

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

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde

Nr. 36

Über thermisch bedingte Einflüsse bei Transitbeobachtungen im Meridian

von

Johannes Dittrich

Als Manuskript gedruckt
Potsdam 1976

Von der Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen des
Wissenschaftsrates der Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades
Doktor eines Wissenschaftszweiges
(Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Johannes Dittrich

Tag der Einreichung: 24.1.1974

Gutachter: Prof. Dr. phil. habil. Sandig

Prof. Dr. sc. Deumlich

Dr.-Ing. Meinig

Tag der öffentlichen Verteidigung: 4.12.1974

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Rüger

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	8
2. Überblick über grundlegende Arbeiten zur Untersuchung der Einflüsse des thermischen Feldes auf das Transit und die mit ihm durchgeführten Zeitbestimmungen (Tab. 1)	11
2.1. Arbeiten über Refraktionsstörungen bei Zenitdistanzmessungen	11
2.2. Arbeiten über Refraktionsstörungen bei Zeitbestimmungen	12
2.3. Arbeiten über thermisch bedingte instrumentelle Fehler	13
3. Arbeitsbedingungen für die am Lohrmann-Observatorium ausgeführten Untersuchungen	16
3.1. Lage und Anlage des Meridianhauses	16
3.2. Das Zeiss-Transit 100/1000 und seine Aufstellung	16
3.3. Temperaturmeßinstrumente und Temperaturdifferenzmesser	18
3.4. Geräte zur Registrierung der Durchgangszeiten	21
4. Refraktionsstörungen und Möglichkeiten ihrer Erfassung unter besonderer Berücksichtigung einiger mikroklimatischer Faktoren	22
4.1. Mikroklimatische Faktoren und einige Besonderheiten bei ihrer Erfassung	24
4.2. Das Mikroklima in der unmittelbaren Nähe des Instruments	25
4.2.1. Das Temperaturfeld im Meridianhaus	25
4.2.2. Der Einfluß der Sonnenstrahlung und der Luftfeuchte auf das Temperaturfeld im Beobachtungshaus	28
4.2.3. Die Wirkung des Windes	28
4.2.3.1. Einige wichtige Ergebnisse aus vorliegenden Untersuchungen	28
4.2.3.2. Die Ursachen des "Windeffektes"	29
4.2.4. Künstliche Belüftung	30
4.2.5. Einige Bemerkungen zur Anlage eines Meridianhauses	31
5. Der thermische Zustand des Instruments	33
5.1. Möglichkeiten der Wärmeübertragung	33
5.2. Die Verhältnisse im Meridianhaus und ihr Einfluß auf den thermischen Zustand des Instruments	35
5.3. Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Instruments und ihre Änderungen	35
5.3.1. Vertikale Temperaturdifferenzen	36
5.3.2. Horizontale Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen	36
5.3.2.1. Der Einfluß des Beobachters auf die horizontalen Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen	39
5.3.2.2. Der Einfluß der Ventilation auf die horizontalen Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen	42

	Seite
5.3.2.3. Die Wirkung einer wärmedämmenden Schicht in Verbindung mit Strahlungsschutz auf die Temperaturdifferenzen am Fernrohr und ihre Änderungen	43
6. Abschätzung der Größe der Einflüsse mikroklimatischen Ursprungs	45
6.1. Die Berechnung der Refraktionsstörungen nach ZVEREV	46
6.2. Die Berechnung von instrumentellen Einflüssen auf Grund einer thermischen Asymmetrie des Instrumentes nach PAVLOV	47
6.3. Das Verhalten des Instrumentenazimutes	49
6.4. Die Bestimmung der Neigung und die thermische Beeinflussung der Libelle	50
7. Versuchsbeobachtungen	52
7.1. Die Beobachtungsprogramme	52
7.2. Die Auswertung der Beobachtungen	52
7.3. Ergebnisse der Versuchsbeobachtungen	54
7.4. Die Abhängigkeit der Abendwerte λ_m von Temperaturdifferenzen im I. Vertikal in der Nähe des Instrumentes und am Instrument	57
7.4.1. Erste Untersuchungen	57
7.4.2. Korrekturen nach PAVLOV und ZVEREV	58
7.4.3. Verbesserung der Abendwerte auf Grund der Regressionslinie	61
7.4.4. Zusammenstellung und Vergleich der Ergebnisse	62
8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	64
Literatur	66

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsthemas "Längen, Breiten" am Lohrmann-Observatorium der Sektion Geodäsie und Kartographie der Technischen Universität Dresden im Auftrage des Zentralinstituts für Physik der Erde bei der Akademie der Wissenschaften der DDR.

Mein besonderer Dank gilt meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. phil. habil. H.-U. SANDIG, der mir diese Arbeit übertrug und sie mit seiner Erfahrung und seinem Rat stets gefördert hat.

Johannes Dittrich

Zusammenfassung

Mikroklimatische Einflüsse, insbesondere Einflüsse des Temperaturfeldes in der unmittelbaren Umgebung des Transitinstrumentes, bewirken die Ausbildung von Refraktionsanomalien und thermisch bedingten instrumentellen Fehlern. Das Temperaturfeld im Meridianhaus wird durch dessen Lage und Anlage weitgehend bestimmt. Sonnenscheindauer bzw. Bewölkung und der Beobachter sind für den momentanen Zustand des Temperaturfeldes verantwortlich. Wind und Luftfeuchte wirken verstärkend oder ausgleichend. Eine Objektivierung der Beobachtung ist nur sinnvoll, wenn gleichzeitig die Verminderung bzw. Erfassung dieser Einflüsse gelingt. Dabei erscheint die Berechnung von Korrekturen auf Grund der Regressionsgleichung effektiver als die Berechnung von Refraktionsanomalien und thermisch bedingten Änderungen der Kollimation. Ziel der Entwicklung ist die Automatisierung der Transitbeobachtungen.

Summary

By examinations it was shown that refraction errors are mainly caused by the microclimate near transit instruments, particularly by temperature differences in the Ist Vertical. Apart from the meteorological factors (e.g., the duration of sunshine on the day of observation) as well as the position and construction of the meridian house the presence of the observer is an important factor in the formation of a thermal asymmetry in the immediate vicinity of the instrument. Transit observations in the meridian were reduced by means of temperature differences of the air and of the instrument (increase of the outer accuracy by 20 percent), or on the strength of physical correlation between temperature differences of the air and clock corrections (increase of the outer accuracy by 40 percent). With a view to further increasing accuracy an effort must be made not only to objectivize but to automate observations, nor must the detection and reduction of microclimatic influence be neglected.

Résumé

Des influences micro-climatiques, spécialement les influences du champ de température dans les environs de l'instrument des passages, causent le développement d'anomalies de réfraction et de fautes instrumentelles thermiques. Le champ de température dans le pavillon méridien est déterminé vastement par sa position et sa construction. La durée d'insolation, ou la nébulosité, et l'observateur sont responsables de l'état momentané du champ de température. Le vent et l'humidité de l'air opèrent dans un sens renforçant et compensant. Une objectivation des observations est judicieuse seulement en achevant la diminution ou détermination de ces influences. Pour cela le calcul de corrections au moyen de l'équation de régression paraît être plus effectif que le calcul d'anomalies de réfraction et de modifications thermiques de la collimation. Le développement vise à l'automatisation des observations de passage.

Резюме

Микроклиматические влияния, особенно термические влияния вблизи пассажного инструмента, вызывают рефракционные аномалии и термические инструментальные ошибки. Температурное поле внутри павильона определяется в значительной степени его расположением и его конструкцией. Продолжительность солнечного освещения и присутствие наблюдателя также влияют на состояние температурного поля. Ветер и влажность воздуха увеличивают или уменьшают указанные эффекты. Для полного успеха следует скомбинировать наблюдения на фотоэлектрическом пассажном инструменте с уменьшением или с регистрацией указанного влияния. При этом вычисление поправок, полученные путем регрессионного анализа, оказывается более эффективным, чем вычисление рефракционных аномалий и термических изменений коллимации. Цель исследований данной проблемы заключается в автоматизировании наблюдений на пассажном инструменте.

1. Einleitung

Die genaue astronomische Bestimmung der Zeit bzw. Länge ist ebenso wie die genaue Breitenbestimmung neben ihrer praktischen Bedeutung in der Landesvermessung und Erdmessung (z.B. für die Orientierung von geodätischen Netzen) von großer Wichtigkeit für die Untersuchung des Verhaltens des Erdrotationsvektors.

Da astronomische Messungen nach bewegten Zielen erfolgen, sind sie an diskrete Zeitpunkte geknüpft, so daß ganz spezifische physikalische Parameter wirksam werden. Jede Messung dieser Art ist nicht reproduzierbar, was in der bekannten Diskrepanz zwischen "innerer" und "äußerer" Genauigkeit zum Ausdruck kommt. Dieser Umstand stellt eine Genauigkeitsschranke für astronomische Messungen dar und erhöht nach RAMSAYER (1967) den Zeitaufwand bei Messungen auf LAPLACE-Punkten um mehr als 100 %.

Während einer Abendbeobachtung, die im allgemeinen 2 - 3 Stunden dauert, ist der physikalische Zustand der Atmosphäre relativ konstant. Eine theoretisch begründete Genauigkeit ist ohne größere Mühe erreichbar. An einem beliebigen anderen Abend wird es ebenso sein, allerdings werden die physikalischen Parameter andere Werte aufweisen und sich während der relativ kurzen Beobachtungszeit wiederum nur wenig ändern. So ist es zu erklären, daß der mittlere Fehler, aus den Abendwerten berechnet, mitunter das Zweibis Dreifache des mittleren Fehlers eines Abends beträgt. Das gilt sowohl für die Bestimmung der Zeit (geographische Länge λ) als auch für die Bestimmung der geographischen Breite φ . Die Größe dieser Diskrepanz ist ferner von der Bestimmungsmethode, dem eingesetzten Instrument und der Lage der Beobachtungsstation abhängig. Um einen guten Mittelwert der gesuchten Größe zu erhalten, ist eine Messung an mehreren Abenden mit optimalem Einsatz aller Mittel erforderlich, einschließlich der Bemühung, den Einfluß physikalischer Parameter, speziell des Mikroklimas, zu erfassen oder zu vermindern.

Im folgenden soll kurz die Bedeutung des Transitinstrumentes für genaue Bestimmungen der Zeit im Vergleich mit anderen Instrumenten dargestellt werden. Bekanntermaßen werden auf festen Stationen vorwiegend folgende Instrumente eingesetzt:

- Transitinstrument, auch kurz Transit genannt,
- Prismenastrolabium,
- Photographisches Zenitteleskop (PZT).

Während PZT und Astrolab zwei moderne Instrumententypen sind, hat das Transit eine große Tradition, die eng mit der Entwicklung der Astrometrie verknüpft ist. Rein instrumentelle Verbesserungen, die eine wesentliche Genauigkeitssteigerung mit sich bringen, sind am Transit, abgesehen von der photoelektrischen Registriermethode, über Jahrzehnte hinweg nicht vorgenommen worden.

Die Konstruktion des PZT gestattet es, viele Fehlerquellen zu umgehen, und der Beobachtungsvorgang läßt sich leicht automatisieren. Als Nachteil erwies sich die Beschränkung des Gesichtsfeldes. Es ist ein besonderer Sternkatalog erforderlich, dessen Anschluß an den FK 4 nicht ohne Schwierigkeiten mit der nötigen Genauigkeit zu realisieren ist. So spielen Katalogfehler bei PZT-Beobachtungen eine Rolle. Durch die Aufstellung mehrerer Instrumente auf ein und demselben Parallel wird die Beobachtung gleicher Sternprogramme möglich, und die genannten Einflüsse können kompensiert werden. Weitere Fehlerquellen

sind in der Benutzung der photographischen Platte begründet. Es sind noch Einflüsse der Seitenrefraktion im Innern des Rohres zu nennen, das beim Beobachtungsvorgang nicht mit umgelegt wird. Mit dem PZT werden z.Z. die genauesten Ergebnisse erzielt (PAVLOV 1955 b; PAUSCHER 1970).

Das *P r i s m e n a s t r o l a b i u m* übertrifft das PZT hinsichtlich seiner Möglichkeiten. Ein großer Vorteil besteht darin, daß man sich bei der Beobachtung auf FK-4-Sterne beschränken kann, deren Örter und Eigenbewegungen gut bekannt sind. Durch die Anlage des Instrumentes sind viele Fehlerquellen beseitigt. Die Beobachtung erfordert einige Übung. Eine Objektivierung wird beträchtliche instrumentelle Schwierigkeiten bereiten (HÖPFNER 1972). Die Berücksichtigung von Refraktionsanomalien läßt eine Genauigkeitssteigerung erwarten und bedarf noch eingehender Studien (PAVLOV 1955 b).

Das *T r a n s i t* oder Passageinstrument wurde von dem dänischen Astronomen OLAF RÖMER (1644 - 1710) erfunden. Seine Theorie hat TOBIAS MAYER (1723 - 1762) nahezu vollkommen dargestellt. BRADLEY schlug die Beobachtungsmethode "Auge - Ohr" vor. Seit 1861 wurde die Registrierung mit einer Handtaste angewandt und 1896 erstmalig das Kontaktmikrometer nach REPSOLD benutzt. DÖLLEN zeigte die Notwendigkeit einer umlegbaren Libelle auf der Achse des Transits zur genauen Bestimmung der Neigung. Das Erkennen persönlicher Fehler bei der Beobachtung förderte Bemühungen zur Objektivierung. Schon 1886 begannen erste Versuche zur photographischen Registrierung von Sterndurchgängen. Die Varianten sind vielfältig und werden bis in die Gegenwart untersucht und erprobt (WÄCHTER 1969). Eine neue Entwicklung wurde durch STRÖMGREN und PAVLOV 1925 mit dem Bau eines photoelektrischen Registrieransatzes eingeleitet. Diese Versuche konnten erst nach Beendigung des zweiten Weltkrieges durch PAVLOV zum vollen Erfolg geführt werden (POTTHOFF 1973).

Das Transit bietet die Möglichkeit, eine sehr breite Deklinationszone von Sternen zu beobachten. Dadurch können Beobachtungen in verschiedenen Breiten miteinander in Verbindung gebracht werden. Beobachtung und Auswertung erfolgen relativ schnell und übersichtlich. Der Einsatz einer photoelektrischen Registriereinrichtung ist im Sinne einer Objektivierung der Beobachtung unbedingt wünschenswert. Bei Zeitbestimmungen mit dem Transit ist die Diskrepanz zwischen "innerer" und "äußerer" Genauigkeit größer als bei Beobachtungen mit dem Astrolab und dem PZT.

Mit der Weiterentwicklung moderner Beobachtungsinstrumente konnte das Transit bezüglich der Genauigkeit keine vorderen Plätze der Rangordnung mehr einnehmen. Visuelle Zeitbestimmungen am Transit auf festen Stationen sind nicht mehr konkurrenzfähig. Durch ihre systematischen wissenschaftlichen Arbeiten verhalfen vor allem sowjetische Astrometer in Pulkovo und Moskau dem photoelektrischen Transit vor etwa 10 - 15 Jahren zu einem "Comeback". So standen des öfteren die Zeitdienste Pulkovo und Moskau, die mit dem photoelektrischen Transit arbeiten, an der Spitze des internationalen Zeitdienstes. Um mit dem Transit derartig gute Zeitbestimmungen zu erhalten, müssen neben der Objektivierung der Beobachtungen Maßnahmen zur Ausschaltung bzw. Erfassung der Einflüsse des Mikroklimas während der Beobachtung getroffen werden. Die Untersuchungen zu diesem Problem lassen sich in zwei Gruppen teilen.

Die erste Gruppe der Untersuchungen greift auf ein sehr großes, kontinuierlich angefallenes Beobachtungsmaterial des Zeitdienstes zurück. Dieses Material kann statistisch untersucht werden. Dabei lassen sich Aussagen über die Fehlerkomponenten und ihre Gewichte gewinnen. Die gemessenen mikroklimatischen Parameter sind häufig nicht sehr zahlreich und nicht zielgerichtet ausgewählt; sie können durch Wetterkarten ergänzt werden. Der Wert solcher Untersuchungen ist unverkennbar, detaillierte Aussagen können jedoch selten gewonnen werden.

Die zweite Gruppe von Untersuchungen hat einzelne Parameter des Mikroklimas und ihre Wirkung auf das Beobachtungshaus, auf das Instrument und auf die Ergebnisse der Zeitbestimmung zum Inhalt. Im einzelnen sind dies zum Beispiel Untersuchungen über Saalrefraktion, über den "Windeffekt", über das Temperaturfeld, über die thermische Asymmetrie des Transits und über die Einflüsse der genannten Faktoren auf die Resultate der Zeitbestimmungen. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen sind häufig unterschiedlich, oft sogar widersprüchlich. Das kann verschiedenartige örtliche Gegebenheiten als Ursache haben, ist aber mitunter auch durch die Art und den Umfang des Beobachtungsmaterials bedingt, das in manchen Fällen nicht von vornherein für derartige Untersuchungen vorgesehen war.

Die vorstehenden Überlegungen führten zu folgender Untergliederung der Arbeit: Nach einem Überblick über frühere Untersuchungen und Gegebenheiten bei den Dresdner Arbeiten werden Temperaturfelder im Beobachtungshaus und die thermischen Verhältnisse am Transit diskutiert. Eine Abschätzung der Größenordnung der zu erwartenden Einflüsse geht den Versuchsbeobachtungen voraus. Deren Ergebnisse werden diskutiert, und schließlich wird eine Möglichkeit angegeben, die gemessenen Durchgangszeiten mit Hilfe von Temperaturdifferenzen im I. Vertikal zu reduzieren. Die instrumentellen Fehler werden unter den vorgegebenen Bedingungen besonders analysiert, um eine Aussage über die dominierende Komponente des "Abendfehlers" (identisch mit "äußerer" Genauigkeit) zu gewinnen.

Die Untersuchungen können nur ein Beitrag zu der behandelten Thematik sein. Sie geben für die Bedingungen im Meridianhaus des Lohrmann-Observatoriums der Sektion Geodäsie und Kartographie der Technischen Universität Dresden einige Möglichkeiten an, die Ergebnisse der Transitbeobachtungen im Meridian zum Zwecke der Zeitbestimmung zu verbessern.

2. Überblick über grundlegende Arbeiten zur Untersuchung der Einflüsse des thermischen Feldes auf das Transit und die mit ihm durchgeführten Zeitbestimmungen (Tab. 1)

Die großen Unterschiede zwischen der Genauigkeit astronomischer Orts- und Zeitbestimmungen innerhalb eines Abends und über mehrere Abende hinweg waren schon sehr früh erkannt worden. Die Suche nach den Ursachen dieser Erscheinungen führte einmal zur Entdeckung der "persönlichen Gleichung" und zum anderen auf die Einflüsse, die durch den jeweiligen physikalischen Zustand der Atmosphäre verursacht werden. Diese werden in zwei Gruppen betrachtet:

1. Störungen der Refraktion,
2. Einflüsse auf das Instrument, die zu thermisch bedingten instrumentellen Fehlern führen.

Da zum "Windeffekt" keine repräsentativen Beobachtungen im Dresdner Meridianhaus vorliegen, erfolgt in Abschnitt 4.2.3. eine kritische Analyse der angegebenen Literatur.

Die Messung von Durchgangszeiten konnte erst Anfang der dreißiger Jahre durch den Einsatz von Quarzuhren mit der notwendigen Genauigkeit ausgeführt werden, so daß es bis zu diesem Zeitpunkt nicht möglich war, die obengenannten Störeinflüsse exakt in den Beobachtungsergebnissen nachzuweisen.

2.1. Arbeiten über Refraktionsstörungen bei Zenitdistanzmessungen

PRZYBYLLOK (1921), SCHÜTTE (1939) und SCHMEIDLER (1948, 1955) geben den bei der Messung von Meridianzenitdistanzen typischen Fall an, daß Gebäude in der Nähe des Beobachtungshauses Anlaß zur Ausbildung örtlicher Refraktionsanomalien sind. Dabei kann das Gebäude infolge der Wärmeträgheit wärmer oder kälter als die es umgebende Luft sein, und der Refraktionszenit kann sich so nach Süden oder nach Norden verschieben. SCHÜTTE (1939) gibt einen jahreszeitlichen Gang der Einflüsse solcher Störungen mit einer Amplitude von $\pm 0,25''$ in Zenitnähe an, was einer Neigung der Isopyknen von etwa $15'$ entspricht. Örtliche Refraktionsstörungen in den unteren Schichten der Atmosphäre können nach BOHRMANN (1925) durch die Topographie hervorgerufen und durch die nächtliche Inversion vergrößert werden. Wesentlich erscheint die Tatsache, daß auch Breitenbestimmungen, bei denen nach der Methode HORREBOW-TALCOTT Fernrohrbiegung, Teilkreisfehler und Normalrefraktion (bis auf einen differentiellen Anteil) ausgeschaltet sind, infolge der Verschiebung des Refraktionszenites verfälscht werden.

Das Problem der "Saalrefraktion" wird ausführlich durch KIENLE (1921) und THURM (1962) dargelegt. THURM untersucht die Verhältnisse im Meridianhaus des Lohrmann-Instituts der TH Dresden, DITTRICH und WÄCHTER (1972) haben eine nach dem Umbau 1962 erfolgte analoge Untersuchung beschrieben. Die Einflüsse der Saalrefraktion gehen bei der Messung von Meridianzenitdistanzdifferenzen ebenfalls nur in ihrer Differenz ein und sind von DITTRICH/WÄCHTER (1972) zu $< 0,04''$ ermittelt worden. Die Berechnung läßt erkennen, daß für einen beobachteten Stern der Einfluß $0,1''$ erreichen kann.

2.2. Arbeiten über Refraktionsstörungen bei Zeitbestimmungen

Spezielle Arbeiten, die sich mit dem Temperaturfeld in unmittelbarer Nähe des Instrumentes auseinandersetzen, werden ebenso wie theoretische Arbeiten über Refraktionsstörungen gesondert diskutiert.

MAHNKOPF (1929) erkannte die Aufgabe, die beobachteten Anomalien in ihrer Abhängigkeit von den meteorologischen Daten zu untersuchen. Gestützt von WANACH und SAMPSON vertritt er die Ansicht, daß periodische Schwankungen der Messungsergebnisse Auswirkungen der Refraktionsanomalien sind, die u.a. von der Jahreszeit abhängen und systematischen Charakter haben.

SCHÜTTE (1935) differenziert bereits die Einflüsse, nennt die Seitenrefraktion durch Schichtenneigung, sowohl der ganzen Atmosphäre als auch in sehr beschränktem Umfange als lokale Refraktionsstörungen mit topographischer Ursache (Häuser, Häuserfronten, Baumgruppen, Hangneigungen), und die Saalrefraktion.

