 | |
| 14 | 04 25 | 432.00 | 14 | 9 | -3890 | 33 | 9 | 24.237 | 51 | |
| 15 | 04 25 | 432.84 | 12 | 10 | -3859 | 51 | 10 | 24.365 | 38 | |
| 16 | 04 28 | 435.83 | 12 | 6 | -3962 | 22 | 6 | 24.350 | 70 | |
| 17 | 04 30 | 437.82 | 12 | 9 | -3713 | 44 | 9 | 24.222 | 40 | |
| 18 | 04 30 | 437.92 | 13 | 8 | -3756 | 66 | 8 | 24.216 | 51 | |
| 19 | 04 30 | 437.98 | 14 | 9 | -3826 | 51 | 9 | 24.438 | 47 | |
| 20 | 05 05 | 442.91 | 13 | 11 | -3786 | 40 | 11 | 24.283 | 42 | |
| 21 | 05 05 | 442.97 | 14 | 10 | -3862 | 21 | 10 | 24.382 | 24 | |
| 22 | 05 06 | 443.02 | 15 | 10 | -3987 | 33 | 10 | 24.638 | 56 | |
| 23 | 05 07 | 444.90 | 13 | 11 | -4225 | 30 | 11 | 24.558 | 19 | |
| 24 | 05 07 | 444.96 | 14 | 11 | -4238 | 29 | 11 | 24.496 | 37 | |
| 25 | 05 08 | 445.01 | 15 | 10 | -4170 | 30 | 10 | 24.665 | 45 | |
| 26 | 05 08 | 445.96 | 14 | 8 | -3989 | 66 | 8 | 24.425 | 72 | |
| 27 | 05 09 | 446.01 | 15 | 8 | -3965 | 52 | 8 | 24.400 | 25 | |
| 28 | 05 25 | 462.92 | 14 | 8 | -4581 | 45 | 8 | 24.248 | 52 | |
| 29 | 06 20 | 488.93 | 16 | 7 | -5663 | 69 | 7 | 24.527 | 50 | |
| 30 | 06 20 | 488.96 | 17 | 5 | -5635 | 79 | 5 | 24.560 | 57 | |
| 31 | 06 25 | 493.92 | 16 | 6 | -5597 | 50 | 6 | 24.682 | 73 | |
| 32 | 06 25 | 493.95 | 17 | 6 | -5495 | 142 | 6 | 24.726 | 49 | |
| 33 | 06 25 | 493.99 | 18 | 6 | -5450 | 95 | 6 | 24.674 | 48 | |
| 34 | 06 26 | 494.92 | 16 | 7 | -5583 | 75 | 7 | 24.510 | 67 | |
| 35 | 06 26 | 494.95 | 17 | 8 | -5651 | 97 | 6 | 24.485 | 122 | |
| 36 | 06 26 | 494.98 | 18 | 6 | -5802 | 39 | 6 | 24.861 | 75 | |
| 37 | 07 13 | 511.90 | 17 | 8 | +3892 | 44 | 8 | 24.744 | 39 | |
| 38 | 07 13 | 511.94 | 18 | 10 | 3727 | 132 | 10 | 24.712 | 34 | |
| 39 | 07 13 | 511.97 | 19 | 9 | 3881 | 96 | 9 | 24.602 | 36 | |
| 40 | 07 18 | 516.92 | 18 | 9 | 3864 | 63 | 9 | 24.600 | 82 | |
| 41 | 07 18 | 516.99 | 20 | 12 | 3809 | 109 | 12 | 24.955 | 54 | |
| 42 | 07 20 | 518.91 | 18 | 7 | 3599 | 106 | 7 | 24.798 | 94 | |
| 43 | 07 20 | 518.95 | 19 | 6 | 3739 | 39 | 6 | 24.826 | 41 | |

| Nr. | D | | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | φ | m_{φ} |
|-----|------|----|-----------|----|----|------------|----------------|----|-----------|---------------|
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 1972 | | | | | | | | 52°24' | |
| 44 | 07 | 20 | 41 518.98 | 20 | 11 | +3643 | 67 | 11 | 24.880 | 64 |
| 45 | 08 | 07 | 536.97 | 21 | 8 | 3269 | 71 | 8 | 24.790 | 53 |
| 46 | 09 | 27 | 587.86 | 22 | 9 | 1776 | 79 | 9 | 25.224 | 91 |
| 47 | 09 | 27 | 587.89 | 23 | 10 | 1805 | 109 | 10 | 25.237 | 78 |
| 48 | 09 | 27 | 587.92 | 24 | 9 | 1744 | 77 | 9 | 25.215 | 71 |
| 49 | 10 | 04 | 594.84 | 22 | 9 | 1503 | 44 | 9 | 25.127 | 52 |
| 50 | 10 | 04 | 594.87 | 23 | 10 | 1560 | 48 | 10 | 25.071 | 31 |
| 51 | 10 | 04 | 594.90 | 24 | 10 | 1565 | 64 | 10 | 24.992 | 30 |
| 52 | 10 | 04 | 594.94 | 1 | 12 | 1540 | 78 | 12 | 25.016 | 31 |
| 53 | 10 | 05 | 595.84 | 22 | 9 | 1522 | 33 | 8 | 25.135 | 74 |
| 54 | 10 | 05 | 595.87 | 23 | 10 | 1623 | 64 | 10 | 25.161 | 36 |
| 55 | 10 | 05 | 595.90 | 24 | 10 | 1550 | 26 | 10 | 25.189 | 25 |