Refraktionsstörungen, deren Ursache ein Gebäude in der Nähe des Meridianhauses ist, werden von FREIESLEBEN und LANGE (1936) analysiert. Der Nachweis solcher Einflüsse ist möglich geworden durch den Vergleich astronomischer Zeitbestimmungen vor und nach dem Neubau der Deutschen Seewarte in Hamburg im Jahre 1935 (parallel zum Meridianhaus auf der Westseite). Die nach dem Neubau erhaltenen Uhrkorrekturen zeigen Korrelationen zur Sonnenscheindauer und zur Temperatur. Die Einflüsse liegen in der Größenordnung von $0,01$.

NIETHAMMER (1940) gibt ein Beispiel einer extremen Refraktionsstörung von Zeitbestimmungen durch Föhneinfluß in der Größenordnung von $0,1$. Auf Grund einer statistischen Untersuchung des umfangreichen Potsdamer Beobachtungsmaterials kommt BUSCHMANN (1969) zu der Annahme, daß einige Gebäude und die Bewachsung (Bäume, Baumgruppen) in Potsdam die Ausbildung lokaler Refraktionsstörungen in den untersten Schichten der Atmosphäre begünstigen. Die Größe der Refraktionsstörungen ist abhängig von der Lage und dem Umfang der gestörten Schicht der Atmosphäre (WÜNSCHMANN 1931; STICKER 1943; ZVEREV 1950; TJUTEREV 1963, 1965 a; BRETTTERBAUER 1966).

Die Neigung der Schichten gleicher Dichte gegen den Meridian in der freien Atmosphäre erreicht nach WÜNSCHMANN (1931) selten mehr als $0,5$, was einer Refraktionsstörung von 1 ms entspricht. TJUTEREV (1965 a) stimmt 35 Jahre später mit WÜNSCHMANN darin überein, daß die anomale Refraktion in der freien Atmosphäre sehr klein im Vergleich zu den Beobachtungsfehlern ist, empfiehlt aber, bei speziellen Untersuchungen, z.B. über die Ungleichmäßigkeit der Erdrotation, diese Einflüsse zu berücksichtigen.

Die Neigungen in der erdnahen Schicht der Atmosphäre sind bedeutend größer als in der freien Atmosphäre und können beträchtliche Refraktionsanomalien hervorrufen (ZVEREV 1950; TJUTEREV 1963; TELEKI 1967; TELEKI und ŠEVARLIĆ 1970).

Die Theorie des Einflusses der Neigung der Schichten gleicher Dichte in der unteren Atmosphäre wird von RAMSAYER (1965, 1967, 1970) und BRETTTERBAUER (1965 a, 1965 b, 1966, 1970) vielseitig dargestellt und mit Empfehlungen für die Praxis verknüpft.

ZVEREV (1946 a) zeigt Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Refraktionsanomalien bei der Auswertung astronomischer Ortsbestimmungen. Die Arbeiten von TELEKI (1967) bzw. TELEKI und ŠEVARLIĆ (1970) weisen ebenso wie die von ZVEREV (1946 a, 1950) auf die Bedeutung der unteren und untersten Schichten der Atmosphäre bei der Ausbildung von Refraktionsanomalien hin.

2.3. Arbeiten über thermisch bedingte instrumentelle Fehler

Arbeiten über das thermische Verhalten der Libelle werden in Abschnitt 6.4. diskutiert.

ZIMMERMANN (1931) hat Effekte thermischer Biegung des Fernrohres bei Zenitdistanzmessungen zahlenmäßig erfaßt, auf die Abhängigkeit ihrer Größe von der Tageszeit und der Jahreszeit hingewiesen und bereits Maßnahmen getroffen, die Strahlungseffekte weitgehend auszuschalten. Obwohl DNEPROVSKY (1934) die von ZIMMERMANN eingeleiteten Untersuchungen weiterführte und zu bemerkenswerten Ergebnissen kam, wurde das Problem thermisch bedingter Instrumentalfehler erst 20 Jahre später durch sowjetische Astrometer wieder aufgegriffen. Dabei sind die vor allem für Zeitbestimmungen im Meridian bedeutenden horizontalen Temperaturdifferenzen am und im Instrument in der Ebene des I. Vertikals untersucht worden. In umfassenden Arbeiten haben VASIL'EV (1952, 1954 a, 1955), PAVLOV (1953, 1954, 1955 a, 1955 b, 1963 a, 1963 b) und TAVASTŠERNA (1957) ihre Entstehung, ihre temporären Gesetzmäßigkeiten, die Möglichkeiten ihrer Erfassung, Minderung und Ausschaltung sowie die Berechnung der durch sie verursachten Effekte wissenschaftlich dargestellt (Kap. 5 und Abschnitt 6.2.). Die Arbeiten von PIL'NIK (1957, 1963, 1970) haben ebenso wie die Untersuchungen von SOLOV'EVA und GARMAŠEV (1963) Biegungeffekte und die dadurch hervorgerufenen Verschiebungen der kollimationsfreien Ebene des Fernrohres zum Inhalt. MILOVANOVIĆ (1968) hat in einigen neueren astronomischen Beobachtungsserien (Breiten-, Längen- und Azimutbestimmungen) thermisch bedingte Instrumentalfehler nachgewiesen, ihre Entstehung untersucht und Möglichkeiten ihrer Verminderung aufgezeigt, wobei sein besonderes Interesse dem Verhalten der Libelle galt. Die labormäßigen Untersuchungen von Universal- und Passageinstrumenten durch SCHWEBEL (1968) bestätigen die bei praktischen Messungen gefundenen Effekte und unterstreichen ebenso wie die Untersuchungen von HIRSCH (1970) die Notwendigkeit, thermisch bedingte instrumentelle Fehler nicht zu vernachlässigen.

Die Erkenntnis, daß sich Einflüsse der Saalrefraktion und thermischer Deformationen des Instrumentes nur sehr schwer trennen lassen, da beide vom Mikroklima im Beobachtungshaus abhängen, hat zu Versuchen geführt, beide Komponenten durch Verbesserung der natürlichen und künstlichen Ventilation sowie durch thermischen Schutz des Instrumentes zu vermindern (ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962; PAVLOV 1963 a, 1963 b; BRANDT 1967 b, 1967 c). Auch die empirische Bestimmung einer funktionellen Abhängigkeit der Beobachtungsergebnisse von Temperaturdifferenzen, an geeigneten Positionen im Meridianhaus gemessen, kann zu einer wesentlichen Verbesserung der Beobachtungsergebnisse führen (VASIL'EV 1957 a, 1957 b; ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962; BLINOV und FEDOSEEV 1971 a, 1971 b; DITTRICH 1972).

Tab. 1. Überblick über grundlegende Arbeiten zur Untersuchung der Einflüsse des thermischen Feldes auf das Transit und die mit ihm durchgeführten Zeitbestimmungen (D - Durchgangsbeobachtungen, Z - Zenitdistanzmessungen, A - Azimutmessungen, X - allgemeine Untersuchungen)

Jahr	Autor	Untersuchung		Refraktion			Wind	Instru- ment	Li- belle
		theore- tisch	prak- tisch	freie Atmo- sphäre	ört- liche Anoma- lien	Saal- refrak- tion			
1921	KIENLE	x	x				Z		
1921	PRZYBYLLOK		x			Z			
1925	BOHRMANN		x			Z			
1929	MAHNKOPF		x	(D)	D	(D)			
1931	WÜNSCHMANN	(x)	(x)	X					
1931	ZIMMERMANN		x					Z	
1934	DNEPROVSKY		x					Z	
1935	SCHÜTTE	(x)	(x)	D	D	D			
1936	FREIBSLEBEN/LANGE		x		D				
1938/39	MIYADI		x				D		
1939	SCHÜTTE		x		Z				
1940	NIETHAMMER		x		D				
1943	STICKER	(x)	(x)		D	D			
1946 a	ZVEREV	x	x	(X)	DZA	(X)	D		
1946 b	ZVEREV	(x)	x				D		
1948	SCHMEIDLER		x		Z				
1950	ŠČEGLÓV		x			(D)		D	
1950	ZVEREV	(x)	x		D		D	(D)	D
1952	VASIL'EV		x					D	D
1953	PAVLOV	x	x					D	D
1954	PAVLOV	x	x					D	D
1954 a	VASIL'EV		x					D	D
1954 b	VASIL'EV		x						D
1954/55	KRÜGER		x	(D)	D				
1955 a	PAVLOV	x	x					D	D
1955 b	PAVLOV	x	x					D	D
1955	SCHMEIDLER		x		Z				
1955	VASIL'EV		x					D	D
1957	BEDA	(x)	x						D
1957	KRÜGER		x				D		
1957	MISČENKO		x			D		D	
1957	PIL'NIK	(x)	x					D	
1957	TAVASTŠERNA	x	x					D	
1957 a	VASIL'EV		x			D		D	
1957 b	VASIL'EV		x			D		D	
1958	STARICYN		x			D		D	
1960	AFANAS'EVA		x				D		
1960	BRKIČ		x				D		
1962	ČŽEN ČŽUN-LJAN		x			D	D		

Tab. 1. (Fortsetzung)

Jahr	Autor	Untersuchung		Refraktion			Wind	Instru- ment	Li- belle
		theore- tisch	prak- tisch	freie Atmo- sphäre	ört- liche Anoma- lien	Saal- refrak- tion			
1962	THURM	(x)	x			Z		Z	
1963	KRÜGER	(x)	(x)				D		
1963	MISČENKO		x			D		D	D
1963 a	PAVLOV	x	x		D	D	D	D	D
1963 b	PAVLOV	x	x		D	D	D	D	D
1963	PIL'NIK		x					D	
1963	TJUTEREV	(x)	x		DZ	X			
1963	SOLOV'EVA/GARMAŠEV		x					D	
1965 a	BRETTTERBAUER	x			X				
1965 b	BRETTTERBAUER	x			Z				
1965	RAMSAYER	x	(x)		X				
1965 a	TJUTEREV	x	x	DZ	(X)				
1965 b	TJUTEREV		x				DZ		
1966	BRETTTERBAUER	x			X				
1967 a	BRANDT		x						D
1967 b	BRANDT		x			D			
1967 c	BRANDT		x			D			
1967	RAMSAYER		x		X				
1967	TELEKI	(x)	(x)	(X)	X				
1968	MILOVANOVIĆ	(x)	x				DZA	DZA	DZA
1968	SCHWEBEL	(x)	x					X	X
1968	TJUTEREV		x		DZ	DZ			
1969	BUSCHMANN	statistische Analyse von Zeitbestimmungen							
1970	ANDERSSON	(x)	x		D	D			
1970	BRETTTERBAUER	x			X				
1970	HIRSCH	(x)	x					X	
1970	PIL'NIK		x					D	
1970	RAMSAYER	x		X	X	X			
1970	SERGIENKO		x		Z				
1970	TELEKI/ŠEVARLIĆ	(x)	x		X				
1971 a	BLINOV/FEDOŠEEV		x			D			
1971 b	BLINOV/FEDOŠEEV		x			D		(X)	
1971	MILOVANOVIĆ/PANNWITZ	(x)	x			D		D	D
1971 a	SERGIENKO		x		Z	Z			
1971 b	SERGIENKO		x		Z	Z			
1972	DITTRICH		x			D		D	
1972	DITTRICH/WÄCHTER	(x)	x			Z			
1972	MILOVANOVIĆ		x						X
1972	TELEKI	x	x		X				
1972	TJUTEREV	x	x				Z		
1972	PAVLOV	x	x		D	D			
1973	SERGIENKO/SERGIENKO	(x)	x		Z	Z			

3. Arbeitsbedingungen für die am Lohrmann-Observatorium ausgeführten Untersuchungen

In diesem Kapitel sollen die Örtlichkeit der Untersuchungen, das Transit und einige Hilfsinstrumente vorgestellt werden. Die sich daraus ergebenden Bedingungen für die Anlage der Untersuchungen werden diskutiert.

3.1. Lage und Anlage des Meridianhauses

Die Beobachtungen wurden im Meridianhaus des Lohrmann-Observatoriums der Sektion Geodäsie und Kartographie der Technischen Universität Dresden im Gelände des Dresdner Zwingers durchgeführt. Ein Lageplan wurde von WÄCHTER (1969) angegeben. Das Meridianhaus liegt auf der geographischen Breite $\varphi = 51^{\circ}03'16''$. Etwa 20 m südöstlich des Meridianhauses befinden sich Ausstellungsräume des Mathematisch-Physikalischen Salons. Die Arbeitsräume liegen z.T. im Inneren des Wallles, wodurch die Bodenerwärmung während der Heizperiode recht unterschiedlich ist. Etwa 4 m westlich des Meridianhauses fällt das Gelände zum Zwingersteich hin 10 - 12 m steil ab. Nach Norden und Osten erstreckt sich die Ebene des Zwingerwalls. Das 600 m westlich gelegene Kraftwerk der Stadt Dresden erschwert die Beobachtungen vor allem bei Westwinden durch starke Verschmutzung und Rauchentwicklung. Die Lage in der Stadtmitte bringt für astronomische Beobachtungen deutliche Nachteile (Beleuchtung, Dunst).

Das Meridianhaus hat eine achteckige Form. In ihm befinden sich zwei Beobachtungspfeiler und ein Pfeiler für die Aufstellung des künstlichen Sternes (DITTRICH und WÄCHTER 1972, Abb. 3). Den Schnitt durch das Gebäude im Meridian gibt Abb. 4 derselben Veröffentlichung.

Abb. 1 zeigt den Schnitt im I. Vertikal. Ungünstig erscheint der auch bei offenem Spalt abgeschlossen wirkende Innenraum. Der Spalt selbst ist nur 110 cm breit und bildet einen Kanal zwischen Innen- und Außenraum (130 cm hoch). Die Jalousien an den symmetrisch angeordneten Fenstern und an der Tür fördern den Temperatureausgleich zwischen Innen- und Außenluft. Die gemauerten Wände haben eine beträchtliche Wärmekapazität. Es ist keine symmetrische Lage der Isothermen zu erwarten, im Meridian wegen unsymmetrischer Pfeileranordnung, im I. Vertikal im Hinblick auf die Topographie (Wall im Osten, Steilhang und Graben im Westen).

3.2. Das Zeiss-Transit 100/1000 und seine Aufstellung

Für die Beobachtungen stand das vom VEB Carl Zeiss Jena gefertigte Transit 100/1000 Nr.14567 des Zentralinstituts für Physik der Erde der AdW der DDR zur Verfügung. Es wurde auf dem südlichen Pfeiler des Meridianhauses aufgestellt. Das Gerät ist mit einer Hängelibelle ausgerüstet, deren mittlere Angabe aus mehrfachen Eichungen, u.a. während des Einsatzes bei der astronomisch-geodätischen Längenbestimmung Borowiec - Dresden - Potsdam 1966 (HÖPFNER 1971), zu $\gamma = 60$ ms bestimmt wurde. Das Instrument ist mit einem Registriermikrometer ausgerüstet, dessen Revolutionswert $5,440$ beträgt. Mit dem benutzten Okular $f = 6$ mm ergibt sich eine 160fache Vergrößerung. Ein zwischen Brennebene und Okular angebrachtes Reversionsprisma gestattet die Drehung des Bildes in eine

beliebige Lage, so daß der Sterndurchgang im Gesichtsfeld sowohl horizontal als auch vertikal beobachtet werden kann. Die Einstellung am Kreis erfolgt mit der Genauigkeit einer Bogenminute. Drei Blendgitter mit $1^m.5$, $3^m.0$ und $4^m.5$ Abschwächung, die vor dem Objektiv eingelegt werden können, gestatten das Abblenden heller Sterne, so daß keine Helligkeitsgleichung auftritt. Die Zapfen des Instrumentes wurden unmittelbar vor der astronomisch-geodätischen Längenbestimmung Borowiec - Dresden - Potsdam (April - August 1966) vom Herstellerwerk VEB Carl Zeiss Jena überholt und gaben keinen Anlaß zu Beanstandungen. Der tote Gang und die Kontaktbreite wurden zu verschiedenen Zeiten mehrfach bestimmt und schwankten um wenige Millisekunden. Alle notwendigen Zusatzeinrichtungen für die photoelektrische Registrierung der Sterndurchgänge hat POTTHOFF (1973) dargestellt und beschrieben.

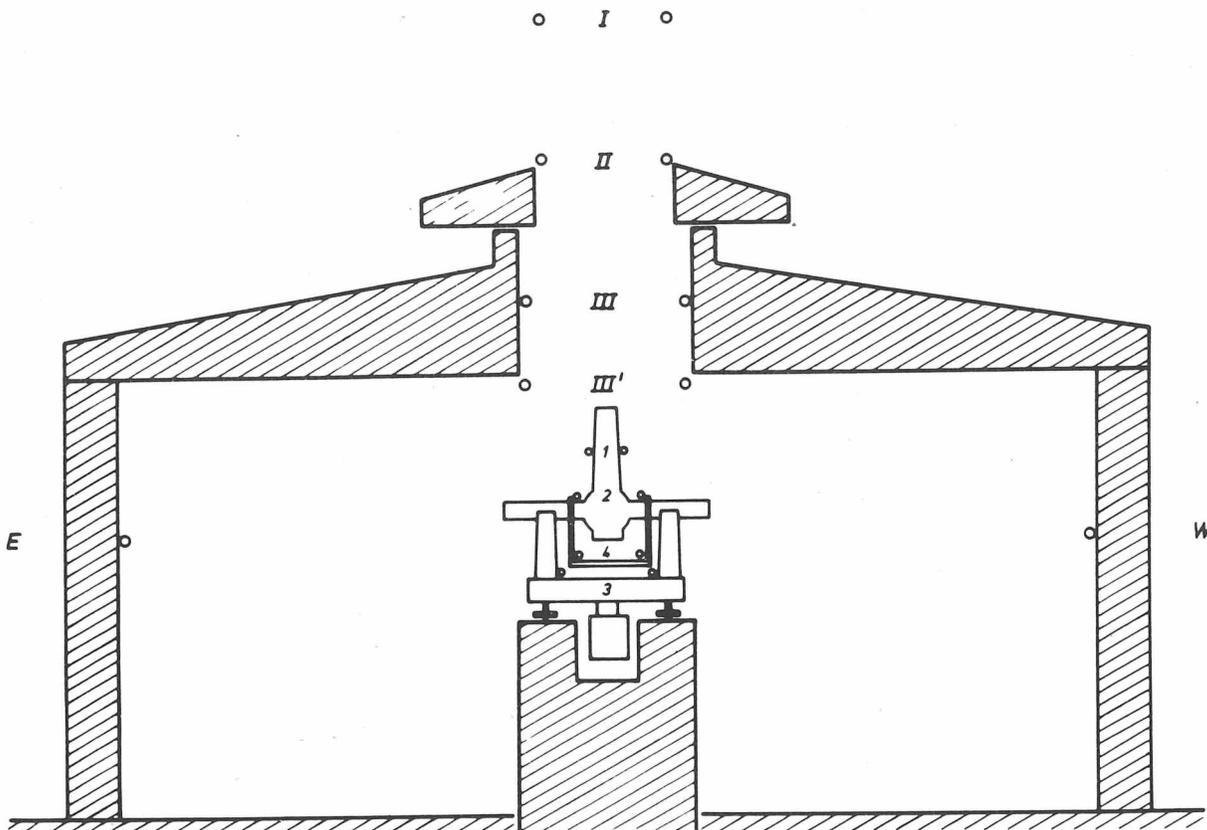


Abb. 1. Schnitt durch das Dresdner Meridianhaus im I. Vertikal

3.3. Temperaturmeßinstrumente und Temperaturdifferenzmesser

Zur Ermittlung von Lufttemperaturen wurden Präzisions-Quecksilberthermometer benutzt, die auf 0,1 K geteilt sind und einen Meßbereich von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ besitzen. Eine Fehlerquelle für die gemessenen Lufttemperaturen stellen sowohl die Strahlung als auch der Wind dar. Die etwas träge Reaktion der Quecksilberthermometer ist nicht unerwünscht (Abschnitt 4.1.). Für Eichzwecke standen ähnliche Thermometer mit einem Meßbereich von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ zur Verfügung. Für die Messung von Wandtemperaturen und Temperaturen am Pfeiler wurden auf 0,2 K geteilte Körperthermometer benutzt, die nur mit einem Meßbereich von $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ geliefert wurden, der bei extremen Wetterlagen überschritten wurde.

Mit dem Einsatz obengenannter Thermometer ist eine Genauigkeit der Temperaturmessungen vorgegeben. Die Lufttemperaturen und Temperaturdifferenzen in Luft sind mit den eingesetzten Präzisionsthermometern bei einmaliger Messung nicht genauer als auf 0,05 bzw. 0,07 K zu messen. Die Genauigkeit der mit den Körperthermometern gemessenen Temperaturen und Temperaturdifferenzen liegt, bedingt durch die gröbere Teilung, etwas niedriger. Diese Genauigkeiten sind für die Messungen von Temperaturen und Temperaturdifferenzen in Luft angemessen (Abschnitt 4.1.).

Der Notwendigkeit, mehrere Meßstellen möglichst gleichzeitig abzufragen, kann mit dem Einsatz von Widerstandsthermometern nachgekommen werden. Unter Ausnutzung der Eigenschaft von Leitern und Halbleitern, in Abhängigkeit von der Temperatur ihren Widerstand zu ändern, kann die Temperaturmessung als Widerstandsmessung ausgeführt werden (KAUTSCH 1967). Der Widerstandstemperaturkoeffizient α_T beträgt bei den in Frage kommenden Metallen etwa $1/250 = 0,4\text{ } \%/K$. Es gilt mit ausreichender Genauigkeit:

$$(1) \quad R_2 = R_1 [1 + \alpha_T (T_2 - T_1)] ,$$

wenn R_1 und R_2 Widerstände bei den Temperaturen T_1 und T_2 sind. Für Widerstandsthermometer werden vorzugsweise Nickel ($\alpha_T = 0,617\text{ } \%/K$) und Platin ($\alpha_T = 0,385\text{ } \%/K$) verwendet. Als Trägermaterial werden Spezialkeramiken oder Hartglas benutzt. Für eine einfache Temperaturanzeige genügt z.B. die Strommessung bei konstanter Spannungsquelle. Häufig werden jedoch Brückenschaltungen angewendet.

Thermistoren haben ebenfalls einen stark temperaturempfindlichen ohmschen Widerstand, der mit steigender Temperatur abnimmt (Heißleiter!). Für einen kleinen Temperaturbereich hat der Thermistor auf Grund seiner Empfindlichkeit und seiner geringen Größe Vorzüge gegenüber metallischen Widerständen, diese jedoch haben den Vorteil einer nahezu linearen Abhängigkeit von Widerstandsänderung und Temperatur über große Bereiche und unterliegen keinen Alterungserscheinungen.