| 56 | 10 | 05 | 595.94 | 1 | 10 | 1517 | 72 | 10 | 25.050 | 56 |
| 57 | 10 | 08 | 598.83 | 22 | 9 | 1567 | 42 | 9 | 25.109 | 44 |
| 58 | 10 | 08 | 598.86 | 23 | 10 | 1540 | 54 | 10 | 25.063 | 28 |
| 59 | 10 | 08 | 598.89 | 24 | 9 | 1521 | 48 | 10 | 25.056 | 42 |
| 60 | 10 | 08 | 598.93 | 1 | 10 | 1448 | 90 | 10 | 25.124 | 52 |
| 61 | 10 | 13 | 603.88 | 24 | 10 | 1185 | 82 | 10 | 25.170 | 40 |
| 62 | 10 | 13 | 603.92 | 1 | 10 | 1032 | 83 | 10 | 25.112 | 48 |
| 63 | 10 | 16 | 606.84 | 23 | 7 | 1220 | 75 | 6 | 25.087 | 56 |
| 64 | 10 | 18 | 608.86 | 24 | 10 | 1127 | 69 | 10 | 25.018 | 93 |
| 65 | 10 | 18 | 608.90 | 1 | 12 | 1138 | 49 | 12 | 24.895 | 89 |
| 66 | 10 | 18 | 608.94 | 2 | 9 | 1152 | 73 | 9 | 25.140 | 134 |
| 67 | 11 | 01 | 622.83 | 24 | 9 | 0470 | 61 | 9 | 25.183 | 96 |
| 68 | 11 | 01 | 622.86 | 1 | 11 | 0563 | 47 | 11 | 25.091 | 46 |
| 69 | 11 | 01 | 622.90 | 2 | 7 | 0529 | 53 | 7 | 25.127 | 87 |
| 70 | 11 | 01 | 622.94 | 3 | 6 | 0584 | 55 | 6 | 25.169 | 174 |
| 71 | 11 | 14 | 635.83 | 1 | 12 | 0276 | 45 | 12 | 25.188 | 44 |
| 72 | 11 | 14 | 635.87 | 2 | 12 | 0295 | 27 | 12 | 25.166 | 88 |
| 73 | 11 | 14 | 635.90 | 3 | 9 | 0311 | 62 | 9 | 25.076 | 31 |
| 74 | 12 | 11 | 662.79 | 2 | 11 | -0795 | 43 | 11 | 24.980 | 30 |
| 75 | 12 | 11 | 662.83 | 3 | 9 | -0892 | 60 | 9 | 24.958 | 56 |
| 76 | 12 | 11 | 662.86 | 4 | 7 | -0707 | 80 | 7 | 25.093 | 48 |
| 77 | 12 | 11 | 662.90 | 5 | 14 | -0834 | 46 | 14 | 24.915 | 49 |
| 78 | 12 | 12 | 663.83 | 3 | 9 | -0768 | 51 | 9 | 25.000 | 70 |
| 79 | 12 | 12 | 663.86 | 4 | 11 | -0828 | 64 | 11 | 24.954 | 35 |
| 80 | 12 | 12 | 663.89 | 5 | 14 | -0728 | 58 | 14 | 25.035 | 53 |
| 81 | 12 | 16 | 667.78 | 2 | 11 | -0995 | 60 | 11 | 25.225 | 71 |
| 82 | 12 | 16 | 667.82 | 3 | 10 | -1035 | 67 | 10 | 25.292 | 31 |
| 83 | 12 | 16 | 667.85 | 4 | 10 | -1106 | 45 | 10 | 25.079 | 61 |
| 84 | 12 | 16 | 667.88 | 5 | 14 | -0953 | 54 | 14 | 25.217 | 49 |
| 85 | 12 | 20 | 671.84 | 4 | 11 | -1131 | 57 | 11 | 25.227 | 75 |
| 86 | 12 | 20 | 671.87 | 5 | 13 | -1189 | 54 | 13 | 25.230 | 60 |
| 87 | 12 | 20 | 671.91 | 6 | 13 | -1124 | 67 | 13 | 25.200 | 55 |

| Nr. | B | MJD | Gr | n | ΔU | $m\Delta U$ | n | ϕ | m_ϕ | |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|-------------|----|--------|----------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1973 | | | | | | | | 52°24' | |
| 88 | 01 02 | 41 684.80 | 4 | 11 | +8537 | 81 | 11 | 25.021 | 79 | |
| 89 | 01 02 | 684.84 | 5 | 10 | 8444 | 52 | 10 | 25.073 | 83 | |
| 90 | 01 02 | 684.87 | 6 | 8 | 8378 | 109 | 8 | 25.071 | 72 | |
| 91 | 01 02 | 684.91 | 7 | 12 | 8274 | 165 | 12 | 25.025 | 82 | |
| 92 | 01 13 | 695.81 | 5 | 11 | 8124 | 71 | 11 | 25.064 | 64 | |
| 93 | 01 13 | 695.84 | 6 | 13 | 8312 | 52 | 13 | 25.048 | 58 | |
| 94 | 01 13 | 695.88 | 7 | 12 | 8184 | 77 | 12 | 25.097 | 45 | |
| 95 | 01 22 | 704.81 | 6 | 11 | 7815 | 58 | 11 | 24.768 | 43 | |
| 96 | 01 24 | 706.81 | 6 | 7 | 7830 | 61 | 7 | 24.993 | 64 | |
| 97 | 01 24 | 706.85 | 7 | 11 | 7667 | 48 | 11 | 24.895 | 35 | |
| 98 | 01 24 | 706.89 | 8 | 5 | 7822 | 96 | 5 | 24.950 | 75 | |