Die Entwicklung von thermoelektrischen Temperaturdifferenzmessern im Elektrolabor der Sektion Geodäsie und Kartographie der Technischen Universität Dresden ist eng verbunden mit dem Fortgang der vorliegenden Untersuchungen. Eine fest im Beobachtungshaus angebrachte, bei Breitenbestimmungen (HORREBOW-TALCOTT) eingesetzte Meßanlage und einige kleine, jeweils mit zwei Meßfühlern ausgerüstete Temperaturdifferenzmesser standen zu Beginn der Untersuchungen zur Verfügung. Als Meßwandler dienten 30 mm lange und 3 mm

dicke Platinwiderstände mit einem porzellanartigen Trägermaterial des VEB Thermometerwerk Geraberg.

Die Untersuchung dieser Geräte ergab eine Abhängigkeit der Genauigkeit der Meßergebnisse von der Luftfeuchtigkeit, deren Ursache im hygrokopischen Verhalten der auf dem Widerstandsdraht aufgetragenen Glasurschicht zu suchen war. In Ermangelung besserer Temperaturmeßwandler wurden die vorhandenen mit einem Epoxydharzüberzug versehen. Erst 1971/72 konnte durch den Einsatz von Import-Temperaturmeßwandlern aus der VR Polen (50 mm Länge, 5 mm Durchmesser) und eine völlige Neukonstruktion der Geräte (Abb. 2) eine befriedigende Lösung geschaffen werden.

Die Energieversorgung des Gerätes erfolgt durch zwei Batterien zu je 4,5 V. Die Genauigkeit einer gemessenen Temperaturdifferenz liegt bei $\pm 0,1$ K; die Eichung läßt sich im Wasser ausführen. Der Meßbereich beträgt $\pm 2,5$ K. In Verbindung mit einem Lichtschreiber des Elektroapparatewerkes Treptow konnten die Temperaturdifferenzen automatisch registriert werden. Für den Temperaturdifferenzmesser wurde eine Zeitkonstante $\tau = 20$ s ermittelt. Als Zeitkonstante τ wird die Zeit definiert, in der sich die anfängliche Temperaturdifferenz bis auf $37\% = 1/e$ angeglichen hat (KOHLRAUSCH 1955).

Im Elektrolabor ist 1971/72 ein Temperaturprofilmesser (Abb. 3) entwickelt worden, der sich zur Messung der absoluten Temperatur im Bereich von -20 °C bis $+60$ °C eignet. Während ein Nullpunktfehler nicht ausgeschlossen werden kann (Eichung im schmelzenden Eis), können Temperaturdifferenzen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ K gemessen werden.

Die Meßfühler der beschriebenen Widerstandsthermometer lassen sich nicht zur Messung von Temperaturdifferenzen an einzelnen Teilen des Instrumentes befestigen. Da außerdem die Genauigkeitsforderung für Temperaturdifferenzen am Instrument bei $0,01$ K liegt, wurden für derartige Messungen **T h e r m o e l e m e n t e** benutzt.

Verlötet oder verschweißt man zwei Drähte aus verschiedenen Metallen oder Metallegierungen an einem Ende miteinander, so entsteht ein Thermoelement (SEEBECK-Effekt). Es gilt

$$(2) \quad U_{Th} = \alpha (T_2 - T_1) ,$$

wobei U_{Th} die an den freien Enden mit einem hochohmigen Spannungsmesser gemessene Spannung, α die Konstante, die vom Material der beiden Leiter abhängt, T_1 die Temperatur der freien Enden und T_2 die Temperatur der Lötstelle sind.

In der Praxis haben sich vor allem die Kombinationen Eisen/Konstantan und Kupfer/Konstantan bewährt. Konstantan ist eine Legierung, bestehend aus 45 % Nickel und 55 % Kupfer. Für die erforderlichen Temperaturdifferenzmessungen wurden zwei Kupfer-Konstantan-Thermolemente in Reihenschaltung benutzt. Durch einen Silberkontaktschalter waren sowohl eine Umpolung bei jeder Messung und damit die Ausschaltung des Nullpunktfehlers des Galvanometers sowie eine Genauigkeitssteigerung um 2 als auch die Abfrage von drei bzw. vier Meßstellen durch einfaches Umschalten möglich. Obwohl sehr empfindliche, hochohmige Galvanometer zur Messung benutzt wurden, erzeugten die zu messenden kleinen Temperaturdifferenzen nur sehr schwache Ausschläge.

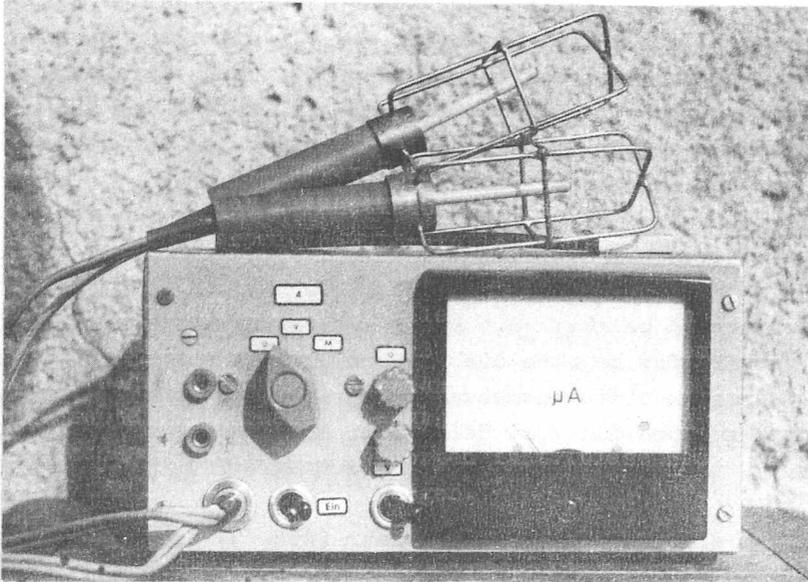


Abb. 2. Thermoelektrischer Temperaturdifferenzmesser

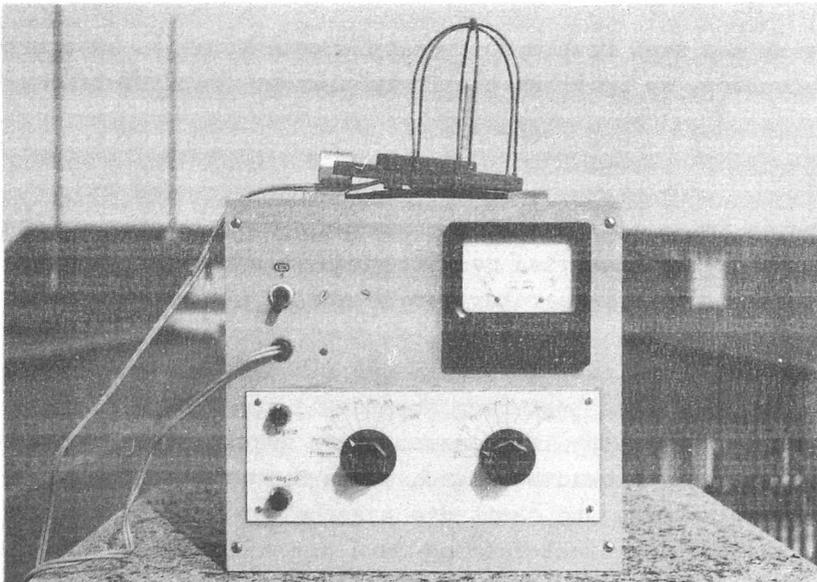


Abb. 3. Thermoelektrischer Temperaturprofilmesser

Die Eichung erfolgte im Wasser durch die Messung relativ großer Temperaturunterschiede über einen Bereich von etwa 5 K. Die Eichkurven sind abhängig von dem Abstand der in Reihe liegenden Lötstellen (Anordnung: Kupferdraht - Lötstelle - Konstantandraht - Lötstelle - Kupferdraht) und liegen zwischen 0,10 K/Skt und 0,16 K/Skt.

Die beiden Drähte wurden über dem Bunsenbrenner mit Kupfer hart verlötet, so daß die Lötstellen Tropfenform erhielten. Durch entsprechende Bearbeitung wurde die Berührungsfläche zu den Einzelteilen des Instrumentes etwas vergrößert, so daß sie 0,5 bis 1 mm² betrug. Die Lötstellen wurden mit einer Knetmasse befestigt, die schlechtes Wärmeleitvermögen besitzt. Da die Wärmeleitzahlen der sich berührenden Metalle und der benutzten Knetmasse (Isolator) um einige 10³ verschieden sind, ist die Angleichung der Temperatur der Lötstelle an die Temperatur der untersuchten Instrumententeile zu erwarten.

An dieser Stelle sei in Übereinstimmung mit HIRSCH (1970) nochmals darauf hingewiesen, daß die Frage nach dem tatsächlichen Temperaturverlauf am, im und in der Nähe des Instrumentes, etwa für die Dauer der Beobachtungen, sich nur mit sehr großem apparativem Aufwand und der synchronen kontinuierlichen Erfassung aller Meßwerte einigermaßen sicher beantworten läßt. Diese Bedingungen sind unter den gegebenen Voraussetzungen nicht zu bewältigen.

3.4. Geräte zur Registrierung der Durchgangszeiten

Die Geräte zur Registrierung der Sterndurchgangszeiten waren in einem vom Mathematisch-Physikalischen Salon zur Verfügung gestellten Raum untergebracht (WÄCHTER 1969, Abb. 5).

Die 1-Hz-Impulse der Arbeitsuhr (Kleinquarzuhr des VEB Funkwerk Erfurt mit der internen Bezeichnung Q 7) wurden verstärkt und über eine Postleitung in das Elektrolabor gegeben. Dort erfolgte am Zeitzeichenoszillographen ein direkter Vergleich mit dem Zeitzeichen OMA, Prag, auf Bruchteile einer Millisekunde genau. Die Arbeitsuhr wurde täglich kontrolliert und bewies gute Gangeigenschaften. Über einige Tage hinweg konnte mit 10⁻⁸, d.h. ≤ 1 ms/d, gerechnet werden. Die Registrierung der Kontakte des Mikrometers erfolgte durch einen Druckchronographen. In verschiedenen Beobachtungsabschnitten kamen mehrere Druckchronographen zum Einsatz, sowohl nach mittlerer Zeit als auch nach Sternzeit laufend. Der Synchronmotor des Druckchronographen wurde mit der verstärkten 50-Hz-Frequenz der Arbeitsuhr gespeist, die Bestimmung seines Standes erfolgte mit Hilfe der 1-Hz-Impulse. Ein Längstwellenempfänger diente zur Überprüfung der Zeigerstellung der Arbeitsuhr.

Um im entfernten Beobachtungshaus die Funktionstüchtigkeit der Zeitregistriereinrichtung in gewissem Umfang kontrollieren zu können, wurden während der Beobachtung alle Geräusche aus dem Uhrenraum ins Meridianhaus übertragen.

4. Refraktionsstörungen und Möglichkeiten ihrer Erfassung unter besonderer Berücksichtigung einiger mikroklimatischer Faktoren

Infolge der optischen Eigenschaften der Erdatmosphäre, bestimmt durch ihre sphärische Schichtung und deren Änderungen, wird eine Beobachtungsrichtung von der Erdoberfläche nach einem Gestirn gekrümmt (Normalrefraktion). Nimmt man an, daß die aktuelle Atmosphäre der Modellatmosphäre entspricht und keine Schichtenneigungen auftreten, so werden nur Zenitdistanzen eine Korrektur erhalten, die nach der Formel

$$(3) \quad R = \rho'' \int_B^0 \tan v \frac{dn}{n}$$

berechnet werden kann, wobei n der Brechungsindex, v der Einfallswinkel, R die Refraktion und B die obere Grenze der Atmosphäre sind.

Als wesentliche Ursachen für Refraktionsfehler sind die Abweichung des wahren Druck- und Temperaturverlaufes längs der Lichtbahn vom theoretisch angenommenen, die Neigung der Schichten gleicher Brechungszahl und Windeffekte (Abschnitt 4.2.3.) zu nennen (RAMSAYER 1967).

Um die Einflüsse der Refraktionsfehler auf die Beobachtungsergebnisse klein zu halten, legt man z.B. Zenitdistanzmessungen so an, daß Sternpaare in gleicher Zenitdistanz und einer Azimutdifferenz von 180° beobachtet werden. Die Berechnung von Korrekturen, die an den Beobachtungsergebnissen anzubringen sind, ist sehr mühevoll und hinsichtlich der Genauigkeit nicht immer befriedigend.

Nach Kap. 2 haben nur Refraktionsanomalien in der unmittelbaren Nähe des Instrumentes und in den untersten Schichten der Atmosphäre (einige Dekameter, höchstens Hektometer) für astronomische Orts- und Zeitbestimmungen größere Bedeutung. Diese Aussage läßt sich stützen mit dem Satz von ORIANI-LAPLACE: "Für Zenitdistanzen $< 75^\circ$ ist die Refraktion ausschließlich bedingt durch die Dichte der Luft im Beobachtungsort."

Die Berechnung von Refraktionsanomalien mit Hilfe meteorologischer Daten wird hier unter den allgemeinen Bedingungen einer Verschiebung des Refraktionszenites und einer Schichtenneigung nach ZVEREV (1946 a) angegeben (Abb. 4).

Es wird weiter vorausgesetzt, daß die atmosphärischen Schichten eine sphärische Form haben und untereinander konzentrisch, jedoch um den Winkel j geneigt sind. In einem solchen Fall wird das Symmetriezentrum der Refraktionsverschiebung nicht Z , sondern Z' sein. Der Himmelskörper, der im Punkt $G(z, A)$ beobachtet wird, wird beim Fehlen der Refraktion in G' erscheinen, d.h., es ändert sich bei einer Schichtenneigung j nicht nur die Zenitdistanz, sondern auch das Azimut. Aus einfachen Beziehungen und einigen Umformungen ergeben sich die Korrekturen für die Zenitdistanz (Δr_z), das Azimut (Δr_A) und die Zeit aus Meridiandurchgängen (Δr_u):

$$(4) \quad \Delta r_z'' = -0,0175 j' \cos (A - A_0) \sec^2 z ,$$

$$(5) \quad \Delta r_A'' = +0,0175 j' \sin (A - A_0) \sec z \operatorname{cosec} z ,$$

$$(6) \quad \Delta r_u^S = +0,00117 j' \sin A_0 \sec z \sec \delta .$$

Es läßt sich aus dem Formelsystem leicht erkennen, daß Δr_z für $A = A_0$ oder $A = 180 + A_0$, Δr_A für $A = 90^\circ + A_0$ oder $A = 270^\circ + A_0$ und Δr_u für $A_0 = 90^\circ$ oder $A_0 = 270^\circ$ ihre Maximalwerte erreichen.

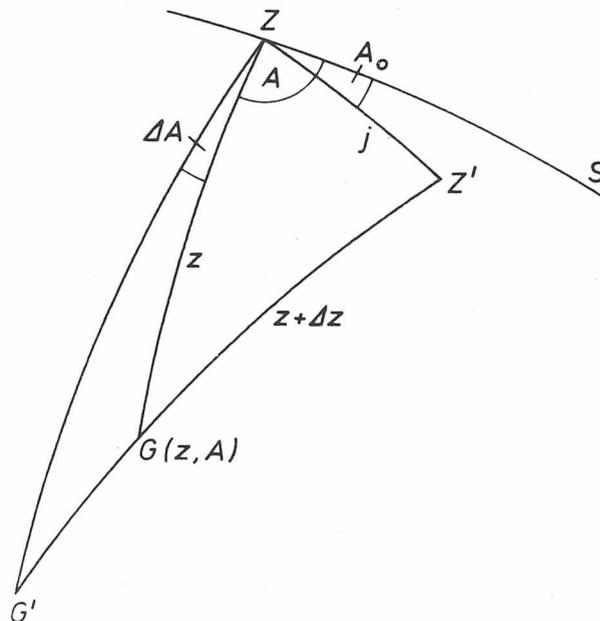


Abb. 4. Allgemeiner Fall der Verschiebung des Refraktionszenites durch Schichtenneigung; Z : Zenit des Beobachtungsortes, ZS : südliche Hälfte des Meridians, Z' : Durchstoßpunkt der Normalen zur atmosphärischen Schichtung mit der Himmelssphäre, j : Winkel zwischen der Normalen zur geneigten Luftschicht und der Senkrechten ($j = \overline{ZZ'}$), A_0 : Azimut von Z' ($A_0 = \sphericalangle SZZ'$), ΔA : azimutale Komponente der Refraktionsstörung, A : Azimut des Sterns ($A = \sphericalangle SZG$), z : Zenitdistanz ($z = \overline{ZG}$), δ : Deklination

Für die Berechnung der an den Zeitbestimmungen anzubringenden Korrekturen Δr_u auf Grund von Neigungen der unteren Schichten der Atmosphäre wurde die Formel (6) in die folgende Form gebracht (ZVEREV 1950):

$$(7) \quad \Delta r_u = +0,0148 \frac{h}{d} (T_E - T_W) \sec z \sec \delta .$$

Es sind h die Höhe der gestörten Schicht, d die horizontale Entfernung der Temperaturmeßstellen und T_E, T_W die Temperaturen Ost und West im I. Vertikal.

Damit ist zum Ausdruck gebracht, daß die Einflüsse der Refraktionsanomalien in den unteren Schichten der Atmosphäre im wesentlichen nur von der Mächtigkeit der gestörten Schichten und von Temperaturdifferenzen im I. Vertikal abhängen.

Die Notwendigkeit, die Einflüsse der Refraktionsanomalien im Interesse einer weiteren Genauigkeitssteigerung von den Beobachtungsergebnissen abzuspalten, hat einige sehr interessante Berechnungsvarianten hervorgebracht, die kurz erwähnt werden sollen.

PAVLOV (1955 b) kombinierte die Formel (6) mit der Formel für die Korrektur Δr_{uz} (Δr_u im Zenit):

$$(8) \quad \Delta r_{uz} = +0,00117 \text{ j} \sin A_0 \sec \varphi .$$

Es ergibt sich dann

$$(9) \quad \frac{\Delta r_u}{\Delta r_{uz}} = \frac{\sec z \sec \delta}{\sec \varphi} .$$

Die Werte für den Quotienten $\Delta r_u/\Delta r_{uz}$ wurden für $-70^\circ \leq z \leq 70^\circ$ errechnet, und es wurden Sterne paarweise kombiniert; z.B. für Pulkovo:

$$(10) \quad \begin{cases} \Delta r_{uz} = \frac{1}{3} (u_z - u_{-60^\circ}) , & \Delta r_{uz} = 3 (u_z - u_{+30^\circ}) , \\ \Delta r_{uz} = 2 (u_{70^\circ} - u_z) , & \Delta r_{uz} = 2 (u_{-10^\circ} - u_z) , \end{cases}$$

wobei u_z die Uhrkorrektur für eine Gruppe Zenit- und Äquatorsterne, u_{-60° die Uhrkorrektur für Sterne in unterer Kulmination ($z = -60^\circ$) usw. sind. Die mehrfache Bestimmung von Δr_{uz} ergibt die Zenitrefraktion, vorausgesetzt, daß die Genauigkeit der Messungen genügend hoch ist und andere Fehlerquellen die Ergebnisse nicht verfälschen.

Eine ähnliche Methode wird von RAMSAYER (1967) für Zenitdistanzmessungen angegeben. Auch die simultane Beobachtung von Zenitdistanz und Azimut mittels einer automatischen Sternführung (RAMSAYER 1962) und die separate Auswertung von Zenitdistanzmessungen und horizontalen Richtungen erlauben eine Aussage über die Größe der Einflüsse anomaler Refraktion (RAMSAYER 1967).

Eine zusätzliche Unbekannte für die Seitenrefraktion in die Ausgleichung nach Uhrkorrektur und Azimut einzuführen hat nach MEINIG (1970) sowie MILOVANOVIĆ und PANNWITZ (1971) einen krassen Genauigkeitsabfall für die gesuchten Werte der Unbekannten zur Folge. Modifizierte Versuche des Verfassers zur zusätzlichen Elimination der Seitenrefraktion bei der Ausgleichung wurden wegen des übermäßig großen Gewichtsverlustes bei der Uhrkorrektur u und dem Azimut k verworfen.

Mit Rücksicht auf oben angeführte Tatsachen, auf die Möglichkeiten und örtlichen Gegebenheiten im Dresdner Meridianhaus wurde der Schwerpunkt der Messungen auf die Erfassung horizontaler Temperaturdifferenzen im I. Vertikal gelegt, die die Berechnung der örtlichen Refraktionsanomalien bzw. der Saalrefraktion nach ZVEREV ermöglichen. Zusätzlich wurden Luftfeuchte, Innen- und Außentemperatur, Wandtemperaturen und Parameter über die optischen Eigenschaften der Atmosphäre registriert.

4.1. Mikroklimatische Faktoren und einige Besonderheiten bei ihrer Erfassung

Es ist sehr schwierig, Lufttemperaturen mit einer Genauigkeit von $\leq 0,1$ K zu erfassen. Zur Messung von Temperaturdifferenzen genügt es jedoch, wenn für die Dauer einer Messung keine Nullpunktänderungen auftreten und relative Nullpunktverschiebungen bei den benutzten Thermometern bekannt sind.

Das Abfragen der Meßstellen sollte dabei möglichst gleichzeitig geschehen. Die Lufttemperaturen schwanken unter der Einwirkung von Luftbewegungen um einige Zehntel Grad. Es ist möglich, daß sich durch äußere Einflüsse, ohne unmittelbar erkennbare Ursache,

"Luftblasen" oder Luftschichten von unterschiedlicher Temperatur bilden. Selbst auf kürzeste Distanz (beide Schutzkörbchen der Fühler des elektrischen Temperaturdifferenzmessers aneinandergerückt, das entspricht 6 cm Abstand) konnten bei ruhender Luft Temperaturdifferenzen von 0,1 bis 0,2 K festgestellt werden.

Schnell reagierende Fühler zeigen zwar eine momentane Temperaturdifferenz genau an, können aber nur von Nutzen sein, wenn eine kontinuierliche Registrierung (Schreiber mit entsprechend hohem Auflösungsvermögen) vorhanden bzw. die Abfragefrequenz hoch genug ist und eine exakte zeitliche Zuordnung gewährleistet werden kann. Träge Meßfühler geben einen Mittelwert über eine kleine Zeitspanne und gleichen so zufällige Schwankungen der Lufttemperaturen aus. Auch Quecksilberthermometer und in besonderem Maße Körperthermometer besitzen diese Eigenschaft. Die Wärmestrahlung, aber auch der Wind (Wärmeübertragung durch Konvektion) können zur Verfälschung der gemessenen Lufttemperatur beitragen.

Sehr unangenehm wirkt hohe Luftfeuchtigkeit (Abschnitt 3.3.), die eine weiter zurückliegende Ausführung der Temperaturdifferenzmesser völlig funktionsuntüchtig machte. Die Luftfeuchte im Innenraum des Pavillons wurde stets gemessen; von ihrer Größe hängt die Intensität der Wärmeübertragung ab.

Der Wind wird im Beobachtungshaus nur bedingt wirksam. Häufig sind nur seine Auswirkungen zu beobachten (Bildung von Wirbeln, Turbulenz). Die Anlage des Beobachtungshauses begünstigt das Eindringen von Winden aus Südost und Südwest als Störfaktoren für Beobachtungen auf dem südlichen Pfeiler, während genau aus West und Ost kommende Winde nur bei größerer Stärke (≥ 4) direkt den Innenraum beeinflussen, jedoch durch die Jalousien der Fenster und der Tür die Wirbelbildung verstärken. Süd- oder Nordwinde wirken ausgleichend auf die Temperaturverhältnisse im I. Vertikal.

4.2. Das Mikroklima in der unmittelbaren Nähe des Instruments

In den Abschnitten 4.2.1. und 4.2.2. werden die Temperaturverhältnisse im Beobachtungshaus und ihre durch den Einfluß anderer mikroklimatischer Faktoren bedingten Veränderungen dargestellt. Die Überlegungen dazu basieren u. a. auf ČŽEN ČŽUN-LJAN (1962), THURM (1962), WÄCHTER (1964), BLINOV und FEDOSEEV (1971 a, 1971 b), DITTRICH und WÄCHTER (1972). Repräsentative Messungen des Temperaturfeldes in den unteren Schichten der Atmosphäre, außerhalb des Beobachtungshauses, liegen nicht vor.

4.2.1. Das Temperaturfeld im Meridianhaus

Im Innenraum des Meridianhauses unterhalb des Spaltes befinden sich etwa symmetrisch zum Meridian, getrennt durch Pfeiler und Instrumente, Luftmassen unterschiedlicher Temperatur (Abb. 1). Die Temperaturdifferenzen liegen zwischen -0,1 K und 0,5 K. Die westliche "Luftblase" ist am Nachmittag und am Abend im allgemeinen die wärmere (positives Vorzeichen). Die Messung von Temperaturprofilen im I. Vertikal ergab weder östlich noch westlich des Pfeilers eine stabile Schichtung. Die dargestellten Verhältnisse werden durch die östlich gelegene Eingangstür und die Anwesenheit des Beobachters, der sich

überwiegend an dem an der Westwand stehenden Arbeitstisch aufhält, begünstigt und lassen sich sowohl bei geschlossenem als auch bei offenem Spalt nachweisen. Im Spalt des Meridianhauses ist bei geschlossenem Dach die Schichtung der Luft instabil, und die Temperaturunterschiede sind sehr klein (0,2 K bis 0,3 K). Bei geöffnetem Dach entsteht im Beobachtungshaus Luftbewegung, und es bilden sich im Spalt typische Luftschichten aus (Abb. 5). Die wärmere Luft befindet sich im Innenraum. Durch die Jalousien der Tür und der Fenster wird bei offenem Spalt infolge der nach oben abfließenden erwärmten Luft, die sich vorzugsweise an den Wänden des Spaltes bewegt, kältere Außenluft angesogen. Zur Mitte des Spaltes hin scheint sie sich bei zunehmender Höhe mit der kühleren Außenluft zu vermischen, die von oben her eindringt. In Dachhöhe sind die Temperaturen oftmals schon ausgeglichen. Der Umfang der Schichtenneigung wird u.a. durch die Temperaturunterschiede "innen" - "außen" (bei geöffnetem Dach als vertikale Temperaturdifferenzen zu betrachten) und den Wind bestimmt (im Bild Südostwind!). Die Größe der Neigung der Luftschichten hängt wesentlich ab von der Größe der im I. Vertikal gemessenen horizontalen Temperaturdifferenzen im Innenraum, unterhalb des Spaltes.

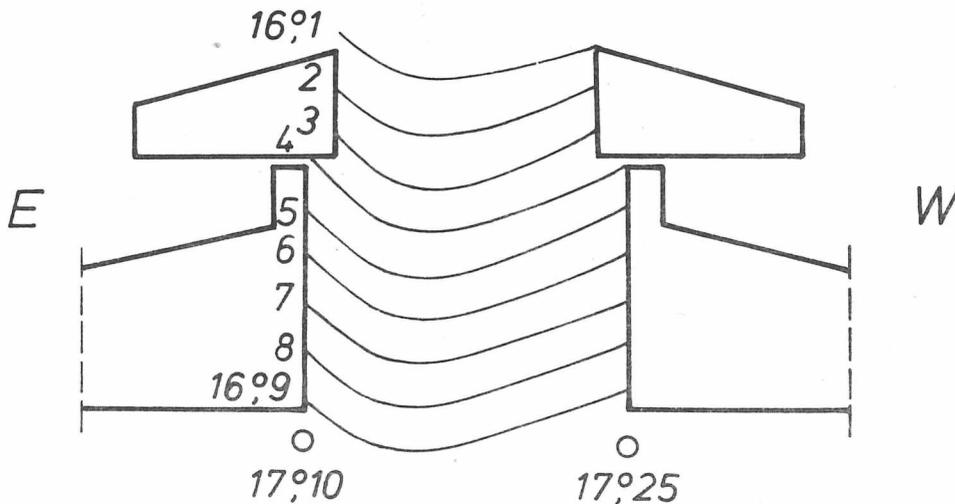
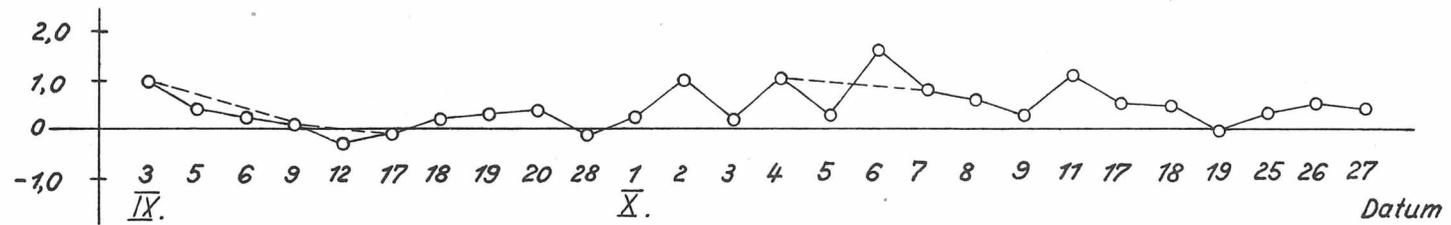


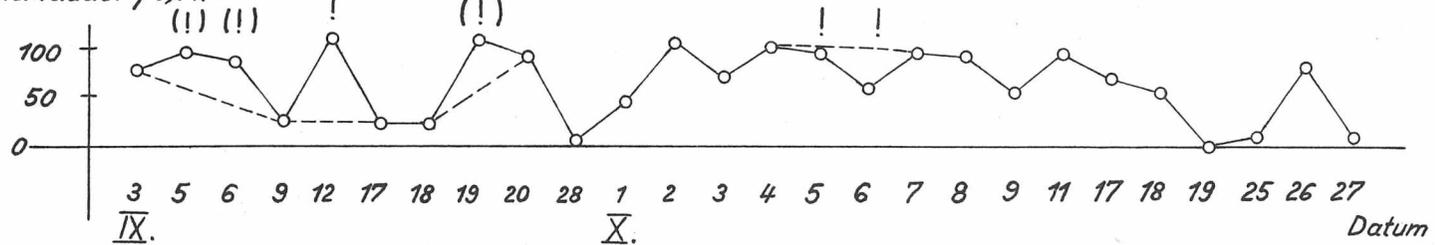
Abb. 5. Temperaturverteilung im Spalt des Meridianhauses (1.5.1972, 20.15 Uhr, Wind: SE 2-3)

Die obigen Ausführungen zeigen, daß die Auswahl geeigneter Positionen für die Messung von Temperaturdifferenzen im I. Vertikal recht problematisch ist. Die Erkenntnis, daß das thermische Feld im Spalt vom Innenraum des Meridianhauses her gesteuert wird, gab Anlaß, die Meßstellen nach III' (Abb. 1) zu legen. Ferner wurden an der Innenseite der Ost- und der Westwand Körperthermometer zur Messung von Wandtemperaturen befestigt. Am späten Nachmittag und am Abend ergeben sich vorwiegend positive Temperaturdifferenzen < 2 K (Westseite wärmer). Die Wärmekapazität der Wände des Pavillons (etwa 30 cm dicke Ziegelmauer) ist beträchtlich. Die gespeicherte Wärme der Westwand wird vor allem in der Nacht abgestrahlt, zu einem Zeitpunkt, da die Ostwand schon einen Teil der gespeicherten Wärmeenergie abgegeben hat. Der hier dargestellte zeitliche Verlauf der Wandtemperaturen wird auch die Lufttemperaturen im Innenraum des Meridianhauses beeinflussen. In Abb. 6 sind für September/Oktober 1972 die Temperaturdifferenzen ΔT_{Wand} dargestellt.

$\Delta T_{\text{Wand}} / K$



Sonnenscheindauer / 0,1h.



starker Dunst

(am Tage) wolkenlos heiter

Rückseite

Datum	3 IX	5	6	9	12	17	18	19	20	28	1 X	2	3	4	5	6	7	8	9	11	17	18	19	25	26	27
starker Dunst		+	+	+	+		+	+	+	+						+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
(am Tage) wolkenlos heiter	o	o	o					o	o			o	o	o		o	o	o		o	o	o		o	o	o
Rückseite								+															+	+	+	+

Abb. 6. Sonnenscheindauer und Temperaturdifferenzen an den Innenwänden des Meridianhauses (West - Ost)

4.2.2. Der Einfluß der Sonnenstrahlung und der Luftfeuchte auf das Temperaturfeld im Beobachtungshaus

In Abb. 6 sind neben den Temperaturdifferenzen ΔT_{Wand} die Angaben über die Sonnenscheindauer graphisch dargestellt. Sie wurden ebenso wie Angaben über Bewölkung und Dunst (die Angaben über Dunst stammen teilweise auch aus dem Beobachtungsprotokoll) dem täglichen Wetterbericht ¹⁾ entnommen. Der Vergleich beider Kurven läßt einen Zusammenhang der Größen ΔT_{Wand} und Sonnenscheindauer erkennen.

Werden die Abweichungen vom 12.9., 5.10. und 6.10.1972 unter Berücksichtigung der Bewölkungsangabe analysiert, so zeigen sich Widersprüche zwischen den aus der Wetterkarte entnommenen Werten. Die Angabe über den Bewölkungszustand in Dresden-Klotzsche ist dabei zuverlässiger als die Angabe über Sonnenscheindauer, die einer kleinmaßstäblichen Karte entnommen ist und für ein größeres Gebiet gilt. Damit erscheint es gerechtfertigt, die drei genannten Daten aus der Betrachtung auszuschalten. Werden weitere Abweichungen unter Berücksichtigung der Angaben über Dunst (hohe Luftfeuchtigkeit) betrachtet, so läßt sich feststellen, daß bei starkem Dunst die Temperaturdifferenzen ΔT_{Wand} trotz großer Sonneneinstrahlung klein bleiben, da feuchte Luft im Gegensatz zu trockener für Wärmestrahlung nur halbdurchlässig ist. Für den Beobachtungsabschnitt April/Mai 1971 wurde der Korrelationskoeffizient zwischen den bei III' (Abb. 1) gemessenen Temperaturdifferenzen und der Luftfeuchte von $r = -0,51$ errechnet. Auch wenn der Zusammenhang nicht sehr straff ist, werden obige Ausführungen dadurch gestützt.

4.2.3. Die Wirkung des Windes

4.2.3.1. Einige wichtige Ergebnisse aus vorliegenden Untersuchungen

Astronomische Zeitbestimmungen werden durch die Wirkung des Windes verfälscht. Die Größe des "Windeffektes" hängt von Richtung und Geschwindigkeit des Windes ab. Die Angaben über Amplitude und Azimut der Hauptkomponente des "Windeffektes" sind unterschiedlich. Die Abhängigkeit der beobachteten Uhrkorrekturen von der Windrichtung ist auf verschiedenen Stationen gleichgerichtet und kann 12 ms erreichen (MIYADI 1938/39; ZVEREV 1946 b; DOLGOV 1952; KRÜGER 1957, 1963; AFANAS'EVA 1960; BRKIČ 1960; ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962; PAVLOV 1963; TJUTEREV 1965 b). Durch den "Windeffekt" sind nach BUSCHMANN (1969) nur 4 % des äußeren mittleren Fehlers erklärt. ZVEREV (1946 b) stellt, gestützt auf das Beobachtungsmaterial des Zeitdienstes des GAIŠ in Sverdlovsk (1942 - 1944), beobachtete Uhrkorrekturen einem geeignet zusammengestellten System von Windrichtung und Windstärke gegenüber. Er gibt für den Windeffekt ω den Ausdruck

$$(11) \quad \omega = a_0 V \sin (A - A_0)$$

an, wobei a_0 die Amplitude der Abweichungen bei der Geschwindigkeit $V = 1$ m/s, A_0 das Azimut des Windes, bei dem die Abweichungen gleich Null sind, und A der diskrete Wert des Azimutes des Windes sind. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit folgt nicht mehr der ZVEREVschen Formel, wenn $v > 3$ m/s (ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962; PAVLOV 1963).

¹⁾ Täglicher Wetterbericht des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Herausgeber: Wetterdienststelle Leipzig.

Bemerkenswert ist die von ČŽEN ČŽUN-LJAN (1962) gefundene Abhängigkeit der ä u ß e r e n Genauigkeit der Zeitbestimmungen von der Windstärke (Tab. 2).

Tab. 2. Abhängigkeit der äußeren Genauigkeit der Zeitbestimmungen von der Windstärke
(n = Anzahl der Abende)

Geschwindigkeit des Windes	bis zum Anheben des Instrumentes		nach dem Anheben des Instrumentes	
	n	M [s]	n	M [s]
Windstille	33	$\pm 0,0169$	29	$\pm 0,0093$
< 2 m/s	75	$\pm 0,0126$	84	$\pm 0,0083$
2 m/s - 4 m/s	56	$\pm 0,0109$	57	$\pm 0,0074$
> 4 m/s	38	$\pm 0,0097$	35	$\pm 0,0063$

Das Instrument wurde im zweiten Beobachtungsabschnitt angehoben, so daß das nach dem Zenit gerichtete Fernrohr nur wenige Zentimeter unter der Oberkante des Spaltes lag. - Nach PAVLOV (1963) vergrößert sich der i n n e r e mittlere Fehler einer Zeitbestimmung mit größer werdender Windstärke.

4.2.3.2. Die Ursachen des "Windeffektes"

Eine eindeutige, anerkannte Erklärung für die Entstehung des Windeffektes konnte bisher noch nicht gefunden werden. Die mechanische Wirkung des Windes vor allem auf frei im Gelände aufgestellte Instrumente ist unbestritten (PAVLOV 1963). Nach BUSCHMANN (1969) muß als Hauptkomponente des Windeinflusses "die Wirkung lokaler, vom Wind gesteuerter Refraktionsanomalien in geringer Höhe angenommen werden, die durch die benachbarten größeren Gebäude und Baumgruppen begünstigt werden können". Der Wirkung des Windes auf Teile des Instrumentes und auf die Saalrefraktion wird untergeordnete Bedeutung beigegeben. Großräumige meteorologische Faktoren, die benachbarte Stationen in gleicher Weise beeinflussen, und die Einwirkung höherer Luftschichten scheiden als Ursache aus. Diese Ansicht wird vor allem durch TJUTEREV (1965 a, 1965 b) gestützt, der u.a. eine Möglichkeit für die Entstehung des Windeinflusses auf Grund der Topographie am Beobachtungsort angibt. MILOVANOVIĆ (1968) beleuchtet das Zusammenspiel von nächtlicher Strahlung, Konvektion und Wind bei der Ausbildung thermischer Asymmetrie im Instrument und an der Libelle, was vor allem bei Breitenbestimmungen nach HORREBOW-TALCOTT von Bedeutung ist, da zwischen der Beobachtung der beiden Sterne eines Paares relativ große Zeitspannen liegen können. Sind thermisch bedingte instrumentelle Fehler dominierend, so ist ein Einfluß des Windes auf die Temperaturverhältnisse des Instrumentes nicht auszuschließen. Im Beobachtungshaus sind der Wirkung des Windes Grenzen gesetzt, man darf aber ein ähnliches Zusammenspiel von Konvektion und Wind an den wärmespeichernden Gebäudeteilen und den in der Nähe befindlichen Gegenständen voraussetzen.

In Kap. 6 wird gezeigt, daß Einflüsse des Temperaturfeldes in der Nähe des Instrumentes und im Instrument zwar auf verschiedene Art entstehen können, aber bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Libelle) das gleiche Vorzeichen haben. Andererseits spielen die unterschiedliche Lage der Beobachtungshäuser sowie deren Anlage und die Bewachung in ihrer unmittelbaren Umgebung eine dominierende Rolle.

Die Lage der Beobachtungsstation des Zentralinstituts für Physik der Erde (ZIPE) in Potsdam birgt die Gefahr der Ausbildung örtlicher Refraktionsanomalien in der unteren Luftschicht (etwa bis 20 m) in sich. Der Verfasser bezieht sich hier auf die Ergebnisse von BUSCHMANN (1969) und auf persönliche Diskussionen mit Mitarbeitern des ZIPE. Es wird vermutet, daß die Störung dieser Verhältnisse durch den Wind sich auch dominierend im "Windeffekt" widerspiegelt, aber nicht gleich dem gesamten Betrag des "Windeffektes" sein muß.

Das Meridianhaus in Dresden begünstigt, wie durch diese Untersuchung gezeigt wird, die Ausbildung einer thermischen Asymmetrie und damit den Einfluß der Saalrefraktion. Obwohl der Innenraum des Beobachtungshauses weitgehend windgeschützt liegt, weichen bei östlichen Winden die gemessenen Temperaturdifferenzen mitunter merklich vom Durchschnittswert ab und wechseln in einigen Fällen sogar das Vorzeichen. Eine wesentliche Rolle wird also unter diesen Bedingungen der Einfluß des Windes auf das Temperaturfeld im Meridianhaus spielen. Diese Ansicht wird auch von AFANAS'EVA (1960) vertreten. Damit wird die steuernde Wirkung des Windes auf verschiedene Einflüsse des Mikroklimas, die einander überlagern, unterstrichen. Eine gesonderte Betrachtung des "Windeffektes" wird zwar immer zu einem mehr oder weniger befriedigenden Ergebnis führen, hat jedoch stets den Nachteil, daß die Einflüsse aller meteorologischen Störfaktoren im Beobachtungsmaterial enthalten sind und möglicherweise die eigentliche Ursache des "Windeffektes" verschleiern. Nach Meinung des Autors ist eine eingehende Analyse des "Windeffektes" nur in Verbindung mit der Untersuchung anderer mikroklimatischer Einflüsse, insbesondere des Temperaturfeldes, sinnvoll und erfolgversprechend.

4.2.4. Künstliche Belüftung

Die Kenntnis der steuernden Wirkung des Windes auf thermische Einflüsse hat zu Versuchen geführt, die thermische Asymmetrie durch einen künstlich erzeugten Luftstrom zu verringern und damit die Genauigkeit astronomischer Beobachtungsergebnisse zu verbessern.

PAVLOV (1963) hat zwei kräftige Abzugsventilatoren zu je 6 m³/s Förderleistung in die Ost- und die Westwand des Beobachtungshauses, nur wenig über den Erdboden, eingebaut. Diese Ventilatoren bewirken einen Luftstrom von etwa 4 m/s, der vom Spalt her das Instrument überstreicht. Berücksichtigt man dabei, daß das Instrument stark angehoben wurde (Abschnitt 4.2.5.), so ist die ausgleichende Wirkung der symmetrisch zum Meridian angesogenen Außenluft leicht erkennbar.

BRANDT (1967) setzte zur Schaffung eines thermischen Gleichgewichts einen kleinen Ventilator ein, der etwa 1,85 m über dem Fußboden und damit etwas über der Instrumentenachse, etwa 0,9 m südlich vom Instrument entfernt, im Meridian aufgestellt war. Diese Maßnahme brachte eine Steigerung der äußeren Genauigkeit der photoelektrischen Beobachtungen von rund 30 %. Es wird unter den genannten Bedingungen eine wesentliche Verkleinerung des "Windeffektes" nachgewiesen.

Für die Dresdner Versuchsbeobachtungen wurde in der Südwand des Meridianhauses, etwa 2,2 m vom Instrument entfernt, ein Ventilator mittlerer Größe (12 m³/min Förderleistung) eingesetzt. Der erzeugte Luftstrom kommt schräg von oben ($z \approx 60^\circ$) in Meridianrichtung

auf das Transit. Die Ventilation wurde mindestens 1/2 Stunde vor Beobachtung des 1. Sternes eingeschaltet. Obwohl diese Anlage eine gewisse Ähnlichkeit mit dem BRANDT'schen Versuch hat, ist die Wirkung der Ventilation auf Grund der Tatsache, daß das Beobachtungsinstrument in einem weitgehend von innen her thermisch gesteuerten Raum aufgestellt ist, nicht überzeugend. Die Ventilation bewirkt die Senkung gemessener Temperaturdifferenzen West - Ost am Instrument, je nach ihrer Lage um 30 % bis 60 % (Tab. 3, 4, 6), beeinflusst jedoch kaum deren Änderungen, die die Ergebnisse der Transitbeobachtungen verfälschen. Temperaturdifferenzen West - Ost im Spalt verlieren bei Ventilation an Stabilität, solche am unteren Teil des Spaltes werden von der Ventilation nur unwesentlich beeinflusst.

Ursache für die geringe Effektivität einer künstlichen Belüftung ist nach Meinung des Autors die Anlage des Meridianhauses Dresden.

4.2.5. Einige Bemerkungen zur Anlage eines Meridianhauses

Allgemeine Gesichtspunkte über die Anlage einer astronomischen Beobachtungsstation haben WÄCHTER (1964) und UNZ (1970) angegeben. Für die Errichtung einer Station für Meridianbeobachtungen sei auf einige Besonderheiten hingewiesen. Die Topographie in der engeren Umgebung eines Beobachtungshauses, größere Hangneigungen, Baumgruppen und massive Gebäude (Wärmespeicher) wirken auf das Temperaturfeld und haben Einfluß auf den "Windeffekt". Dadurch entstehen Refraktionsstörungen, die die Meßergebnisse unmittelbar beeinflussen; die hervorgerufene Richtungsszintillation erweist sich als nachteilig für die Genauigkeit photoelektrischer Beobachtungen.

Die Lage im Stadtzentrum, wie bei der Beobachtungsstation auf dem Zwingerwall in Dresden, hat durch Luftverunreinigung und den über der Stadt liegenden Dunst eine Verschlechterung der Durchsicht zur Folge. Außerdem werden Beobachtungshaus und Instrument stark verschmutzt.

Eine Station für Meridianbeobachtungen sollte außerhalb größerer Städte auf einem Gelände mit ausgeglichener, symmetrischer Topographie angelegt werden. Bei der Anlage eines Meridianhauses sollten alle Untersuchungen über die thermischen Verhältnisse im Beobachtungsraum und im Instrument berücksichtigt werden.