| 99 | 02 13 | 726.80 | 7 | 10 | 7108 | 39 | 10 | 24.890 | 32 | |
| 100 | 02 13 | 726.84 | 8 | 9 | 6934 | 91 | 9 | 24.869 | 43 | |
| 101 | 02 13 | 726.88 | 9 | 9 | 7116 | 44 | 9 | 24.837 | 52 | |
| 102 | 02 14 | 727.79 | 7 | 11 | 7130 | 68 | 11 | 24.859 | 45 | |
| 103 | 02 14 | 727.84 | 8 | 10 | 7101 | 65 | 10 | 24.751 | 33 | |
| 104 | 02 14 | 727.87 | 9 | 9 | 7005 | 40 | 9 | 24.703 | 56 | |
| 105 | 02 26 | 739.81 | 8 | 9 | 6726 | 42 | 9 | 24.661 | 43 | |
| 106 | 02 26 | 739.84 | 9 | 9 | 6727 | 44 | 9 | 24.631 | 31 | |
| 107 | 02 26 | 739.90 | 10 | 10 | 6708 | 34 | 10 | 24.588 | 64 | |
| 108 | 02 27 | 740.80 | 8 | 10 | 6563 | 45 | 9 | 24.603 | 68 | |
| 109 | 02 27 | 740.84 | 9 | 8 | 6561 | 43 | 8 | 24.653 | 64 | |
| 110 | 02 27 | 740.89 | 10 | 10 | 6620 | 40 | 10 | 24.602 | 39 | |
| 111 | 03 09 | 750.81 | 9 | 9 | 6342 | 27 | 9 | 24.603 | 28 | |
| 112 | 03 09 | 750.87 | 10 | 7 | 6266 | 58 | 7 | 24.504 | 81 | |
| 113 | 03 13 | 754.80 | 9 | 9 | 6148 | 82 | 9 | 24.751 | 38 | |
| 114 | 03 13 | 754.86 | 10 | 8 | 6126 | 33 | 8 | 24.784 | 56 | |
| 115 | 03 13 | 754.91 | 11 | 10 | 6061 | 30 | 10 | 24.716 | 27 | |
| 116 | 03 14 | 755.80 | 9 | 9 | 6061 | 31 | 9 | 24.767 | 46 | |
| 117 | 03 15 | 756.79 | 9 | 9 | 5998 | 28 | 9 | 24.731 | 38 | |
| 118 | 03 15 | 756.85 | 10 | 6 | 6025 | 33 | 6 | 24.703 | 45 | |
| 119 | 03 15 | 756.90 | 11 | 10 | 5948 | 25 | 10 | 24.725 | 35 | |
| 120 | 03 23 | 764.83 | 10 | 10 | 5790 | 48 | 10 | 24.602 | 55 | |
| 121 | 03 23 | 764.88 | 11 | 10 | 5734 | 80 | 10 | 24.692 | 26 | |
| 122 | 03 23 | 764.93 | 12 | 11 | 5881 | 40 | 11 | 24.678 | 40 | |
| 123 | 03 28 | 769.81 | 10 | 6 | 5506 | 79 | 6 | 24.677 | 36 | |
| 124 | 03 28 | 769.87 | 11 | 10 | 5580 | 25 | 10 | 24.781 | 41 | |
| 125 | 03 28 | 769.92 | 12 | 11 | 5659 | 37 | 11 | 24.738 | 39 | |
| 126 | 03 29 | 770.81 | 10 | 10 | 5570 | 29 | 10 | 24.718 | 63 | |
| 127 | 03 29 | 770.86 | 11 | 10 | 5485 | 30 | 10 | 24.704 | 35 | |
| 128 | 03 29 | 770.92 | 12 | 10 | 5614 | 54 | 10 | 24.624 | 92 | |
| 129 | 04 03 | 775.90 | 12 | 10 | 5377 | 25 | 10 | 24.376 | 39 | |
| 130 | 04 03 | 775.99 | 13 | 4 | 5328 | 51 | 4 | 24.519 | 42 | |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | φ | m_{φ} |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|-----------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 1973 | | | | | | | 59°24' | |
| 131 | 04 08 | 41 780.84 | 11 | 9 | +5346 | 46 | 9 | 24.582 | 30 |
| 132 | 04 08 | 780.89 | 12 | 11 | 5297 | 48 | 11 | 24.528 | 37 |
| 133 | 04 13 | 785.82 | 11 | 10 | 5111 | 54 | 10 | 24.717 | 24 |
| 134 | 04 13 | 785.87 | 12 | 11 | 4966 | 81 | 11 | 24.608 | 61 |
| 135 | 04 13 | 785.97 | 13 | 11 | 5122 | 37 | 11 | 24.622 | 45 |
| 136 | 04 23 | 795.84 | 12 | 10 | 4840 | 17 | 10 | 24.512 | 57 |
| 137 | 04 23 | 795.94 | 13 | 11 | 4907 | 41 | 11 | 24.478 | 29 |
| 138 | 05 06 | 808.92 | 13 | 6 | 4456 | 63 | 7 | 24.760 | 53 |
| 139 | 05 07 | 809.02 | 15 | 10 | 4557 | 77 | 10 | 24.683 | 38 |
| 140 | 05 15 | 817.89 | 13 | 6 | 3931 | 59 | 6 | 24.518 | 114 |
| 141 | 05 16 | 818.88 | 13 | 11 | 4270 | 56 | 11 | 24.560 | 53 |
| 142 | 05 16 | 818.94 | 14 | 11 | 4220 | 44 | 11 | 24.684 | 41 |
| 143 | 05 16 | 818.99 | 15 | 8 | 4219 | 41 | 8 | 24.730 | 57 |
| 144 | 05 17 | 819.03 | 16 | 6 | 4014 | 108 | 6 | 24.785 | 52 |
| 145 | 05 17 | 819.94 | 14 | 11 | 4098 | 45 | 11 | 24.617 | 51 |
| 146 | 05 17 | 819.98 | 15 | 10 | 4167 | 60 | 10 | 24.751 | 42 |
| 147 | 05 18 | 820.03 | 16 | 8 | 3888 | 33 | 8 | 24.955 | 95 |
| 148 | 05 18 | 820.93 | 14 | 11 | 4248 | 30 | 11 | 24.722 | 62 |
| 149 | 05 18 | 820.98 | 15 | 10 | 4221 | 39 | 10 | 24.945 | 48 |
| 150 | 05 19 | 821.02 | 16 | 8 | 4122 | 40 | 8 | 24.782 | 84 |
| 151 | 05 23 | 825.92 | 14 | 11 | 4029 | 48 | 11 | 24.414 | 35 |
| 152 | 05 23 | 825.97 | 15 | 9 | 4128 | 53 | 9 | 24.694 | 44 |
| 153 | 05 24 | 826.01 | 16 | 5 | 3934 | 60 | 5 | 24.847 | 31 |
| 154 | 05 29 | 831.90 | 14 | 11 | 4211 | 34 | 11 | 24.642 | 27 |
| 155 | 05 29 | 831.95 | 15 | 10 | 4196 | 33 | 10 | 24.747 | 46 |
| 156 | 05 29 | 831.99 | 16 | 7 | 3888 | 42 | 7 | 24.801 | 35 |
| 157 | 06 05 | 838.93 | 15 | 9 | 3545 | 50 | 9 | 24.658 | 55 |
| 158 | 06 06 | 839.00 | 17 | 7 | 3232 | 91 | 7 | 24.628 | 58 |
| 159 | 06 14 | 847.91 | 15 | 10 | 3136 | 67 | 10 | 24.537 | 33 |
| 160 | 06 14 | 847.95 | 16 | 6 | 3194 | 41 | 6 | 24.774 | 93 |
| 161 | 06 16 | 849.90 | 15 | 10 | 3458 | 53 | 10 | 24.363 | 46 |
| 162 | 06 16 | 849.94 | 16 | 8 | 3359 | 31 | 8 | 24.609 | 94 |
| 163 | 06 16 | 849.98 | 17 | 9 | 3234 | 95 | 9 | 24.672 | 63 |
| 164 | 06 17 | 850.01 | 18 | 6 | 3151 | 90 | 6 | 24.690 | 86 |
| 165 | 06 18 | 851.93 | 16 | 3 | 2961 | 26 | 3 | 24.857 | 7 |
| 166 | 06 18 | 851.96 | 17 | 7 | 2989 | 54 | 7 | 24.790 | 97 |
| 167 | 06 19 | 852.01 | 18 | 7 | 3026 | 84 | 7 | 24.784 | 48 |
| 168 | 06 19 | 852.93 | 16 | 5 | 3080 | 163 | 5 | 24.610 | 98 |
| 169 | 06 19 | 852.97 | 17 | 9 | 3009 | 47 | 9 | 24.802 | 115 |
| 170 | 06 20 | 853.00 | 18 | 7 | 2983 | 83 | 7 | 24.701 | 39 |
| 171 | 06 20 | 854.00 | 18 | 6 | 2925 | 86 | 6 | 24.673 | 107 |
| 172 | 07 04 | 867.96 | 18 | 8 | 2559 | 79 | 8 | 24.751 | 56 |
| 173 | 07 04 | 867.99 | 19 | 6 | 2724 | 57 | 6 | 24.708 | 68 |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | ϕ | m_{ϕ} |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|--------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 1973 | | | | | | | | 52°24' |
| 174 | 07 05 | 41 868.93 | 17 | 7 | +2716 | 61 | 7 | 24.800 | 82 |
| 175 | 07 05 | 868.96 | 18 | 4 | 2810 | 110 | 4 | 24.772 | 124 |
| 176 | 07 05 | 868.99 | 19 | 7 | 2690 | 47 | 6 | 24.794 | 138 |
| 177 | 07 09 | 872.91 | 17 | 8 | 2463 | 69 | 8 | 24.599 | 47 |
| 178 | 07 09 | 872.95 | 18 | 5 | 2484 | 72 | 5 | 24.670 | 53 |
| 179 | 07 09 | 872.98 | 19 | 7 | 2454 | 77 | 7 | 24.569 | 103 |
| 180 | 07 10 | 873.91 | 17 | 7 | 2724 | 103 | 7 | 24.554 | 46 |
| 181 | 07 16 | 879.90 | 17 | 7 | 2359 | 61 | 7 | 24.504 | 95 |
| 182 | 07 16 | 879.93 | 18 | 8 | 2348 | 102 | 8 | 24.584 | 47 |
| 183 | 07 16 | 879.96 | 19 | 8 | 2334 | 46 | 8 | 24.609 | 43 |
| 184 | 07 29 | 892.89 | 18 | 6 | 2159 | 105 | 6 | 24.521 | 133 |