Ein stabiler Pfeiler, der es gestattet, das Instrument so aufzustellen, daß bei zum Zenit gerichtetem Fernrohr das Objektiv sich fast in Dachhöhe befindet, ist in Verbindung mit einer guten Ventilation die Voraussetzung für eine effektive Verminderung des Einflusses der Saalrefraktion und der thermisch bedingten instrumentellen Fehler (ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962; PAVLOV 1963 b).

Die Wände des Beobachtungshauses dürfen keine große Wärmekapazität haben, da die nächtliche Abstrahlung gespeicherter Sonnenenergie, vor allem der am Nachmittag beschienenen Westwand, eine thermische Asymmetrie hervorruft. Das "Aufheizen" der Wände des Beobachtungshauses kann durch im Abstand von etwa 15 - 20 cm vorgesetzte Platten vermieden werden (Hinterlüftung).

Von großem Vorteil scheint es zu sein, den Spalt möglichst breit anzulegen, da dies der Ausbildung der Saalrefraktion entgegenwirkt.

Es muß an dieser Stelle erwähnt werden, daß die Denkmalpflege wegen der Nähe des weltberühmten Zwingers Auflagen für die Gestaltung des Dresdner Meridianhauses erteilt hatte, die einer optimalen Gestaltung nach wissenschaftlichen Grundsätzen entgegenstanden.

5. Der thermische Zustand des Instruments

In diesem Kapitel wird die Wirkung mikroklimatischer Faktoren auf das Transit dargestellt. Das Temperaturfeld in unmittelbarer Nähe des Instrumentes, vor allem im Beobachtungshaus, hat für den thermischen Zustand des Instrumentes eine große Bedeutung. Weitere Faktoren, die die Temperaturverhältnisse des Instrumentes beeinflussen, sind umliegende Gegenstände, die Wände des Beobachtungshauses, vor allem, wenn ihre Wärmekapazität groß ist, der Beobachter, das Instrument selbst als Strahler, der Wind. Durch das Zusammenwirken dieser Faktoren wird im Transit im allgemeinen eine thermische Asymmetrie hervorgerufen, die sich durch die Messung von horizontalen und vertikalen Temperaturdifferenzen nachweisen läßt. Diese Temperaturdifferenzen ändern sich gesetzmäßig mit 24stündiger und Jahresperiode, wobei ihre Amplitude von meteorologischen Elementen, wie Wind, Bewölkung, Sonneneinstrahlung, aber auch der Wärmekapazität einzelner Teile des Instruments, abhängt (VASIL'EV 1952, 1955; PAVLOV 1954, 1963 b). Wegen der überlagernden Wirkung einer Anzahl mikroklimatischer Parameter lassen sich die Einflüsse der einzelnen Komponenten häufig nicht trennen.

5.1. Möglichkeiten der Wärmeübertragung

Im folgenden werden einige Grundgesetze der Wärmeübertragung wiedergegeben, die es gestatten, unter Beobachtungsbedingungen registrierte thermische Erscheinungen zu interpretieren und über eine zweckmäßige Form des Schutzes gegen derartige Störeinflüsse zu entscheiden.

Der Wärmeaustausch zwischen unmittelbar benachbarten Teilchen eines Körpers wird als **W ä r m e l e i t u n g** bezeichnet. Die transportierte Wärmemenge Q wird berechnet nach der Formel

$$(12) \quad Q = - A \int_0^t dt \int_{\text{Fläche}} \text{grad } \vartheta \, df ,$$

wobei A die Wärmeleitfähigkeit, t die Zeit, $\text{grad } \vartheta$ der Temperaturgradient und df das Flächenelement sind (GRÖBER/ERK/GRIGULL 1963).

Wird die Wärme durch strömende Stoffe mitgeführt und so von einer Stelle zur anderen transportiert, nennt man diesen Vorgang **W ä r m e ü b e r t r a g u n g d u r c h K o n v e k t i o n**. Die Wärmeübertragung ist dabei abhängig von der Wärmeleitzahl, der spezifischen Wärme, der Dichte, der Temperaturleitzahl und der Zähigkeit. Diese Parameter haben für jeden Stoff bestimmte Werte, die in der Regel von der Temperatur und dem Druck abhängen. Die allgemeinen mathematischen Zusammenhänge haben die Form von Differentialgleichungen, deren Lösung häufig nur unter vereinfachenden Voraussetzungen möglich ist, was ihre Zuverlässigkeit stark beeinträchtigt. Erwähnenswert erscheint in diesem Zusammenhang die Abhängigkeit des Wärmeübergangs vom Anströmwinkel ϕ (MICHEJEW 1962).

W ä r m e s t r a h l u n g ist ein Energietransport durch elektromagnetische Wellen. Die Gesamtmenge der Strahlungsenergie aller Wellenlängen läßt sich berechnen nach dem **PLANCKschen Strahlungsgesetz**

$$(13) \quad E_s = \int_0^{\infty} E_{s\lambda} d\lambda,$$

wobei

$$(14) \quad E_{s\lambda} = f(\lambda, T)$$

die Strahlung bei der Wellenlänge λ und der Temperatur T ist (MICHEJEW 1962).

Die in 1^h von 1 m^2 eines absolut schwarzen Körpers ausgestrahlte Gesamtenergie beträgt nach dem STEFAN-BOLTZMANNschen Gesetz

$$(15) \quad E_s = \sigma_s T^4,$$

wobei die Strahlungskonstante eines vollkommen schwarzen Körpers

$$\sigma_s = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{K}^4$$

ist. Die Wärmestrahlung umfaßt den Bereich von $0,4 \mu\text{m}$ bis $40 \mu\text{m}$, also den Bereich der Lichtstrahlen ($0,4 \mu\text{m}$ bis $0,8 \mu\text{m}$) und den der infraroten Strahlen ($0,8 \mu\text{m}$ bis $40 \mu\text{m}$). Bezüglich Ausbreitung, Reflexion und Brechung verhalten sich die Wärmestrahlen wie die Lichtstrahlen. Alle Körper geben eine kontinuierliche Wärmestrahlung ab, die von den umliegenden Körpern teils absorbiert, teils reflektiert, teils durchgelassen wird.

Das Strahlungs- oder Emissionsvermögen E läßt sich angeben durch den Ausdruck

$$(16) \quad E = \frac{Q}{F},$$

wobei Q die Energiemenge und F die Fläche sind. Bezeichnet man das Absorptionsvermögen mit A , das Reflexionsvermögen mit R und die Durchlässigkeit mit D , so gilt

$$(17) \quad A + R + D = 1.$$

$A = 1$, $R = 0$, $D = 0$ gilt für den Schwarzen Körper, $R = 1$, $D = 0$, $A = 0$ für den spiegelnden Körper mit glatter Oberfläche bzw. für den Weißen Körper, $D = 1$, $A = 0$, $R = 0$ für den vollkommen durchlässigen Körper. Bei realen Körpern sind A , R und D von deren Eigenschaften, deren Temperaturen und von der Wellenlänge der Strahlung abhängig.

Trockene Luft ist beispielsweise für Wärmestrahlen durchlässig, feuchte Luft halbdurchlässig; ein weißer Farbanstrich reflektiert sichtbare Strahlen gut, die unsichtbaren Wärmestrahlen jedoch werden von weißen ebenso wie von dunklen Flächen absorbiert.

Der Oberflächenzustand ist ein Kriterium für die Absorption und Reflexion der Wärmestrahlung. Das Reflexionsvermögen glatter und polierter Flächen ist, nahezu unabhängig vom Farbton, um ein mehrfaches höher als bei rauhen Flächen. Für viele in der Natur und in der Technik vorkommende Temperaturen ist die Energie der sichtbaren Strahlung im Vergleich zu der der infraroten Strahlung vernachlässigbar klein.

5.2. Die Verhältnisse im Meridianhaus und ihr Einfluß auf den thermischen Zustand des Instruments

Die Temperaturverhältnisse im Transit bauen sich normalerweise analog dem Temperaturfeld im Beobachtungshaus auf. Dabei sind sowohl Wärmeleitung als auch Wärmeübertragung durch Konvektion von Bedeutung. Extreme Verhältnisse können sich herausbilden durch die Wärmestrahlung, sowohl des Instrumentes selbst als auch der umliegenden Gegenstände und des Beobachters. Am Tage nimmt das Transit im allgemeinen Wärme auf, auch bei geschlossenem Pavillon. Erwartungsgemäß nimmt das Instrument etwa die Temperatur der umgebenden Luft an, wenn nicht eine direkte Bestrahlung erfolgt. Wird nachts bei klarem Himmel der Spalt geöffnet, so strahlt das Instrument intensiv Wärmeenergie ab, was zu Untertemperaturen gegenüber der Luft von > 1 K führen kann. Da die Intensität der Strahlung u.a. vom Winkel der abstrahlenden Fläche zum nächtlichen klaren Himmel abhängt, sind schon von da her alle Voraussetzungen für die Ausbildung von Temperaturdifferenzen am Instrument gegeben. Dieses ist jedoch auch Strahlungsempfänger. Von den umliegenden Gegenständen, die als Wärmespeicher wirken, den Wänden des Pavillons, dem Beobachter wird Wärmestrahlung abgegeben.

Die Ausbildung einer thermischen Asymmetrie ist stets ein komplexer Prozeß, wobei die eine oder andere Ursache dominierend sein kann. Alle Faktoren, die Temperaturveränderungen des Instruments hervorrufen, können auch Temperaturunterschiede in ihm verursachen. Eine isolierte Betrachtung bestimmter ursächlicher Faktoren und spezifischer Formen der Wärmeübertragung kann schnell zu Fehlinterpretationen führen. Ebenso muß der Beobachtungstechnologie Rechnung getragen werden. Der Übergang von visuellen Beobachtungen zu einer photoelektrischen Registriermethode, im gleichen Meridianhaus, am gleichen Instrument, stellt einen entscheidenden Eingriff in den Beobachtungsrhythmus dar, was nicht ohne Einfluß auf die thermischen Verhältnisse im Beobachtungshaus bleibt. Der Verfasser konnte dies in extremer Weise unter Versuchsbedingungen beobachten.

THURM (1962) und MILOVANOVIĆ (1968) z.B. stellen die Anlage der Untersuchungen bei Zenitdistanzmessungen dar. Während dabei Temperaturdifferenzen in der Meridianebene von grundlegender Bedeutung sind, interessieren bei Zeitbestimmungen horizontale Temperaturdifferenzen im I. Vertikal. Die Temperaturverhältnisse an der Libelle nehmen eine Sonderstellung ein und werden in Abschnitt 6.4. diskutiert.

5.3. Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Instruments und ihre Änderungen

Den Temperaturdifferenzen in astronomisch-geodätischen Instrumenten (Universal, Transit) wird bis in die jüngste Zeit nur selten die nötige Aufmerksamkeit geschenkt, während man Temperaturunterschiede zwischen Instrument und Luft - unter der Voraussetzung, daß die thermischen Verhältnisse im Instrument als homogen betrachtet werden können - nach gewissen Faustregeln auszugleichen trachtet.

Daß Temperaturunterschiede im Instrument vorhanden sind und in den Beobachtungsergebnissen systematische Abweichungen hervorrufen, wurde zuerst durch ZIMMERMANN (1931) nachgewiesen. Er fand als Ursache thermischer Biegung vertikale Temperaturdifferenzen im horizontalen Rohr des REPSOLD'schen Vertikalkreises in Pulkovo von maximal 1,2 K. Auch die

unter diesen Gegebenheiten entstehenden Refraktionsstörungen im Fernrohr sind nicht zu vernachlässigen.

Als erster Astrometer untersuchte VASIL'EV (1952) die Temperaturdifferenzen am Transit auch in anderen Richtungen unter besonderer Berücksichtigung der horizontalen Temperaturdifferenzen West - Ost.

In den folgenden Abschnitten werden einige Ergebnisse eigener Messungen unter Beobachtungsbedingungen wiedergegeben und mit adäquaten Beobachtungsergebnissen anderer Autoren verglichen.

5.3.1. Vertikale Temperaturdifferenzen

Von den vertikalen Temperaturdifferenzen interessieren hauptsächlich die zwischen Ober- und Unterseite des Fernrohrs, die von dessen Zenitdistanz abhängen und bei $z = 0^\circ$ zu horizontalen werden. Ihre Entstehung wird von MILOVANOVIĆ (1968) eingehend diskutiert. Ihr Einfluß auf die Messung von Vertikalwinkeln wurde zuerst von ZIMMERMANN (1931) und DNEPROVSKY (1934) dargestellt. Ausführlich wird das Problem der "Temperaturabhängigkeit der Ziellinie von Universalinstrumenten" - sowohl in vertikaler als auch in azimuthaler Richtung - durch HIRSCH (1970) diskutiert, was sinngemäß auch auf das Transit übertragen werden kann.

5.3.2. Horizontale Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen

Es werden im folgenden horizontale Temperaturdifferenzen im I. Vertikal analysiert, die Zeitbestimmungen beeinflussen. Für die Darstellung des täglichen Ganges der Temperaturunterschiede zwischen westlichem und östlichem Lager dreier Transitinstrumente wurde Abb. 7 von VASIL'EV (1952) entnommen. Die Graphik zeigt die Abhängigkeit der Temperaturdifferenzen von der scheinbaren Bewegung der Sonne und vom Bewölkungszustand. Bemerkenswert ist die Asymmetrie der Kurven bezüglich Null und bezüglich der beiden halben Tage. Letzteres kann durch die Wärmeträgheit des Instrumentes und des Pavillons erklärt werden, die Asymmetrie bezüglich Null scheint in den örtlichen Gegebenheiten begründet zu sein. - Neben einem 24stündigem Gang der Temperaturdifferenzen wird ein jährlicher Gang angenommen.

An anderen Einzelteilen des Instrumentes lassen sich ebenfalls Temperaturdifferenzen und gesetzmäßige Änderungen derselben nachweisen (VASIL'EV 1952).

Wichtiger als der tägliche Gang sind die Temperaturverteilung im Instrument in der Beobachtungszeit und die Veränderung der Temperaturverhältnisse während der Beobachtung. Aus Abb. 7 ist zu entnehmen, daß sich in den hauptsächlich für Beobachtungen genutzten 4 - 5 Stunden nach Einbruch der Dunkelheit für statische Verhältnisse eine höhere westliche Temperatur ergab. Im feststehenden unteren Teil des Instruments haben die gemessenen Differenzen im I. Vertikal immer den gleichen Richtungssinn. Diese Differenzen sind während der Beobachtungszeit meistens positiv (Westseite wärmer). Im beweglichen, umlegbaren oberen Teil (Achse, Fernrohr, Libelle) ist die Okularseite (Ok, gegenüber L) unter

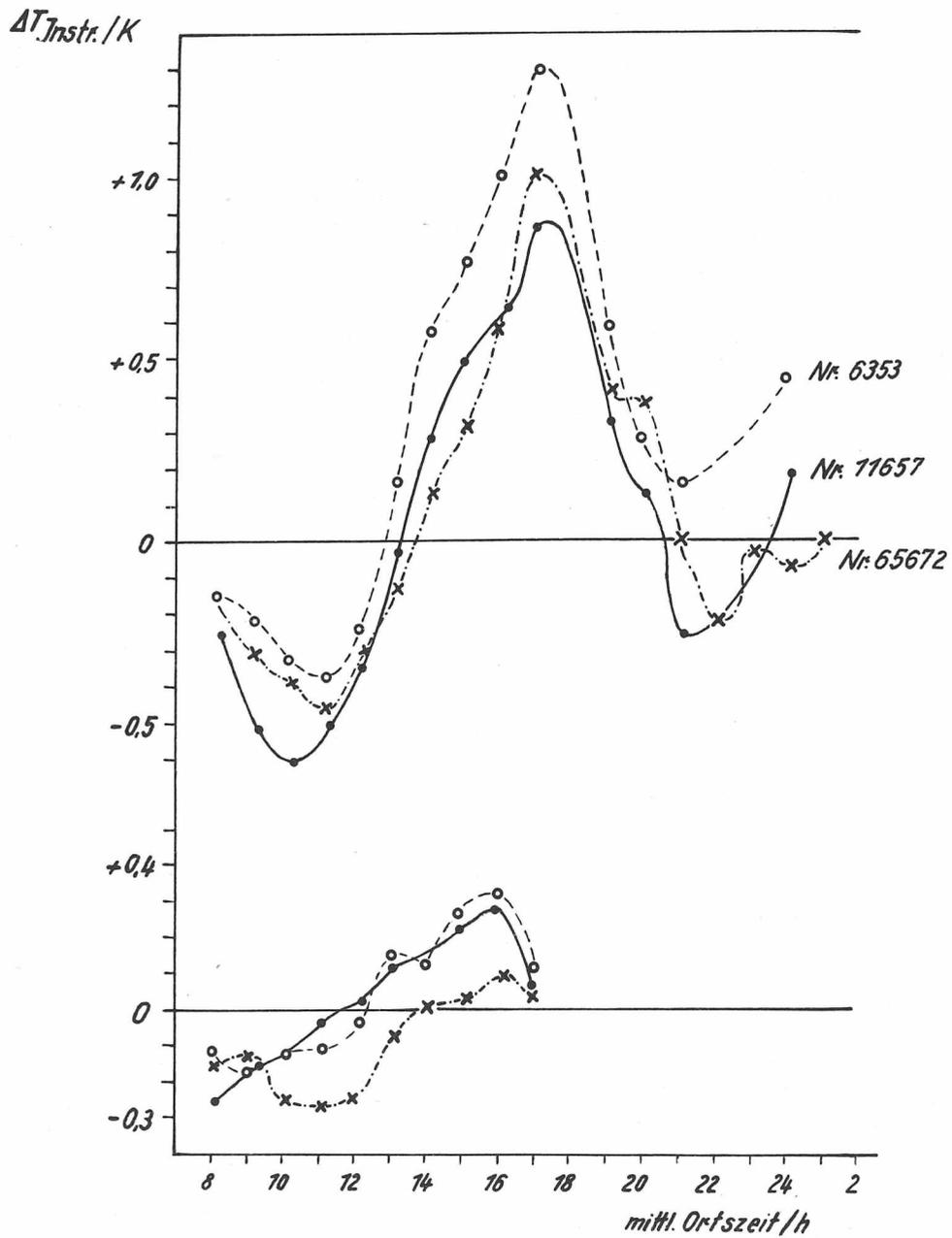


Abb. 7. Temperaturdifferenzen zwischen der West- und der Ostseite der Achslager ($t_W - t_E$) an drei Instrumenten bei klarem (oben) und bei bedecktem Himmel (unten) nach VASIL'EV (1952)

Beobachtungsbedingungen stets die wärmere, wofür das positive Vorzeichen festgelegt wird. Diese Erscheinung beruht auf dem Einfluß des Beobachters und wird in Abschnitt 5.3.2.1. diskutiert.

Für Tab. 3, 4 und 6 gilt: ΔT sind die Temperaturdifferenzen (im Sinne $t_W - t_E$ bzw. $t_{Ok} - t_L$), und $d\Delta T$ ist die Änderung der Temperaturdifferenzen während eines Sterndurchgangs zwischen beiden Achslagen.

Tab. 3 gibt die Temperaturdifferenzen wieder, die am Fernrohr, am Libellenträger, unmittelbar bei der Aufhängung an der Achse und am unteren Teil des Instruments (Abb. 1, Positionen 1, 2, 3) gemessen werden. Die Temperaturdifferenzen werden unmittelbar vor jedem Sterndurchgang in der 1. Achslage und unmittelbar nach jedem Sterndurchgang in der 2. Achslage erfaßt. Da die beobachteten Programme etwa 12 Sterne umfassen, setzt sich jede angegebene Temperaturdifferenz (für einen Abend) aus etwa 24 Doppelmessungen zusammen und jede Änderungsangabe aus 12 Einzelwerten.

Tab. 3. Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Transits (Angaben in 0,001 K)

Datum	Fernrohr		Libellenaufhängung/Achse		Unterer Teil des Instruments		
	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	
1970							
Januar	6.	41	21	342	33	134	47
	8.	23	16	244	30	42	29
	13.	21	15	231	22	31	23
	14.	28	12	255	24	43	29
Februar	1.	26	22	386	22	72	45
März	9.	54	19	369	19	105	64
	10.	48	18	405	24	57	45
	13.	48	25	353	23	34	29
	14.	17	16	278	25	72	36
	15.	20	18	347	37	72	43
	21.	46	13	173	49	20	13
	26.	36	27	349	27	55	40
April	4.	32	26	265	20	52	35
	12.	41	24	318	21	34	36
Mai	2.	48	23	253	11	47	42
Mittel		35	20	305	26	58	37
Standardabweichung		± 12	± 5	± 63	± 9	± 30	± 12

Das dünnwandige Fernrohr besitzt die geringste Wärmekapazität und folgt schnell den veränderten Umgebungstemperaturen. Es können jedoch infolge seiner sich ständig ändernden Lage und der relativen Ferne des Beobachters keine übermäßig großen Temperaturdifferenzen entstehen (Maximalwert: +0,054 K). Die Achse und die Libellenaufhängung haben eine große Wärmekapazität und werden durch die Nähe des Beobachters während der Sterndurchgänge stark erwärmt, so daß sich wesentlich größere Temperaturdifferenzen ausbilden (Maximalwert: 0,405 K). Das untere Teil des Instruments wird in den Lagern abwechselnd von der Achse her erwärmt bzw. abgekühlt, ebenso wird hier die Wirkung des Beobachters einmal die West- und einmal die Ostseite beeinflussen. Allerdings entstehen aus den genannten Gründen keine übermäßig großen Temperaturdifferenzen (Maximalwert: 0,134 K).

Im unteren Teil des Instrumentes sind die Änderungen der Temperaturdifferenzen am größten, liegen aber in derselben Größenordnung wie am Fernrohr und an der Achse bzw. Libellenaufhängung. Die Größenordnung der Temperaturdifferenzen und ihrer Änderungen wird durch die Arbeiten sowjetischer Astrometer bestätigt, z.B. VASIL'EV (1952).

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Transit an veränderte Umgebungstemperaturen anpaßt, hängt von seiner thermischen Trägheit ab und wird u.a. durch die Temperatur- bzw. Wärmeleitfähigkeit bestimmt. Die Anpassungsgeschwindigkeit folgt bei guter Wärmeleitfähigkeit annähernd einer Exponentialfunktion.

Obwohl die temporären Verhältnisse bei schwankenden Umgebungstemperaturen sehr unübersichtlich werden, hat PAVLOV (1954) das thermische Verhalten des Instruments bis in alle Details untersucht und eine Theorie entwickelt. Die Untersuchungen haben den Beobachtungsrhythmus bei Zeitbestimmungen am Transit zur Grundlage und klären vor allem die temporären Wechselbeziehungen zwischen Wärmeaufnahme bzw.-abgabe und Wärmeausgleich. PAVLOV kommt zu dem Schluß, daß die Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen, die thermische Deformationen im Transit hervorrufen, sich bei stetigen Beobachtungsarbeiten verkleinern, was von TAVASTŠERNA (1957) nachgewiesen und auch von STARICYN (1958) dargestellt wurde.

Wird der thermische Ausgleich durch die Umgebung nicht beeinflusst, so werden sich die Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen einem konstanten Wert nähern.

Abb. 8 gibt die Messungen von Temperaturdifferenzen bei einem simulierten Beobachtungsrhythmus wieder, die obige Ausführungen bestätigen. Der Einfluß des Beobachters darf bei dieser Versuchsanordnung vernachlässigt werden.

Achslage:

Okular E: Ablesung nach 2 min, 4 min;

Okular W: Ablesung nach 2 min, 4 min, 6 min, 8 min;

Okular E: Ablesung nach 2 min, 4 min, 6 min, 8 min usw.

Die Meßstellen liegen in der Ebene des I. Vertikals am Fernrohr, an der Libellenaufhängung bzw. Achse und am unteren Teil des Instrumentes.

5.3.2.1. Der Einfluß des Beobachters auf die horizontalen Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen

Der Beobachter nimmt Einstellungen am Transit vor, wobei eine direkte Berührung des Instruments zu einer beträchtlichen Wärmeübertragung führt. Er erwartet den zu beobachtenden Stern oft 1 - 2 min vor seinem Auftauchen im Gesichtsfeld und benötigt für die eigentliche Beobachtung (Nachführung bei visueller Beobachtung) ebenfalls 1 - 2 min in jeder Achslage. Diese Arbeitgänge erfolgen alle von der Okularseite aus. Der Beobachter wirkt dabei als Wärmestrahler auf das Instrument, und außerdem wird Wärme durch Konvektion (Atemluft!) übertragen.

Abb. 9 zeigt, daß durch den Beobachter unter bestimmten Bedingungen der normale Ost-West-Effekt in den Temperaturdifferenzen (Abb. 8) völlig überdeckt wird. Das übliche Umlegen der Achse während eines Sterndurchgangs kann diese Verhältnisse nicht ändern.

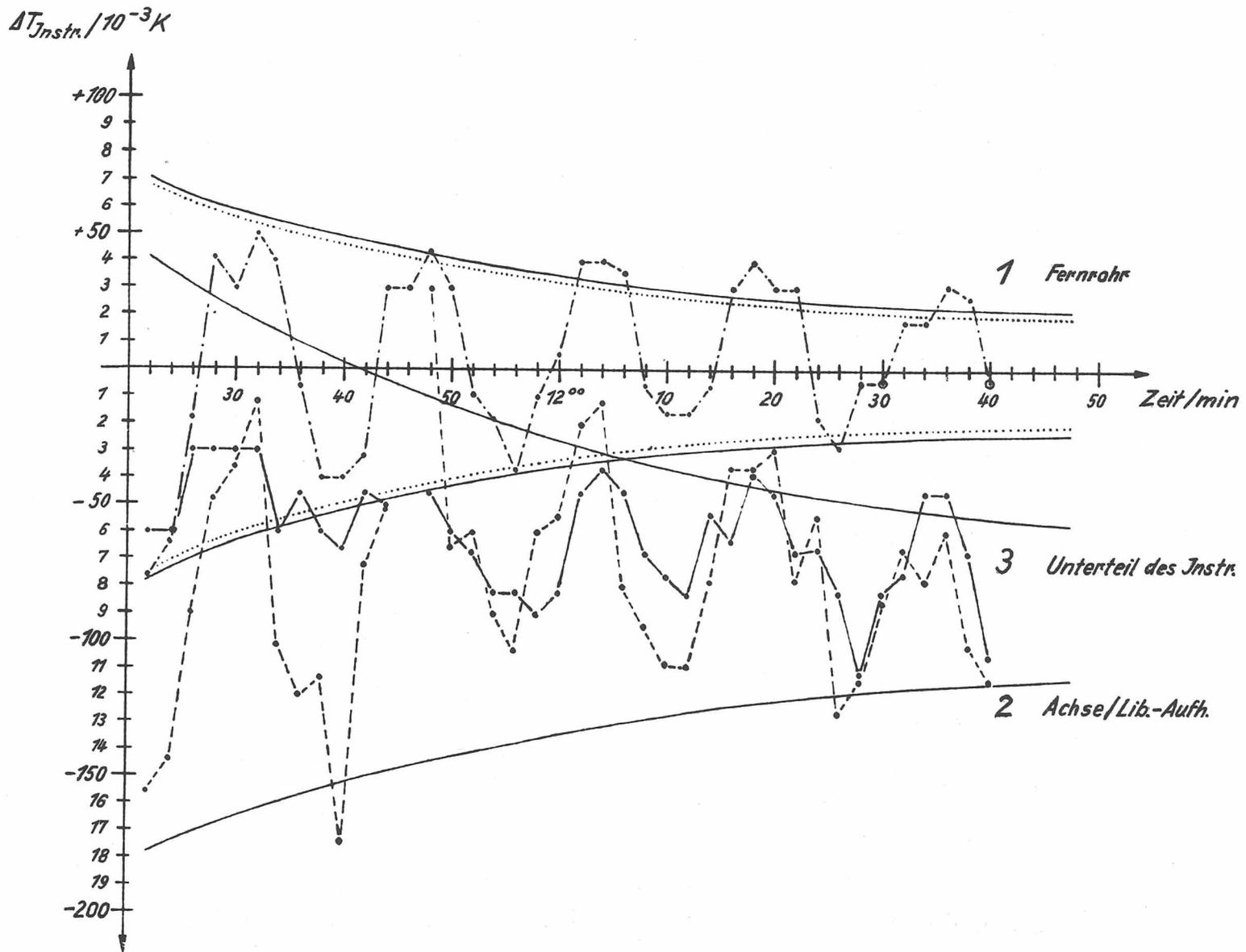


Abb. 8. Verringerung der Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Transits bei simuliertem Beobachtungsrhythmus

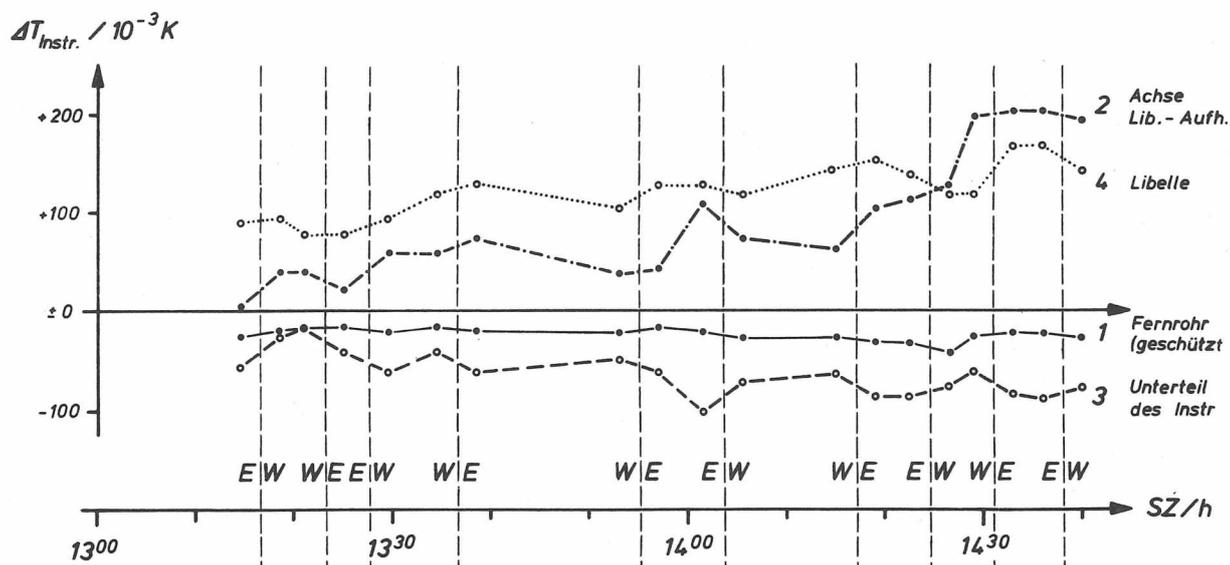
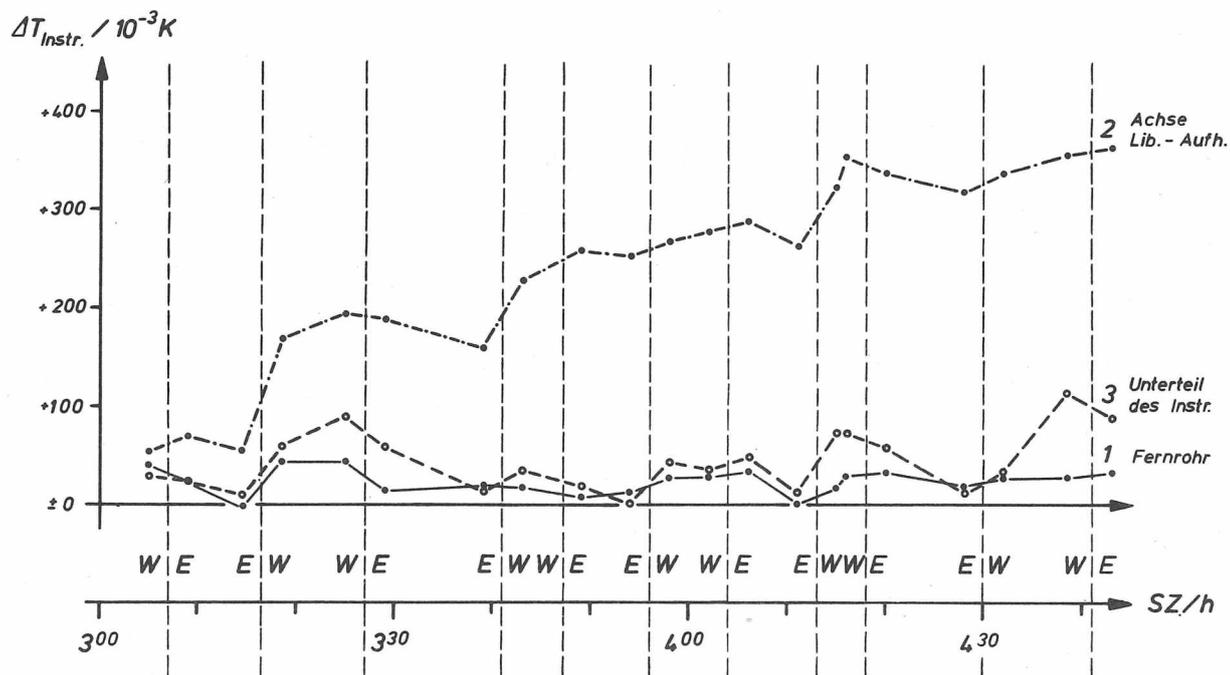


Abb. 9. Temperaturdifferenzen am Zeiss-Transit 100/1000 während der Beobachtungen vom 8.1.1970 (oben) und vom 16.5.1971 (unten). Am 16.5.1971 war der Ventilator eingeschaltet und das Fernrohr des Instruments mit einem Schutzmantel umgeben.

Die Form der Kurve, die für den Einfluß des Beobachters charakteristisch ist, hängt von den äußeren Umständen (z.B. Temperaturdifferenzen Instrument - Luft), möglicherweise auch von Gepflogenheiten des Beobachters ab.

Durch einige Umstände, die dem Charakter der Versuchsbeobachtungen bei der Erprobung der photoelektrischen Registriereinrichtung Rechnung trugen, wuchs der Beobachtereinfluß gegenüber den visuellen Beobachtungen weiter an.

Der Einfluß des Beobachters auf das Transit führt zu einer beträchtlichen thermischen Asymmetrie, die sich bei kontinuierlicher Beobachtung stabilisiert. Dieser Umstand hat den Vorteil, daß die den thermisch bedingten instrumentellen Fehler bewirkenden Temperaturdifferenzänderungen, die infolge des Umlegevorgangs bei der Beobachtung eines jeden Sterndurchgangs entstehen, nicht sehr groß werden.

Die unerwünschte einseitige, aber stetige thermische Aufheizung des Instruments durch den Beobachter verkleinert unter den gegebenen Bedingungen die thermisch bedingte instrumentelle Gleichung. Trotzdem gelten alle Bemühungen der Verminderung oder Ausschaltung dieses Einflusses. Eine weitere Steigerung der Genauigkeit erfordert neben der photoelektrischen Registrierung der Sterndurchgänge eine teilweise oder vollständige Automatisierung des Beobachtungsvorgangs, damit störende Einflüsse des Beobachters entfallen und die unverfälschten Temperaturdifferenzen analysiert werden können.

5.3.2.2. Der Einfluß der Ventilation auf die horizontalen Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen

Der im Meridianhaus in Dresden benutzte Ventilator und seine Lage im Beobachtungshaus sind in Abschnitt 4.2.4. beschrieben.

Durch eine geeignete Ventilation wird ein Luftstrom erzeugt, der das Transit symmetrisch zum Meridian aus südlicher Richtung unter einer Zenitdistanz von etwa 60° überstreicht. Die kühle Außenluft hat eine ausgleichende Wirkung auf die Temperaturverhältnisse des Instruments. In Tab. 4 sind die bei Ventilation gemessenen Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen wiedergegeben (Bezeichnungen wie in Tab. 3).

Aus dem Vergleich der Mittelwerte bei Ventilation und ohne Ventilation (Tab. 3) können folgende Feststellungen getroffen werden:

1. Bei Einsatz des Ventilators werden die Temperaturdifferenzen am Fernrohr um $1/3$ verkleinert.
2. An der Achse bzw. an der Libellenaufhängung werden die Temperaturdifferenzen durch die Ventilation um $2/3$ kleiner.
3. Am unteren Teil des Instruments werden durch die Ventilation die Temperaturdifferenzen um etwa $1/3$ verkleinert.
4. Die Änderungen der Temperaturdifferenzen sind am Fernrohr und an der Libellenaufhängung/Achse bei Ventilation etwa gleich geblieben, am unteren Teil des Instruments etwa um die Hälfte kleiner geworden. Erwartungsgemäß unterlagen die mit Abstand größten Temperaturdifferenzen an der Achse/Libellenaufhängung in höherem Maße der aus-

gleichenden Wirkung des künstlichen Außenluftstromes. Damit wird ein Teil des Beobachtereinflusses kompensiert.

Tab. 4. Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Transits, Ventilation
(Angaben in 0,001 K)

Datum	Fernrohr		Libellenauf- hängung/Achse		Unterer Teil des Instruments		
	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	
1970							
Mai	4.	21	17	131	36	23	26
	14.	14	17	153	16	28	34
	20.	17	17	187	23	64	34
	24.	22	26	145	34	21	12
Juni	7.	28	26	74	23	23	15
	12.	14	12	90	21	92	22
	14.	25	25	48	21	47	19
	19.	26	26	72	33	58	22
	20.	30	23	27	15	43	28
	24.	24	35	81	33	26	17
Juli	8.	25	27	94	21	27	25
	13.	32	33	35	25	23	18
	24.	20	23	101	20	18	18
Mittel		23	24	94	24	37	21
Standard- abweichung		± 6	± 7	± 48	± 7	± 22	± 7

5.3.2.3. Die Wirkung einer wärmedämmenden Schicht in Verbindung mit Strahlungsschutz auf die Temperaturdifferenzen am Fernrohr und ihre Änderungen

Als erste Maßnahme wurde ein Schutz aus leichtem, blankem Aluminiumblech (350 mm x 250 mm) hinter dem Okularmikrometer als reflektierende Fläche auf die Achse gesetzt. Diese Schutzmaßnahme hat keine meßbare Wirkung auf die Temperaturdifferenzen ausgeübt. Die Wärmestrahlung wird zwar auf diese Weise reflektiert, jedoch muß der Beobachter bei der Einstellung der Zenitdistanz und bei der Nachführung (visuelle Beobachtung vorausgesetzt) das Instrument mehrfach berühren und richtet außerdem seinen Atemstrom darauf, wodurch Wärme übertragen wird. Die Wärmeleitung in andere nahegelegene Teile des Instruments geht relativ schnell vor sich (Stahl, Stahlblech, Eisen).

Eine wesentlich wirksamere Maßnahme des Wärme- bzw. Strahlungsschutzes ist das Einhüllen des Fernrohres mit Schaumpolystyrol und glänzender Aluminiumfolie. Die Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol ist aus Tab. 5 zu entnehmen. Leider behindert ein derartiger Schutz des gesamten Instruments den Messungsgang sehr; aus diesem Grunde wurde darauf verzichtet. Die Temperaturdifferenzen am Fernrohr unter den Bedingungen thermischen Schutzes sind in Tab. 6 gegeben.

Tab. 5. Wärmeleitzahlen einiger Stoffe

Material	Wärmeleitzahl	
Messing	81	- 116 W/mgrd
Stahl	14,5	
Luft	0,026	
Asbestplatten	0,7	
Glaswolle	0,046	
Schlackenwolle	0,05	
Schaumgummi	0,09	
Polystyrol	0,157	

Die Werte zeigen, daß die verbleibenden Temperaturdifferenzen am Fernrohr bei 0,02 K liegen und ihre Änderungen maximal 0,008 K erreichen. Die verbleibenden Temperaturdifferenzen sind sehr klein und negativ. Sie könnten sich in der Ruhelage des Instruments, die immer die gleiche ist (Okular West), ausgebildet haben und infolge des Schutzes bei der Messung erhalten bleiben. Die Größenordnung dieser Differenz und ihre sehr kleine Änderung haben nach Abschnitt 6.2. keinen Einfluß auf die Beobachtungsergebnisse.

Tab. 6. Temperaturdifferenzen in einzelnen Teilen des Transits, Fernrohr geschützt, Ventilation (Angaben in 0,001 K)

Datum	Fernrohr		Libellenauf- hängung/Achse		Libelle		Unterer Teil d. Instrumentes	
	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$	ΔT	$d\Delta T$
1971								
April								
13.	-22	3	+ 2	18	- 29	40	+106	33
14.	-33	4	+119	27	+ 7	24	+188	30
15.	-21	1	+ 86	20	- 45	22	+127	9
19.	-19	2	+ 79	10	- 40	13	+160	25
21.	-24	2	+156	23	+ 4	16	+165	44
28.	-24	8	+138	24	- 41	31	+152	18
30.	-25	5	+ 75	17	- 31	19	+155	21
Mai								
3.	-18	6	+152	32	- 43	22	+146	16
7.	-23	3	+ 88	21	- 54	12	+115	22
11.	-25	2	+ 51	18	- 87	14	+136	9
16.	-22	5	+ 94	19	- 62	21	+124	15
17.	-23	4	- 37	17	-124	20	+ 84	15
Mittel	-23	4	+ 84	20	- 46	22	+138	21
Standard- abweichung	± 4	± 2	± 58	± 6	± 36	± 8	± 29	± 10

6. Abschätzung der Größe der Einflüsse mikroklimatischen Ursprungs

BUSCHMANN (1969) teilt die bei astronomischen Zeitbestimmungen wirksamen Fehler in fünf Gruppen ein:

- a) persönliche Fehler,
- b) instrumentelle Fehler,
- c) meteorologisch bedingte Fehler,
- d) Fehler der Sternkoordinaten,
- e) durch Programmgestaltung und Auswerteverfahren bestimmte Fehler.

Die unter d) und e) genannten Fehler werden a priori für die weiteren Untersuchungen als klein vernachlässigt. Die mittleren Fehler der Rektaszension werden von GLIESE (1963) für $0 < \delta < 75^\circ$ zu $m_\alpha < +5$ ms für FK-4-Sterne angegeben. Systematische Fehler der Sternkoordinaten verursachen jahreszeitliche, systematische Fehler in den Beobachtungsergebnissen, die in Ausnahmefällen 10 ms erreichen können (KIRSCHNER 1968). Die unter e) genannten Fehler bleiben nach SIGL (1960) und MILASOVSKY (1966) unter 5 ms.

Die unter b) und c) genannten Fehler sind, abgesehen von den relativ kleinen Einflüssen höherer atmosphärischer Schichten und Unsicherheiten in den Konstanten des Instruments, nicht exakt zu trennen, da sie denselben Ursprung haben und bis auf die Einflüsse, die über die Libelle entstehen, das gleiche Vorzeichen.

Anhand der in Kap. 7 wiedergegebenen Ergebnisse wird der zufällige Anteil der persönlichen Fehler bei visuellen Beobachtungen übereinstimmend mit ŠČEGLOV (1950), ZVEREV (1950) und STEINERT (1963) auf 10 bis 12 ms für eine Sterngruppe veranschlagt.

Fehler, die auf mikroklimatische Ursachen zurückzuführen sind, erreichen im Mittel 10 bis 15 ms. Es läßt sich leicht überblicken, daß Untersuchungen der mikroklimatisch bedingten Einflüsse, vor allem wenn die Absicht besteht, sie in Refraktions- und Instrumentalfehler aufzuspalten, nur mit einem ausgewogenen photoelektrischen Registriersystem möglich sind (ČŽEN ČŽUN-LJAN 1962). Der zeitliche Ablauf der vorliegenden Untersuchungen gestattete jedoch nur eine Beobachtungsserie mit derartigen Voraussetzungen, die gleichzeitig den vorläufigen Abschluß der Entwicklung und Erprobung eines neuen photoelektrischen Registriersystems darstellt (POTTHOFF 1973).

Es ergab sich aus der dargestellten Situation die Alternative, die Untersuchungen mit visuellen Beobachtungen zu beginnen. Damit wurde die Betrachtung einzelner Sterndurchgänge und deren Beeinflussung durch sich ständig ändernde Beobachtungsbedingungen unmöglich, zumal der Autor als Beobachter noch Erfahrungen sammeln mußte. Aus den beobachteten Uhrkorrekturen die Größe der Einflüsse des Mikroklimas ermitteln zu können erschien ebenfalls fraglich. Da die innere Genauigkeit einer Gruppe bei visuellen Beobachtungen recht hoch liegt ($m \approx +8$ ms) und die äußere Genauigkeit zu $M \approx +18$ ms ermittelt wurde, sind unter der Voraussetzung einer relativen Konstanz der persönlichen Gleichung in vertretbarem Ausmaß während der Beobachtungen sinnvoll ausgewählte Parameter des Mikroklimas registriert und alle Bearbeitungen des Materials darauf angelegt worden, die dominierende Ursache des Widerspruches zwischen innerer und äußerer Genauigkeit zu finden.

Zunächst wurde die Absicht verfolgt, eine Genauigkeitssteigerung auf der Grundlage der Berechnung von Korrekturen nach ZVEREV (1950) und PAVLOV (1953) zu erreichen.

Die Versuchsbedingungen wurden zwischen den vorliegenden Beobachtungsserien von jeweils 10 bis 15 Beobachtungsabenden mit unterschiedlichem Erfolg verändert.