| 185 | 07 29 | 892.92 | 19 | 6 | 2052 | 133 | 6 | 24.240 | 186 |
| 186 | 07 29 | 892.96 | 20 | 9 | 2143 | 36 | 9 | 23.939 | 69 |
| 187 | 07 30 | 893.89 | 18 | 6 | 2156 | 80 | 6 | 24.363 | 30 |
| 188 | 07 30 | 893.92 | 19 | 7 | 2147 | 36 | 7 | 24.440 | 41 |
| 189 | 07 30 | 893.96 | 20 | 11 | 1981 | 74 | 11 | 24.560 | 49 |
| 190 | 07 31 | 894.88 | 18 | 6 | 2091 | 83 | 6 | 24.564 | 90 |
| 191 | 07 31 | 894.92 | 19 | 7 | 2009 | 51 | 7 | 24.765 | 60 |
| 192 | 07 31 | 894.95 | 20 | 11 | 1964 | 47 | 11 | 24.804 | 50 |
| 193 | 08 06 | 900.90 | 19 | 4 | 1962 | 142 | 6 | 24.942 | 79 |
| 194 | 08 06 | 900.94 | 20 | 9 | 1921 | 62 | 9 | 25.020 | 47 |
| 195 | 08 12 | 906.88 | 19 | 7 | 1759 | 45 | 7 | 25.060 | 106 |
| 196 | 08 12 | 906.92 | 20 | 11 | 1707 | 70 | 11 | 25.131 | 41 |
| 197 | 08 12 | 906.96 | 21 | - | - | - | 6 | 24.946 | 83 |
| 198 | 08 13 | 907.88 | 19 | 6 | 1541 | 112 | 6 | 25.013 | 99 |
| 199 | 08 13 | 907.95 | 21 | 5 | 1771 | 100 | 7 | 25.143 | 66 |
| 200 | 08 15 | 909.88 | 19 | 6 | 1583 | 77 | 6 | 25.135 | 47 |
| 201 | 08 15 | 909.91 | 20 | 10 | 1650 | 26 | 10 | 25.190 | 51 |
| 202 | 08 15 | 909.95 | 21 | 7 | 1709 | 88 | 7 | 25.139 | 72 |
| 203 | 08 15 | 909.98 | 22 | 4 | 1628 | 101 | 4 | 25.206 | 104 |
| 204 | 08 21 | 915.90 | 20 | 11 | 1447 | 31 | 11 | 25.028 | 59 |
| 205 | 08 21 | 915.93 | 21 | 9 | 1358 | 40 | 11 | 24.898 | 42 |
| 206 | 08 21 | 915.96 | 22 | 8 | 1438 | 96 | 8 | 24.936 | 55 |
| 207 | 08 22 | 916.89 | 20 | 11 | 0953 | 59 | 11 | 25.049 | 53 |
| 208 | 08 22 | 916.93 | 21 | 6 | 0857 | 79 | 6 | 24.940 | 41 |
| 209 | 08 23 | 917.89 | 20 | 11 | 0910 | 62 | 11 | 25.088 | 67 |
| 210 | 08 23 | 917.93 | 21 | 9 | 0874 | 35 | 9 | 25.065 | 57 |
| 211 | 08 23 | 917.96 | 22 | 5 | 1200 | 71 | 5 | 25.016 | 89 |
| 212 | 08 27 | 921.92 | 21 | 10 | 1116 | 57 | 10 | 24.874 | 83 |
| 213 | 08 27 | 921.94 | 22 | - | - | - | 6 | 24.730 | 112 |
| 214 | 09 04 | 929.90 | 21 | 6 | 1419 | 140 | 6 | 24.976 | 82 |
| 215 | 09 04 | 929.92 | 22 | - | - | - | 5 | 25.027 | 105 |
| 216 | 09 04 | 929.95 | 23 | 5 | 1362 | 38 | 5 | 24.912 | 52 |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | φ | m_{φ} | |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|-----------|---------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1973 | | | | | | | | 52 ⁰ 24' | |
| 217 | 09 10 | 41 935.87 | 21 | 4 | +0868 | 69 | 5 | 24.800 | 40 | |
| 218 | 09 14 | 939.86 | 21 | 10 | 0719 | 89 | 10 | 25.068 | 48 | |
| 219 | 09 14 | 939.93 | 23 | 7 | 0953 | 68 | 7 | 24.981 | 56 | |
| 220 | 09 15 | 940.86 | 21 | 10 | 0782 | 59 | 9 | 25.004 | 44 | |
| 221 | 09 15 | 940.89 | 22 | 10 | 0850 | 57 | 10 | 24.863 | 44 | |
| 222 | 09 15 | 940.92 | 23 | 9 | 0806 | 33 | 9 | 24.971 | 39 | |
| 223 | 09 16 | 941.89 | 22 | 5 | 1068 | 33 | 5 | 24.924 | 65 | |
| 224 | 09 16 | 941.92 | 23 | 8 | 0995 | 39 | 8 | 25.010 | 48 | |
| 225 | 10 01 | 956.85 | 22 | - | - | - | 5 | 25.038 | 51 | |
| 226 | 10 01 | 956.88 | 23 | - | - | - | 8 | 24.986 | 41 | |
| 227 | 10 01 | 956.91 | 24 | - | - | - | 5 | 25.123 | 37 | |
| 228 | 10 04 | 959.84 | 22 | 8 | 0541 | 53 | 8 | 25.033 | 65 | |