6.1. Die Berechnung der Refraktionsstörungen nach ZVEREV

Für die Berechnung örtlicher Refraktionsstörungen erscheint das von ZVEREV (1946 a, 1950) angegebene Formelsystem hinreichend und zweckmäßig. Es sei vorweggenommen, daß die äußere Genauigkeit visueller Zeitbestimmungen durch diese Korrekturen von $M = \pm 17$ ms auf $M = \pm 14$ ms angestiegen ist. Bisher ist dieses Formelsystem nicht zur Berechnung von Korrekturen benutzt worden, da die erforderlichen Temperaturdifferenzen nicht vorlagen, sondern im umgekehrten Sinne zur Abschätzung der Mächtigkeit der gestörten Schicht und der Größe der wirksamen Temperaturgradienten aus den Verbesserungen (ZVEREV 1950). Formel (7) erhält mit $\varphi = 51^\circ$, $-25^\circ < z < 25^\circ$, $\sec \delta \cong 1,9$ folgendes Aussehen:

$$(18) \quad \Delta r_{\frac{1}{2}}^{\pm} = +0,028 h \frac{\Delta T}{d} .$$

In Abb. 10 stellt eine Kurvenschar die durch Formel (18) gegebenen Zusammenhänge graphisch dar. Es ist leicht erkennbar, daß bei horizontalen Gradienten von 0,4 K/m, die im Dresdner Meridianhaus durchaus auftreten können, die Störeinflüsse durch den lateralen Anteil der Saalrefraktion, die vor allem unmittelbar über dem Instrument im Spalt wirksam wird, 22 ms erreichen.

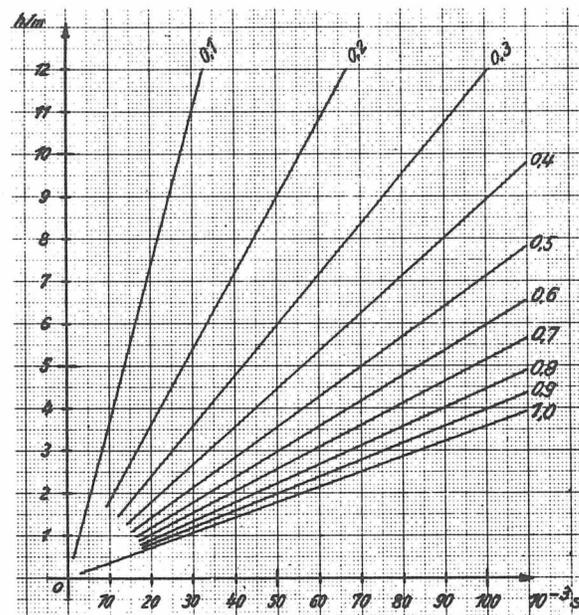


Abb. 10. Nomogramm zur Entnahme des Einflusses der Neigung der Luftschichten gleicher Dichte nach Formel (18); Abszisse: Einfluß der Neigung der Isopyknen; Ordinate: Höhe der gestörten Luftschicht; Kurvenschar: Gradienten in K/m

Da die Gradienten nach oben kleiner werden und häufig schon in Dachhöhe oder wenig darüber ein Ausgleich erzielt ist, wird mit einem mittleren Gradienten für die gestörte Schicht gerechnet. (Im angegebenen Beispiel mit $h = 2,0$ m, $d = 0,5$ m und $\Delta T_m = 0,2$ K ergab sich eine Störung von 22 ms!) Eine derart reduzierte Beobachtungsserie wird in Kap. 7 wiedergegeben.

Das Korrekturverfahren stellt eine Näherung dar. Einer exakten Erfassung der wirksamen Temperaturdifferenzen und somit der Berechnung der Gradienten sind jedoch Grenzen gesetzt. Es wäre erforderlich, völlig synchron ein genügend dichtes und relativ umfangreiches Meßfeld abzufragen, um möglichst für jede registrierte Durchgangszeit ein Temperaturmodell entwickeln zu können.

Diese Möglichkeit hat ein Beobachter nur unter den Bedingungen einer umfangreichen, vollautomatischen und betriebssicheren Anlage. Es wird abgeschätzt, daß zu diesem Zwecke etwa vierzig Temperaturmeßstellen in unmittelbarer Nähe des Instruments bis etwa 2 m über dem Dach des Beobachtungshauses erforderlich sind (möglicherweise 4 senkrechte Linien zu je 8 Meßstellen in der Ebene des I. Vertikals, in der das Instrument aufgestellt ist), wobei die Datenerfassung während eines jeden Sterndurchgangs erfolgen sollte.

6.2. Die Berechnung von instrumentellen Einflüssen auf Grund einer thermischen Asymmetrie des Instrumentes nach PAVLOV

Für alle Berechnungen sind die Temperaturverhältnisse und die thermischen Deformationen des Instrumentes stark vereinfacht bzw. idealisiert worden.

Durch Temperaturdifferenzen am Transit werden thermische Deformationen hervorgerufen, die eine Verschiebung der kollimationsfreien Ebene oder eine Änderung der Neigung zur Folge haben. Die Berechnungen von PAVLOV (1953) beziehen sich auf ein Instrument, das in seinen wesentlichen Teilen aus Messing besteht. Unter Verwendung der von ihm angegebenen Formeln wurden äquivalente Rechnungen für das Zeiss-Transit 100/1000 angestellt.

Aus der Geometrie des Instrumentes folgt für die Fernrohrbiegung

$$(19) \quad \Delta\beta_1 = \frac{\rho \varepsilon l^2 \Delta T_1}{2 D f},$$

wobei $\Delta\beta$ die Verschiebung der kollimationsfreien Ebene, ε der Ausdehnungskoeffizient ($1,23 \times 10^{-5}$), l die Länge des Fernrohres, D der Objektivdurchmesser, f die Brennweite und ΔT_1 der Temperaturunterschied am Fernrohr, gemessen im I. Vertikal, sind.

Die Achsbiegung wird nach der Formel

$$(20) \quad \Delta\beta_2 = \frac{\rho \varepsilon s (1 + b) \Delta T_2}{2 f b}$$

berechnet. Dabei sind s die Länge einer jeden Halbachse vom Zapfen bis zum Fernrohr, b der Radius des Achsschnittes in der Ebene, die unmittelbar am Rohr anliegt, und ΔT_2 die Temperaturdifferenz auf der Achse im I. Vertikal.

Treten an der Achse und im Fernrohr Temperaturdifferenzen auf, so ist Seitenrefraktion im Fernrohr zu erwarten, die nach ZVEREV (Formel (18)) berechnet wird. Nach Umformungen ergeben sich

$$(21) \quad \Delta\beta_1 = 3,16 \Delta T_1 = 0,21 \Delta T_1,$$

$$(22) \quad \Delta\beta_2 = 1,40 \Delta T_2 = 0,09 \Delta T_2,$$

$$(23) \quad \Delta\rho = 1,05 \Delta T_1 = 0,07 \Delta T_1,$$

und für $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 0,01$ K werden

$$\begin{array}{l} \Delta\beta_1 = 0,0021 \\ \Delta\beta_2 = 0,0009 \\ \Delta\rho = 0,0007 \\ \hline \Sigma = 0,0037 \end{array}$$

Die genannten Einflüsse sind mit dem MAYERSchen Koeffizienten $C = \sec \delta$ zu multiplizieren. Für $C = 1,9$ wird $C(\Delta\beta_1 + \Delta\beta_2 + \Delta\rho) = 0,0070$.

Aus den einfachen Formeln (21), (22), (23) ist zu erkennen, daß die Fernrohrbiegung unter der Voraussetzung gleich großer Temperaturdifferenzen überwiegt. Ein guter Strahlungsschutz gestattet also, die dominierende Ursache einer thermisch bedingten Kollimationsänderung auszuschalten (Kap. 5 und Tab. 7). Die Beobachtungsergebnisse astronomischer Zeitbestimmungen sind allerdings nur mit dem halben Wert der mit der Veränderung der Temperaturdifferenz ermittelten Verschiebung der Ziellinie (Tab. 7) behaftet.

Tab. 7. Einflüsse der Temperaturdifferenzen auf die Bestimmung der Durchgangszeiten (Angaben in 0,001 K bzw. 0,0001)

Bezogen auf kollimationsfreie Ebene	Änderung	Einfluß	Standardabweichung	Änderung	Einfluß	Standardabweichung	Einfluß	Standardabweichung	Einfluß	Einfluß (Σ_C)
	$d\Delta T_1$	$\Delta\beta_1$	$(\Delta\beta_1)$	$d\Delta T_2$	$\Delta\beta_2$	$(\Delta\beta_2)$	$\Delta\rho$	$(\Delta\rho)$	Σ	Σ_C
ohne Eingriff	20	21	+5	26	12	+4	7	+2	40	76
mit Ventilation	24	25	+7	24	11	+3	8	+3	44	84
mit Wärmeschutz des Fernrohrs und Ventilation	4	4	+2	20	9	+3	1	+1	14	27

Die Temperaturdifferenzen und ihre Änderungen am völlig ungeschützten Instrument sind in Tab. 3 angegeben, die Werte bei Ventilation entnehmen wir Tab. 4 und die bei Ventilation und geschütztem Fernrohr Tab. 6. Tab. 7 gibt die daraus berechneten Verschiebungen der Ziellinie. Es ist ersichtlich, daß die Summe der Einflüsse ohne jegliche Schutzmaßnahmen und bei künstlicher Belüftung 10 ms erreichen kann.

Die berechneten Korrekturen beeinflussen zwar den Mittelwert, können aber, berücksichtigt man ihre Standardabweichungen, die Abendfehler nicht erklären.

Da sich die Genauigkeit des Mittels von 10 symmetrischen Durchgangszeiten bei visuell beobachteten Programmsternen deklinationsabhängig zwischen ± 15 ms und ± 25 ms bewegt, ist eine Steigerung der inneren Genauigkeit visueller Zeitbestimmungen unter den gegebenen Bedingungen durch die Berücksichtigung von Korrekturen auf der Grundlage gemessener Temperaturdifferenzänderungen am Instrument nicht zu erwarten.

6.3. Das Verhalten des Instrumentenazimutes

Spontane oder kontinuierliche Änderungen des Instrumentenazimutes verfälschen die Ergebnisse der Zeitbestimmungen mit dem Transit. Sie werden im allgemeinen erst erkannt, wenn eine größere Anzahl beobachteter Sterne nicht mehr in einer Gruppe ausgeglichen wird oder die graphische Auswertung zur Gruppenbildung Anlaß gibt.

Die Beobachtungen in einem Meridianhaus auf einem stabilen Pfeiler lassen eine recht gute Konstanz des Instrumentenazimutes erwarten. Änderungen des Azimutes von Beobachtungsabend zu Beobachtungsabend übersteigen nur selten $0^s,1$. Der durchschnittliche mittlere Fehler eines aus der Ausgleichung von 10 bis 12 Sternbeobachtungen ermittelten Instrumentenazimutes beträgt $m_k = \pm 25$ ms. Bei den Versuchsbeobachtungen mit der photoelektrischen Registriereinrichtung (12 Abende) entstanden, durch die geringe Reichweite der Anlage bedingt, sehr lange Programme mit durchschnittlich 18 Sternen pro Abend, wobei die Anzahl zwischen 7 und 29 schwankte. Die Beobachtungsdauer wuchs so auf 5 Stunden, gegenüber 1,5 bis 2 Stunden bei visueller Erfassung des Sterndurchgangs.

Anhand der graphischen Auswertung wurden Änderungen des Azimutes im Verlaufe eines Abends erkennbar. Die daraufhin nach Augenschein gruppierten Sterne (30 Varianten) wurden einer exakten Ausgleichung nach u und k unterworfen. Durch anschließende Prüfung der Varianten, zu der u. a. der Korrelationskoeffizient $r_{Ii/v}$ sowie die aus der Ausgleichung ermittelten mittleren Fehler der Unbekannten herangezogen wurden, erfolgte die Ermittlung der günstigsten Varianten.

Die Bearbeitung der Ergebnisse der Beobachtungen vom Oktober 1972 ließ einen linearen Zusammenhang der Azimutänderungen mit der Zeit erkennen. POTHOFF (1973) errechnete für 18 untersuchte Wertepaare einen Korrelationskoeffizienten $r = -0,64$.

Eine graphische Darstellung der ermittelten Instrumentenazimute in Abhängigkeit von der mittleren Beobachtungszeit der zugehörigen Gruppen ergab für die vorliegenden fünf Abende mit zwei Gruppen und drei Abende mit drei Gruppen nahezu gleichen Anstieg der Geraden, wobei die Geraden von Abend zu Abend beträchtliche Parallelverschiebungen aufweisen. Dieser Umstand dürfte dazu geführt haben, daß der Korrelationskoeffizient zu niedrig erhalten wurde.

Für die oben genannten 8 Abende (19 Gruppen) wurde daraufhin die mittlere Änderung des Azimutes während der Beobachtungszeit (zwischen 18 und 24 Uhr MEZ) zu (33 ± 7) ms/h berechnet. Die Veränderung des Azimutes mit der Tageszeit läßt auf eine thermisch be-

dingte Pfeilerdrehung schließen.

5.4. Die Bestimmung der Neigung und die thermische Beeinflussung der Libelle

Die Bestimmung der Neigung mit der Röhrenlibelle ist ein sehr kritischer Punkt bei astronomischen Positionsbestimmungen. Der zufällige Fehler einer Libellenablesung wird im allgemeinen mit 0,2 Einheiten der Libellenteilung angegeben, woraus sich ein mittlerer Bestimmungsfehler der Neigungskorrektur bei Zeitbestimmungen am Transit mit einer Sekundenlibelle für einen Zenitstern von ± 13 ms ergibt. Kleine Unsicherheiten in der Bestimmung des Parawertes gewinnen erst an Bedeutung, wenn die Libelle nicht wie gewöhnlich als Nullinstrument benutzt wird. Der angegebene zufällige Fehler bei der Neigungsbestimmung wird nur in seltenen Fällen von einem routinierten Beobachter erreicht oder gar überschritten. Ein Kleben der Libelle jedoch, bedingt durch Schliffunzulänglichkeiten, kann wesentlich größere Fehler verursachen, wie Prüfungen am vollautomatischen Libellenprüfer mit photographischer Registrierung im Meßlabor der Sektion Geodäsie und Kartographie ergaben. Bei einer Änderung der Neigung in Schritten von $0''1$ traten Klebeeekte von $0''5$ auf.

In zwei Fällen der photoelektrisch beobachteten Serie konnten größere Neigungseinflüsse nachgewiesen werden, die vermutlich durch Klebeeekte verursacht wurden.

Der Vorschlag von BRANDT (1967 a), die Libelle über einen Spiegel mit einem Fernrohr abzulesen, um eine Parallaxe bei der Ablesung zu vermeiden, läßt somit keine wesentliche Genauigkeitssteigerung bei der Neigungsbestimmung erwarten.

Der Einsatz elektronischer Libellen wäre wünschenswert, sowohl hinsichtlich der Genauigkeit als auch bezüglich einiger für die Röhrenlibelle typischer Nachteile, die im folgenden noch diskutiert werden. Die an der Sektion Geodäsie und Kartographie entwickelten elektronischen Libellen könnten, falls ihr Einsatz bei astronomischen Präzisionsbestimmungen möglich wird, sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Genauigkeit der Neigungsbestimmung gegenüber der Röhrenlibelle erhöhen.

Die Nivellierung der Achse mittels Autokollimation - z.B. nach PILOWSKI und WINTER (1972) - scheint hinsichtlich der auf festen Stationen geforderten Genauigkeit keine wesentlichen Vorteile gegenüber der Röhrenlibelle zu bringen.

DRODOFSKY (1956) hat u.a. die Wirkung von Temperaturdifferenzen auf Röhrenlibellen dargestellt. Ist die Distanz der Libellenenden 175 mm, so bewirkt eine Temperaturdifferenz von $0,1$ K - lineares Temperaturgefälle vorausgesetzt - eine Änderung der Libellenangabe von $1''$. Diese Zusammenhänge wurden von MILOVANOVIĆ (1968) experimentell bestätigt. Er untersuchte außerdem moderne astronomische Positionsbestimmungen auf Fehlereinflüsse, die von der Neigungsbestimmung herrühren, und weist deren Anteil bei der Entstehung der Diskrepanz zwischen "innerer" und "äußerer" Genauigkeit nach. Es muß vermutet werden, daß diese Einflüsse thermisch bedingt sind.

Der Verfasser hat ähnliche Untersuchungen an der in Kap. 7 angeführten photoelektrischen Beobachtungsserie vorgenommen, ohne die Ergebnisse von MILOVANOVIĆ (1968) bestäti-

gen zu können. Auch konnte keine eindeutige Abhängigkeit der Restfehler v einer ausgeglichenen Abendbeobachtung von an der Libelle gemessenen Temperaturdifferenzen nachgewiesen werden. Die Libellenröhre ist mehrfach geschützt, so daß kurzfristig entstehende Temperaturdifferenzen das Achsnivellement kaum beeinflussen. Es wäre denkbar, daß die Verhältnisse bei Breitenbestimmungen, z.B. nach der Methode HORREBOW-TALCOTT, anders liegen, da zwischen den Libellenablesungen beträchtlich größere Zeitdifferenzen liegen können (je nach Zusammensetzung eines Paares), die die Ausbildung von Temperaturdifferenzen in der Libellenröhre begünstigen.

PAVLOV (1954) bezeichnet die Libelle als "Indikator" für den thermischen Zustand des Instrumentes und weist eine Korrelation zwischen Abweichungen der Uhrkorrekturen eines einzelnen Sternes gegenüber dem Abendmittel und der Verschiebung des Spielpunktes der Libelle im Verlaufe eines Abends nach.

VASIL'EV (1954 b) analysiert die bekannten Neigungsdifferenzen $i_{WE} - i_{EW}$, zeigt ihre tägliche und jahreszeitliche Periodizität und gibt als Ursache Temperaturdifferenzen im Instrument an. DOLGOV (1952) erhält als Mittelwert dieser Differenz

$$(i_{WE} - i_{EW})_{\text{Mittel}} = +0,0055 .$$

Anhand der photoelektrisch beobachteten Serie vom Oktober 1972 wurde für die Beobachtungszeit von 18 bis 24 Uhr MEZ eine Neigungsänderung von $(+0,4 \pm 0,1)$ pro Stunde errechnet (Sinken des Ostendes oder Heben des Westendes der Achse).

Da von Abend zu Abend unter etwa gleichen meteorologischen Bedingungen annähernd gleiche Anfangsneigungen gemessen wurden, muß eine Änderung der Neigung mit 24stündiger Periode vermutet werden, deren Ursache im Temperaturfeld zu suchen ist.

7. Versuchsbeobachtungen

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Programmgestaltung und die Berechnung der einseitig bestimmten Längen gegeben. Neben der graphischen Darstellung von zwei ersten Versuchsserien werden die Werte von vier weiteren Serien und Möglichkeiten ihrer Verbesserung dargelegt.

Die photoelektrisch registrierten Beobachtungen erfordern eine gesonderte Behandlung in bezug auf Programmgestaltung, Berechnung und Auswertung. Sie werden jeweils unter b) diskutiert, während die visuellen Beobachtungen unter a) behandelt werden.

7.1. Die Beobachtungsprogramme

a) Visuelle Beobachtungen

Die Beobachtungsprogramme umfassen etwa 10 - 12 Sterne (davon 1 - 2 Polsterne) des FK4 bis zur Helligkeit $6^m.5$ mit Deklinationen $70^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$. Die Bedingung $[pK] = 0$ kann nicht immer eingehalten werden, da die Erfassung der umfangreichen meteorologischen Daten die Kontinuität der Beobachtungen beeinträchtigt.

b) Photoelektrische Beobachtungen

Die Grenzgröße der photoelektrischen Registriereinrichtung liegt unter Versuchsbedingungen bei $4^m.5$. Die Bedingung $[pK] = 0$ ist unter diesen Umständen nicht erfüllbar. Es werden durchschnittlich 5 Sterne (bei visuellen Beobachtungen 9 Sterne) pro Stunde beobachtet, wobei der Deklinationbereich erweitert ($70^\circ \geq \delta \geq 10^\circ$) und die Zahl der beobachteten Sterne pro Abend auf durchschnittlich 20 erhöht wird. Es treten extreme Häufungen und Streckungen des Programms auf. Die Beobachtungszeit beträgt 4 bis 5 Stunden.

7.2. Die Auswertung der Beobachtungen

Die Auswertung der Beobachtungen wird mit den von WÄCHTER (1969) benutzten Bezeichnungen dargestellt.

Die geographische Länge λ eines Ortes wird als Differenz zwischen seiner Ortssternzeit θ_0 und der Sternzeit von Greenwich θ_{GR} definiert. Da die Sternzeit Greenwich aus den empfangenen Signalen eines Zeitzeichensenders ermittelt werden kann, läßt sich aus einer Zeitbestimmung eine einseitige Längenbestimmung ableiten. Es gilt

$$(24) \quad \lambda = \theta_{GR} - \theta_0 .$$

Hier sind λ die geographische Länge des Beobachtungsortes aus einer Sternbeobachtung ohne Signalkorrektur des Zeitzeichensenders, ohne Polschwankungskorrektur und ohne Korrektur wegen Rotationsschwankungen der Erde, θ_{GR} der Zeitpunkt eines Sterndurchganges durch den Meridian des Beobachtungsortes in wahrer Sternzeit Greenwich (ohne die obengenannten Korrekturen) und θ_0 der Zeitpunkt eines Sterndurchganges durch den Meridian des Beobachtungsortes in Ortssternzeit (ohne die erwähnten Korrekturen).

Im Meridian gilt

$$(25) \quad \lambda = \Theta_{GR} - \alpha .$$

Θ_{GR} wird nach der MAYERSchen Formel berechnet. Die Ausgleichung erfolgt unter a) mit den Gewichten $p = \cos^2 \delta$ und unter b) ohne Gewichte.

a) Visuelle Beobachtungen

$$(26) \quad \Theta_{GR} = u' + \Delta u + iI + kK + cC .$$

Darin sind u' die Durchgangszeit des Sternes durch den Instrumentenvertikal im System des Druckchronographen, ermittelt aus 10 symmetrischen Kontaktregistrierungen, Δu der Stand des Druckchronographen gegenüber der Sternzeit Greenwich im System der Hauptuhr (Zeitzeichen OMA), I, K, C der Neigungs-, der Azimut- und der Kollimationskoeffizient (nach MAYER), i die Neigung der Kippachse gegen den Horizont - positiv, wenn das Westende der Achse höher ist, k das Azimut der Kippachse - positiv, wenn das Westende der Achse vom Westpunkt nach Süden ausweicht, und c die Kollimation oder der Zielachsenfehler - positiv, wenn der Winkel zwischen Zielachse und Okularende der Kippachse größer als 90° ist (toter Gang, Kontaktbreite und tägliche Aberration gehen in c ein).