| 229 | 10 04 | 959.90 | 24 | 7 | 0463 | 55 | 7 | 25.006 | 82 | |
| 230 | 10 04 | 959.94 | 1 | 4 | 0349 | 90 | 5 | 25.189 | 71 | |
| 231 | 10 06 | 961.84 | 22 | 7 | 0490 | 45 | 7 | 25.035 | 61 | |
| 232 | 10 12 | 967.84 | 23 | 4 | -0375 | 115 | 4 | 25.012 | 59 | |
| 233 | 10 12 | 967.88 | 24 | 5 | 0004 | 105 | 5 | 24.953 | 105 | |
| 234 | 10 12 | 967.92 | 1 | 8 | 0201 | 83 | 8 | 25.164 | 57 | |
| 235 | 10 28 | 983.84 | 24 | 3 | -0600 | 55 | 3 | 25.184 | 64 | |
| 236 | 10 28 | 983.90 | 2 | 4 | -0256 | 41 | 4 | 24.971 | 60 | |
| 237 | 11 02 | 988.82 | 24 | 8 | -0551 | 65 | 8 | 25.169 | 94 | |
| 238 | 11 02 | 988.86 | 1 | 9 | -0650 | 62 | 9 | 25.082 | 57 | |
| 239 | 11 02 | 988.90 | 2 | 11 | -0716 | 82 | 11 | 25.065 | 63 | |
| 240 | 11 02 | 988.94 | 3 | 6 | -0694 | 49 | 6 | 25.065 | 74 | |
| 241 | 11 03 | 989.86 | 1 | 11 | -0684 | 69 | 11 | 25.119 | 63 | |
| 242 | 11 03 | 989.90 | 2 | 10 | -0613 | 125 | 10 | 24.921 | 55 | |
| 243 | 11 03 | 989.93 | 3 | 6 | -0776 | 67 | 6 | 25.092 | 65 | |
| 244 | 11 14 | 42 000.83 | 1 | 11 | -1102 | 100 | 11 | 25.007 | 54 | |
| 245 | 11 14 | 000.87 | 2 | 10 | -0908 | 70 | 10 | 25.086 | 43 | |
| 246 | 11 14 | 000.90 | 3 | 7 | -0932 | 60 | 7 | 25.147 | 60 | |
| 247 | 11 22 | 008.85 | 2 | 6 | -1465 | 25 | 6 | 24.934 | 82 | |
| 248 | 12 05 | 021.84 | 3 | 5 | -1608 | 75 | 5 | 24.993 | 57 | |
| 249 | 12 18 | 034.84 | 4 | 5 | -1890 | 99 | 5 | 25.159 | 86 | |
| 250 | 12 18 | 034.88 | 5 | 13 | -1827 | 46 | 13 | 25.011 | 54 | |
| 251 | 12 18 | 034.91 | 6 | 12 | -1889 | 50 | 12 | 24.902 | 32 | |
| 252 | 12 19 | 035.84 | 4 | 11 | -2042 | 50 | 11 | 25.009 | 45 | |
| 253 | 12 19 | 035.91 | 6 | 5 | -1722 | 37 | 5 | 25.016 | 75 | |
| 254 | 12 30 | 046.81 | 4 | - | - | - | 7 | 24.964 | 63 | |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m\Delta U$ | n | φ | $m\varphi$ | |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|-------------|----|-----------|------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1974 | | | | | | | | 52°24' | |
| 255 | 01 26 | 42 073.80 | 6 | 5 | +6606 | 229 | 5 | 25.106 | 126 | |
| 256 | 01 30 | 077.80 | 6 | 6 | 7131 | 77 | 6 | 24.883 | 115 | |
| 257 | 01 30 | 077.84 | 7 | - | - | - | 5 | 24.805 | 71 | |
| 258 | 01 30 | 077.88 | 8 | 5 | 6719 | 262 | 5 | 24.803 | 42 | |
| 259 | 02 27 | 105.84 | 9 | 4 | 6196 | 91 | 4 | 24.875 | 92 | |
| 260 | 02 27 | 105.89 | 10 | 7 | 5874 | 61 | 7 | 24.894 | 67 | |
| 261 | 03 07 | 113.82 | 9 | 4 | 5822 | 68 | 4 | 24.657 | 77 | |
| 262 | 03 07 | 113.86 | 10 | 4 | 5846 | 82 | 5 | 24.628 | 93 | |
| 263 | 03 21 | 127.83 | 10 | 6 | 5371 | 57 | 6 | 24.634 | 78 | |
| 264 | 03 21 | 127.89 | 11 | 9 | 5425 | 74 | 9 | 24.738 | 49 | |
| 265 | 03 27 | 133.82 | 10 | 10 | 5235 | 75 | 10 | 24.562 | 72 | |
| 266 | 03 27 | 133.87 | 11 | 9 | 5260 | 69 | 10 | 24.537 | 61 | |
| 267 | 03 27 | 133.92 | 12 | 7 | 5285 | 97 | 7 | 24.559 | 103 | |
| 268 | 04 01 | 138.86 | 11 | 9 | 5015 | 46 | 9 | 24.652 | 103 | |
| 269 | 04 01 | 138.91 | 12 | 5 | 5282 | 101 | 5 | 24.537 | 76 | |
| 270 | 04 03 | 140.85 | 11 | 8 | 5164 | 85 | 8 | 24.644 | 136 | |
| 271 | 04 03 | 140.91 | 12 | 8 | 5242 | 44 | 8 | 24.639 | 59 | |
| 272 | 04 04 | 141.01 | 13 | 8 | 5202 | 85 | 8 | 24.690 | 76 | |
| 273 | 04 08 | 145.84 | 11 | 10 | 4796 | 48 | 10 | 24.665 | 49 | |
| 274 | 04 08 | 145.89 | 12 | 11 | 4876 | 51 | 11 | 24.594 | 64 | |
| 275 | 04 08 | 145.99 | 13 | 11 | 4852 | 70 | 11 | 24.567 | 55 | |
| 276 | 04 09 | 146.84 | 11 | 10 | 4723 | 54 | 10 | 24.610 | 69 | |
| 277 | 04 09 | 146.89 | 12 | 10 | 4982 | 47 | 11 | 24.543 | 59 | |
| 278 | 04 26 | 163.84 | 12 | 7 | 4415 | 42 | 7 | 24.764 | 62 | |
| 279 | 05 02 | 169.92 | 13 | 7 | 4219 | 79 | 7 | 24.554 | 57 | |
| 280 | 05 02 | 169.96 | 14 | 3 | 4174 | 81 | 3 | 24.547 | 84 | |
| 281 | 05 03 | 170.02 | 15 | - | - | - | 5 | 24.326 | 38 | |
| 282 | 05 07 | 174.91 | 13 | 9 | 4105 | 72 | 9 | 24.453 | 42 | |
| 283 | 05 07 | 174.96 | 14 | 8 | 3954 | 75 | 8 | 24.601 | 95 | |
| 284 | 05 08 | 175.01 | 15 | 9 | 3782 | 37 | 9 | 24.819 | 76 | |
| 285 | 05 10 | 177.90 | 13 | 10 | 4027 | 119 | 10 | 24.664 | 75 | |
| 286 | 05 15 | 182.88 | 13 | 6 | 3945 | 48 | 10 | 24.783 | 57 | |
| 287 | 05 15 | 182.99 | 15 | 8 | 3893 | 85 | 8 | 24.834 | 73 | |
| 288 | 05 17 | 184.93 | 14 | 7 | 3789 | 63 | 7 | 24.603 | 36 | |
| 289 | 05 24 | 191.92 | 14 | 11 | 3913 | 49 | 11 | 24.577 | 53 | |
| 290 | 05 24 | 191.96 | 15 | 10 | 3924 | 37 | 10 | 24.791 | 59 | |
| 291 | 05 30 | 197.90 | 14 | 8 | 3616 | 79 | 8 | 24.627 | 45 | |
| 292 | 05 30 | 197.95 | 15 | 8 | 3659 | 45 | 8 | 24.798 | 27 | |
| 293 | 05 30 | 197.99 | 16 | 8 | 3510 | 68 | 8 | 24.906 | 61 | |
| 294 | 06 05 | 203.93 | 15 | 9 | 3564 | 29 | 9 | 24.808 | 50 | |
| 295 | 06 05 | 203.97 | 16 | 8 | 3306 | 42 | 8 | 24.797 | 36 | |
| 296 | 06 06 | 204.01 | 17 | 7 | 3277 | 34 | 7 | 24.803 | 31 | |
| 297 | 06 15 | 213.90 | 15 | 6 | 3439 | 72 | 6 | 24.874 | 78 | |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | ϕ | m_{ϕ} |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|--------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 1974 | | | | | | | 52°24' | |
| 298 | 06 15 | 42 213.94 | 16 | 3 | +2960 | 43 | 3 | 24.971 | 114 |
| 299 | 06 15 | 213.97 | 17 | 5 | 2844 | 79 | 5 | 24.871 | 114 |
| 300 | 06 17 | 215.94 | 16 | 5 | 3008 | 77 | 5 | 25.046 | 67 |
| 301 | 06 23 | 221.92 | 16 | 6 | 2690 | 38 | 6 | 24.655 | 43 |
| 302 | 07 02 | 230.93 | 17 | 9 | 2691 | 71 | 9 | 24.781 | 51 |
| 303 | 07 02 | 230.96 | 18 | - | - | - | 8 | 24.814 | 140 |
| 304 | 07 22 | 250.91 | 18 | 9 | 1946 | 41 | 9 | 24.897 | 77 |
| 305 | 07 22 | 250.94 | 19 | 8 | 1950 | 56 | 8 | 24.966 | 51 |
| 306 | 07 22 | 250.98 | 20 | 9 | 2070 | 94 | 9 | 25.149 | 56 |
| 307 | 08 07 | 266.90 | 19 | 9 | 1706 | 40 | 9 | 25.016 | 76 |
| 308 | 08 07 | 266.93 | 20 | 12 | 1740 | 79 | 12 | 25.035 | 52 |
| 309 | 08 07 | 266.97 | 21 | 11 | 1753 | 58 | 11 | 25.063 | 57 |
| 310 | 08 11 | 270.89 | 19 | 9 | 1659 | 43 | 9 | 24.946 | 58 |
| 311 | 08 11 | 270.92 | 20 | 10 | 1614 | 103 | 10 | 25.033 | 64 |
| 312 | 08 11 | 270.96 | 21 | 9 | 1376 | 56 | 9 | 25.168 | 39 |
| 313 | 08 15 | 274.88 | 19 | 9 | 1366 | 46 | 9 | 24.993 | 64 |
| 314 | 08 15 | 274.91 | 20 | 12 | 1432 | 93 | 12 | 25.179 | 61 |
| 315 | 08 15 | 274.95 | 21 | 11 | 1717 | 129 | 12 | 25.167 | 65 |
| 316 | 08 16 | 275.91 | 20 | 12 | 1524 | 116 | 12 | 25.108 | 42 |
| 317 | 08 16 | 275.95 | 21 | 12 | 1637 | 69 | 12 | 25.126 | 65 |
| 318 | 08 16 | 275.98 | 22 | 10 | 1435 | 40 | 10 | 25.001 | 54 |
| 319 | 08 23 | 282.89 | 20 | 12 | 1301 | 89 | 12 | 24.998 | 43 |
| 320 | 08 23 | 282.93 | 21 | 12 | 1128 | 55 | 12 | 25.030 | 22 |
| 321 | 08 23 | 282.96 | 22 | 10 | 1289 | 40 | 10 | 24.995 | 38 |
| 322 | 08 24 | 283.89 | 20 | 12 | 1335 | 80 | 12 | 25.098 | 49 |
| 323 | 08 24 | 283.92 | 21 | 12 | 1231 | 29 | 12 | 25.002 | 42 |
| 324 | 08 24 | 283.95 | 22 | 9 | 1418 | 50 | 9 | 24.966 | 39 |
| 325 | 08 29 | 288.87 | 20 | 12 | 1233 | 55 | 12 | 25.106 | 34 |
| 326 | 08 29 | 288.91 | 21 | 12 | 1168 | 39 | 12 | 24.998 | 60 |
| 327 | 08 29 | 288.94 | 22 | 10 | 1353 | 41 | 10 | 24.969 | 34 |
| 328 | 09 02 | 292.86 | 20 | 12 | 1172 | 79 | 12 | 25.094 | 46 |
| 329 | 09 02 | 292.90 | 21 | 11 | 1068 | 56 | 11 | 25.125 | 37 |
| 330 | 09 02 | 292.93 | 22 | 10 | 1294 | 39 | 10 | 25.045 | 26 |
| 331 | 09 02 | 292.95 | 23 | 6 | 1228 | 80 | 6 | 25.168 | 20 |
| 332 | 09 04 | 294.89 | 21 | 8 | 1089 | 44 | 8 | 25.220 | 26 |
| 333 | 09 20 | 310.88 | 22 | 10 | 0966 | 78 | 10 | 25.073 | 57 |
| 334 | 09 20 | 310.91 | 23 | 11 | 0880 | 55 | 11 | 25.157 | 37 |
| 335 | 09 20 | 310.94 | 24 | 8 | 0653 | 46 | 8 | 25.151 | 49 |
| 336 | 09 25 | 315.87 | 22 | 8 | 0964 | 98 | 8 | 25.144 | 100 |
| 337 | 09 29 | 319.85 | 22 | 6 | 0612 | 139 | 6 | 25.034 | 53 |
| 338 | 09 29 | 319.88 | 23 | 11 | 0740 | 62 | 11 | 25.352 | 45 |
| 339 | 09 29 | 319.91 | 24 | 10 | 0420 | 74 | 10 | 25.271 | 63 |
| 340 | 09 30 | 320.85 | 22 | 10 | 0539 | 44 | 10 | 25.016 | 51 |

| Nr. | D | MJD | Gr | n | ΔU | $m_{\Delta U}$ | n | φ | m_{φ} | |
|-----|-------|-----------|----|----|------------|----------------|----|-----------|---------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 1975 | | | | | | | | 52°24' | |
| 341 | 09 30 | 42 320.89 | 23 | 5 | +0414 | 147 | 5 | 25.062 | 47 | |
| 342 | 09 30 | 320.92 | 24 | 8 | 0358 | 23 | 8 | 25.090 | 72 | |
| 343 | 10 02 | 322.88 | 23 | 11 | 0471 | 36 | 11 | 25.212 | 47 | |
| 344 | 10 02 | 322.90 | 24 | 9 | 0383 | 36 | 9 | 25.108 | 33 | |
| 345 | 10 11 | 331.85 | 23 | 9 | 0304 | 60 | 9 | 25.075 | 56 | |
| 346 | 10 11 | 331.88 | 24 | 5 | 0250 | 89 | 5 | 25.057 | 119 | |
| 347 | 11 20 | 371.86 | 2 | 6 | -1442 | 98 | 6 | 24.929 | 109 | |
| 348 | 11 20 | 371.89 | 3 | 9 | -1411 | 53 | 9 | 24.881 | 79 | |
| 349 | 11 20 | 371.92 | 4 | 10 | -1195 | 157 | 10 | 24.843 | 127 | |
| 350 | 12 03 | 384.85 | 3 | 10 | -1542 | 64 | 10 | 24.871 | 73 | |
| 351 | 12 03 | 384.88 | 4 | 11 | -1432 | 46 | 11 | 24.872 | 65 | |
| 352 | 12 03 | 384.92 | 5 | 13 | -1429 | 66 | 13 | 24.814 | 50 | |
| 353 | 12 22 | 403.83 | 4 | 10 | -1911 | 66 | 10 | 24.800 | 60 | |
| 354 | 12 23 | 404.83 | 4 | 11 | -1911 | 61 | 11 | 24.883 | 46 | |
| 355 | 12 23 | 404.86 | 5 | 14 | -1999 | 63 | 14 | 24.910 | 36 | |
| 356 | 12 23 | 404.90 | 6 | 8 | -2037 | 51 | 8 | 24.923 | 55 | |