Wir setzen

$$(27) \quad \lambda' = u' + \Delta u + cC + iI - \alpha .$$

b) Photoelektrische Beobachtungen (POTTHOFF 1973)

$$(28) \quad \Theta_{GR} = u' + \Delta u + \Delta u' + iI + kK + cC .$$

Dabei sind als Abweichungen und Ergänzungen der Legende zu (26) festgelegt: $\Delta u'$ ist die Summe der Registrierverzögerungen der Anlage und Δu der Stand der Zeitskala des Zählers gegenüber der Sternzeit Greenwich im System des als Hauptuhr fungierenden Zeitzeichensenders OMA (50 kHz).

Wir setzen

$$(29) \quad \lambda' = u' + \Delta u' + \Delta u + iI + cC - \alpha .$$

Bei visuellen und photoelektrischen Beobachtungen ergibt sich für jeden Stern die Gleichung

$$(30) \quad \lambda = \lambda' + kK .$$

Durch Ausgleichung lassen sich λ_m und k bestimmen.

Die Fehlergleichungen lauten

$$(31) \quad v = \lambda'_m - kK - \lambda' .$$

Die Ausgleichung erfolgt nach der Methode der kleinsten Quadrate und wird mit dem Digitalrechner Cellatron SER 2 c ausgeführt.

An die aus der Ausgleichung der Beobachtungsabende hervorgegangenen Längen λ'_m sind noch die Korrekturen $\Delta\lambda$ wegen Polhöschwankung, die Korrekturen ΔT_s wegen Ungleichförmigkeit der Erdrotation und die Signalkorrekturen TU2 - TUC und TUC - OMA anzubringen.

Die erforderlichen Daten werden durch das Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris mit einer Verzögerung von etwa 4 bis 6 Wochen veröffentlicht. Es ergibt sich die korrigierte Länge λ_m zu

$$(32) \quad \lambda_m = \lambda'_m - \Delta\lambda - \Delta T_s + (TU2 - OMA)$$

mit

$$(33) \quad \Delta\lambda = (x \sin \lambda - y \cos \lambda) \tan \varphi,$$

wobei x und y die Polkoordinaten sind und λ östlich von Greenwich negativ gezählt wird.

7.3. Ergebnisse der Versuchsbeobachtungen

Die hier angeführten Werte sind wegen Polschwankungen, Rotationszeitschwankungen und Signalkorrekturen reduziert.

In Übereinstimmung mit WÄCHTER (1969) wird folgende Legende festgelegt: λ_m ist das durch Ausgleichung entstandene Abendmittel der geographischen Länge mit obengenannten Reduktionen, k das mittlere Instrumentenazimut, m_λ und m_k sind die mittleren Fehler von λ_m bzw. k , n ist die Anzahl der beobachteten Sterne.

Es wurden 9 Serien (etwa 120 Abende) beobachtet, wobei die Versuchsbedingungen, die Positionen der Temperaturmessstellen sowie Art und Umfang der Temperaturdifferenzmessungen zwischen den Serien variiert wurden. Es werden hier Ergebnisse von drei repräsentativen Beobachtungsserien angegeben, deren weitere Bearbeitung in Abschnitt 7.4. dargestellt ist.

Bei allen Beobachtungsserien wurden Daten über Bewölkung, Luftfeuchte, Durchsicht, Luftdruck, Luftruhe, Wind und Temperatur vermerkt.

Beobachtungsserie Januar bis Mai 1970 (visuell)

Bei dieser Reihe von Beobachtungen wurden erstmals Temperaturdifferenzen am Instrument gemessen (Meßstellen 1, 2, 3 in Abb. 1). Die Temperaturdifferenzen bei Position III wurden registriert, wobei zwei frei bewegliche Meßfühler der überholten und verbesserten Anlage zur Temperaturdifferenzmessung für das Breitenprogramm benutzt wurden.

Tab. 8. Ergebnisse der Beobachtungsserie Januar bis Mai 1970

Die Temperaturdifferenzen ΔT bei Position III wurden infolge hoher Luftfeuchte an 3 Abenden offensichtlich falsch gemessen (Kap. 3). Diese Beobachtungsergebnisse werden hier nicht angeführt.

Datum	n	λ_m	k [ms]	m_λ [ms]	m_x [ms]	ΔT_{III} [0,01 K]	
1970		$-54^m55^s, \dots$					
Januar	6.	11	938	-354	± 5	± 16	13
	8.	11	939	404	8	24	20
	14.	12	930	418	9	18	18
Februar	1.	12	957	443	9	32	30
März	10.	18	945	424	6	16	13
	14.	10	933	334	11	42	19
	15.	16	910	370	9	30	-2
	21.	6	942	489	8	41	5
	26.	12	956	272	7	20	15
April	4.	12	928	268	7	20	0
	12.	7	950	367	2	7	10
Mai	2.	9	963	258	9	29	17

Beobachtungsserie April/Mai 1971 (visuell)

Die Beobachtungsserie April/Mai weist als Besonderheit den thermischen Schutz des Fernrohres auf (Kap. 5).

Während der Beobachtungen wurden die Temperaturdifferenzen an den Positionen I, II, III' (III) erfaßt (Registrierung mit Lichtschreiber). Infolge des Ausfalls zweier kleiner Temperaturdifferenzmesser mit jeweils zwei Meßfühlern wurden nach 5 Abenden im weiteren Verlauf der Serie nur noch die Temperaturdifferenzen bei III' mit geeichten Quecksilberthermometern gemessen. Ferner wurden Innen- und Außentemperaturen, Temperaturen an der Innenseite der Wände Ost und West sowie Temperaturdifferenzen am Instrument (Positionen 1, 2, 3, 4) notiert. Das Meridianhaus wurde während der Beobachtungen künstlich belüftet (Ventilation).

Tab. 9. Ergebnisse der Beobachtungsserie April/Mai 1971

An einem Abend sind die Temperaturdifferenzen infolge Störungen bei der Messung offensichtlich verfälscht. Diese Ergebnisse sind hier nicht aufgeführt.

Datum	n	λ_m	k [ms]	m_λ [ms]	m_x [ms]	ΔT_{III} [0,01 K]	
1971		$-54^m55^s, \dots$					
April	13.	11	937	-126	± 6	± 26	17
	14.	14	972	140	9	28	28
	15.	13	967	149	11	37	22
	19.	12	956	235	9	34	24
	21.	12	941	182	7	37	16
	28.	11	978	75	6	18	37
	30.	9	928	138	4	16	20
	Mai	3.	8	932	35	12	32
11.		10	967	167	11	32	20
16.		10	954	142	7	21	20
17.		11	949	168	9	27	20

Beobachtungsserie Oktober 1972 (photoelektrisch)

Die im Oktober 1972 ausgeführten Versuchsbeobachtungen bilden den vorläufigen Abschluß der Erprobung eines in den Jahren 1968 - 1972 an der Sektion Geodäsie und Kartographie entwickelten, verbesserten Verfahrens zur photoelektrischen Bestimmung von Durchgangszeiten am Transit (POTTHOFF 1973). Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung des Phasendiskriminationsverfahrens im Blick auf die Erfordernisse bei der Bestimmung von Durchgangszeiten am Transit, die die Anordnung des Meßgitters, die einzusetzende Modulationseinrichtung und die Verarbeitung des elektrischen Signals betreffen, wodurch Nachteile der in Pulkovo und Moskau entwickelten Verfahren vermieden werden. Dem Autor dieser Arbeit war es möglich, wesentliche Entwicklungsabschnitte dieser Anlage zu verfolgen und als Geodät an allen Versuchsbeobachtungen beteiligt zu sein.

Die höhere äußere Genauigkeit der Zeitbestimmungen dieser Serie ist das Ergebnis der Objektivierung des Beobachtungsvorganges und damit der Ausschaltung der persönlichen Gleichung und ihrer Schwankungen (STEINERT 1961).

Im folgenden werden einige Besonderheiten bei der Erprobung der photoelektrischen Registriereinrichtung genannt:

- a) Während der Versuchsbeobachtungen sind ständig zwei Personen eingesetzt, um die notwendigen Bedienungsaufgaben am Instrument, der Anlage und den erforderlichen Kontrolleinrichtungen zu erfüllen.
- b) Im Versuchsstadium muß jede Beobachtung eines Sterndurchganges mit der gleichen Achslage (Okular West) begonnen werden.
- c) Extrem lange Beobachtungszeiten gestatten den Nachweis thermisch bedingter Azimut- und Neigungsänderungen (Kap. 6), was eine Aufteilung der beobachteten Sterne in Gruppen zur Folge haben kann.
- d) Durch Richtungsszintillation, die nach SIEDENTOPF (1959) einen Frequenzbereich von 0,1 bis 20 Hz hat, können "Mehrfachkontakte" bei der Bewegung des Sternbildes über jede Gitterkante auftreten. Der Einfluß der höherfrequenten Anteile der Richtungsszintillation wird über diese "Mehrfachkontakte" registriert, was eine Genauigkeitssteigerung erwarten läßt. - Die Aufspaltung der Kontakte beim Auftreten eines geringen Signal-Rausch-Verhältnisses führt zu einer unerwünschten Häufung von Registrierungen, die die Gefahr systematischer Fehler in sich birgt. Durch eine schaltungstechnische Maßnahme wird die Registrierung unerwünschter Kontakte auf ein empirisch ermitteltes, vertretbares Maß reduziert.
- e) Von den möglichen 20 symmetrischen Zeitregistrierungen finden nur 14 Verwendung, da an den äußeren bzw. inneren Gitterbalken eine extrafokale Abbildung erfolgt und damit das Signal-Rausch-Verhältnis kleiner wird.
- f) Die Durchgangszeiten werden auf Lochband ausgegeben, womit die Voraussetzungen zur maschinellen Verarbeitung der gewonnenen Beobachtungsdaten in Verbindung mit einem Digitalrechner gegeben sind.

Die photoelektrische Registriermethode erfordert die Herausbildung einer neuen Beobachtungstechnologie. Der Beobachtungsvorgang muß sich "einspielen", um mit Sicherheit alle Vorzüge der Anlage nutzen zu können.

Die unter c) erwähnte Aufteilung der Sterne in Gruppen (unter Beachtung der zeitlichen Folge ihrer Beobachtung) erfolgte zunächst nach Augenschein anhand der graphischen Ausgleichung. Die gefundenen Varianten wurden gründlich geprüft. 10 % der beobachteten Sterne wurden gestrichen. Ursachen sind meist zu geringe Helligkeit (schwächer als 4^m), Polnähe oder entsprechende Bemerkungen im Beobachtungsprotokoll.

Da die Beobachtung mit der photoelektrischen Anlage alle Aufmerksamkeit der beiden "Beobachter" erfordert, wurde nur ein "Minimalprogramm" der mikroklimatischen Messungen ausgeführt. So wurden die Temperaturdifferenzen bei III' (Abb. 1) gemessen, der thermische Zustand des Instrumentes wurde durch Messungen an den Positionen 1, 2, 3, 4 (Abb. 1) nur zweimal am Abend kontrolliert.

Weiterhin wurden mit größter Sorgfalt Daten über die Durchsicht, Luftruhe und die Windverhältnisse protokolliert, die die gemessenen Durchgangszeiten direkt beeinflussen können, da sie die Güte der Abbildung des Sternes in der Gitterebene mitbestimmen. Die Verarbeitung der photoelektrisch gewonnenen Daten zeigte, daß sich aus ihnen auch objektive Aussagen über Luftruhe und Durchsicht gewinnen lassen.

Tab. 10. Ergebnisse der photoelektrischen Beobachtungen vom Oktober 1972

Datum	n	λ_m	k [ms]	m_λ [ms]	m_x [ms]	ΔT_{III} [0,01 K]		
1972		$-54^m 55^s, \dots$						
Oktober	3.	10	966	968	-212	± 6	+13	31
		7	970		132	9	10	
	4.	8	983	985	284	6	11	49
		19	986		174	5	14	
	6.	15	963	969	338	7	14	44
		10	979		242	7	21	
	7.	18	971	971	365	9	14	42
	8.	9	976	977	274	5	13	40
		10	977		149	7	17	
	9.	12	990	990	338	6	14	48
	11.	10	969	977	269	8	15	45
		8	988		175	10	29	
	17.	6	981	981	179	11	26	30
	18.	17	993	993	66	10	25	45
25.	14	974	974	158	5	14	40	
26.	16	976	976	199	6	8	28	
27.	5	928	954	336	7	16	10	
	11	968		191	7	10		

7.4. Die Abhängigkeit der Abendwerte λ_m von Temperaturdifferenzen im I. Vertikal in der Nähe des Instrumentes und am Instrument

7.4.1. Erste Untersuchungen

Im September 1969 wurde auf dem Südpfeiler des Meridianhauses das für die Untersuchungen vorgesehene Transit Nr. 14 567 des ZIPE, Potsdam, aufgestellt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden erste Versuchsmessungen am Transit Nr. 16 070 des Lohrmann-Observatoriums auf dem Nordpfeiler ausgeführt, das dem Breitendienst zur Verfügung steht.

In einer 6 Abende umfassenden Versuchsserie (März bis Mai 1969) wurden jeweils zwei Programme zu je 8 bis 10 Sternen beobachtet, wobei das zweite Programm bei geöffneten Jalousien beobachtet wurde (MIŠČENKO 1957). Parallel dazu wurden Temperaturen mit einer älteren thermoelektrischen Meßanlage erfaßt. An den Positionen I, II und III (Abb. 1) erfolgten die Ablesungen nacheinander an drei Meßfühlern, die mit Hilfe einer umlegbaren hölzernen Haltevorrichtung die Messung in Lage Ost bzw. West gestatteten.

Die zeitliche Zuordnung der zur Differenzbildung notwendigen Temperaturen ist nicht ausreichend. Differenzen der Uhrkorrekturen beider Programme wurden den entsprechenden Änderungen der Temperaturdifferenzen an den Positionen I, II, III gegenübergestellt (Abb. 11). Es ist leicht erkennbar, daß die Änderungen der Temperaturdifferenzen an Position III mit den Differenzen der Uhrkorrekturen korreliert sind.

In einer weiteren Serie von 6 Programmen zu 10 bis 12 Sternen wurden im Juli/August 1969 zwei verbesserte Temperaturdifferenzmesser mit jeweils zwei Meßfühlern in Verbindung mit einem Lichtschreiber zur kontinuierlichen Erfassung der Temperaturdifferenzen an den Positionen II und III (Abb. 1) erprobt. Mittlere Temperaturdifferenz bei Position III und zugehöriger Abendwert der Länge sind in Abb. 12 dargestellt.

Die ersten Versuchsmessungen haben einige wichtige Fakten gezeigt: Die Abendwerte der Länge hängen von den Temperaturdifferenzen im I. Vertikal im unteren Teil des Spaltes, wenige Zentimeter über dem zum Zenit gerichteten Fernrohr, ab. Diese Abhängigkeit ist derart, daß positiven Temperaturdifferenzen (Westen wärmer) die größeren Beträge der Länge λ_m zugeordnet sind.

7.4.2. Korrekturen nach PAVLOV und ZVEREV

Es werden die Ergebnisse der Versuchsserie April/Mai 1971 nach der Korrektur wegen Refraktionsstörungen und thermischer Asymmetrie am Instrument wiedergegeben (Kap. 6).

Die Korrekturen wurden für jeden Stern gesondert ermittelt. Bei der Berechnung ergab sich, daß die Größe der Korrekturen für die am geschützten Instrument gemessenen Temperaturdifferenzen etwa 30 % der errechneten Korrekturen wegen Refraktionsstörungen durch Schichtenneigung betragen. Auf Grund dieser Tatsache und mit Rücksicht auf die Ausführungen in Kap. 6 wird deshalb auf eine Trennung der beiden Korrekturen verzichtet (Tab. 11, Abb. 13).

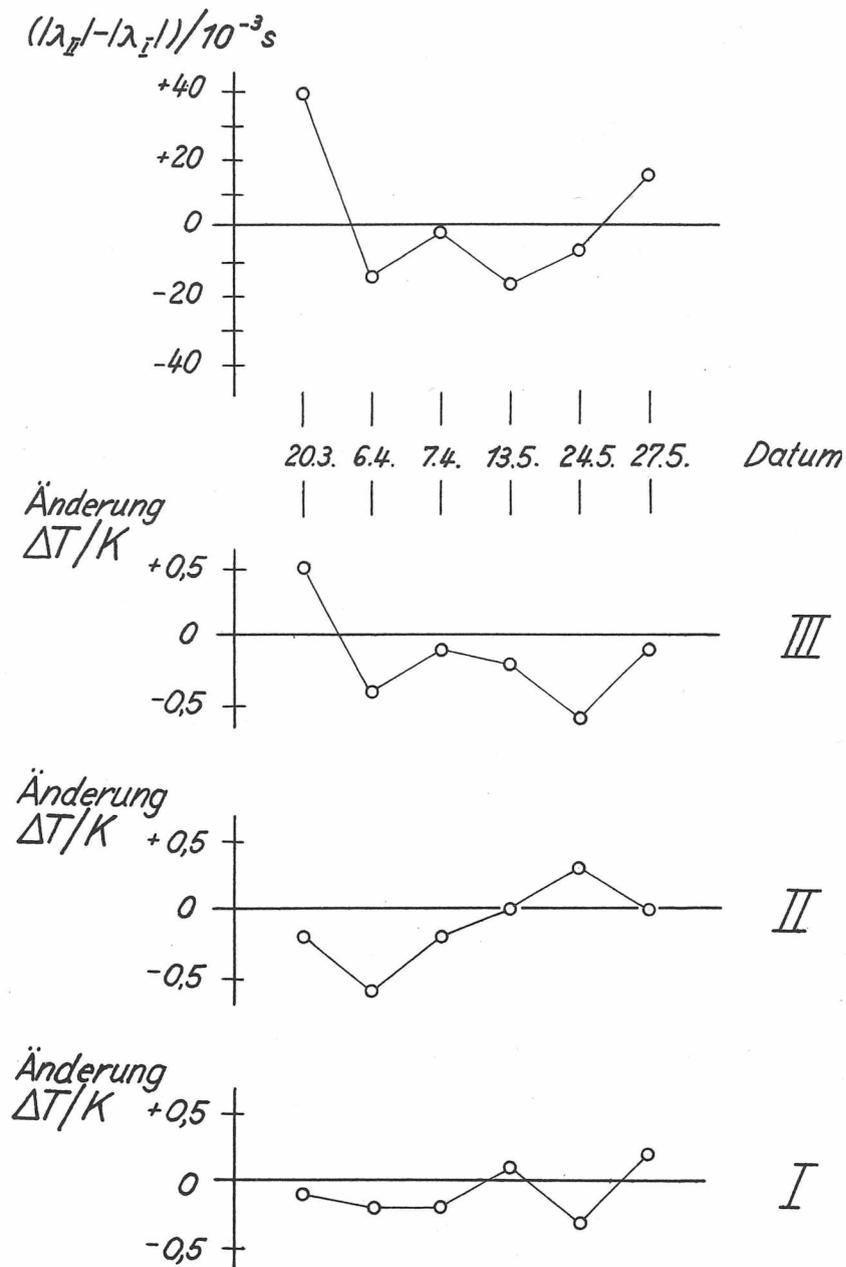


Abb. 11. Änderung der Temperaturdifferenzen im I. Vertikal (Positionen I, II, III) und der aus Meridiandurchgängen bestimmten Länge an 6 Abenden (März-Mai 1969)

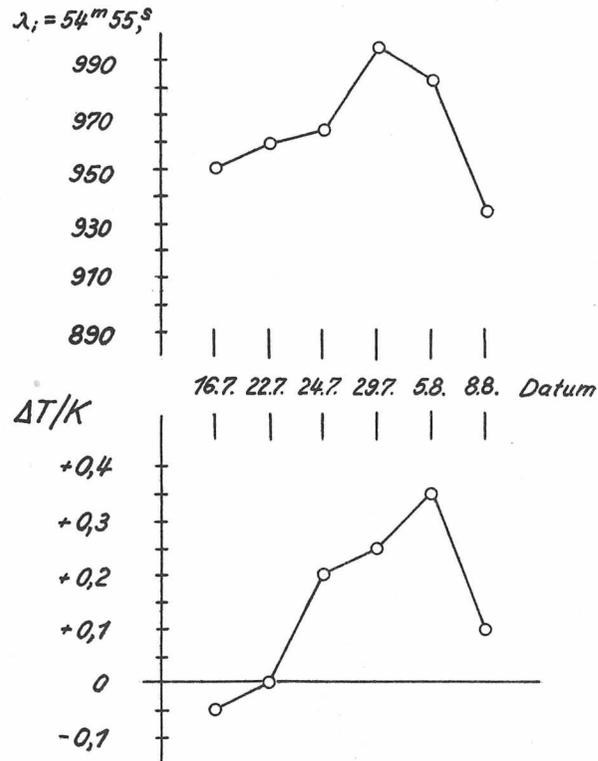


Abb. 12. Versuchsmessungen Juli/August 1969

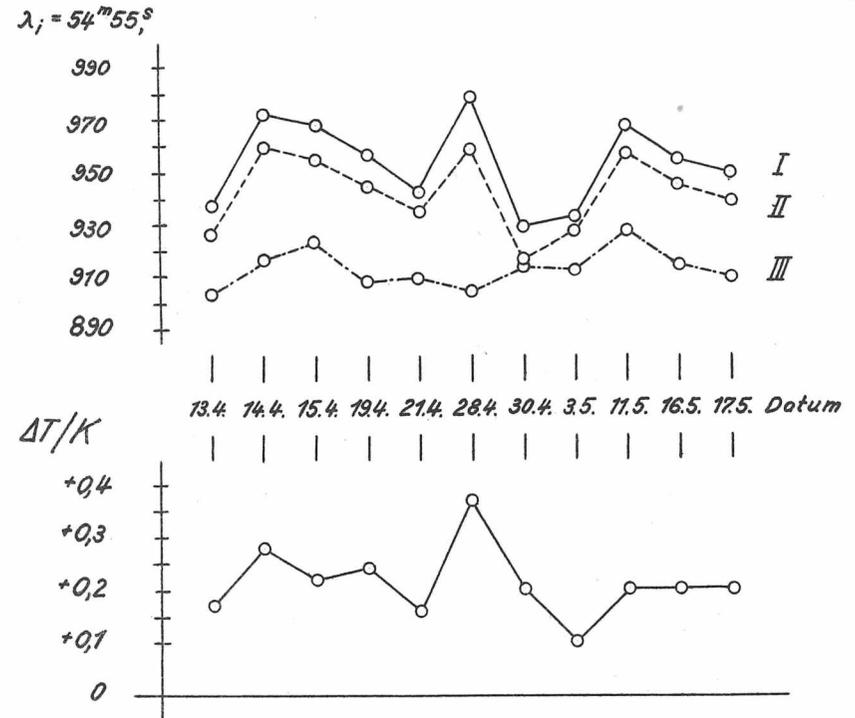


Abb. 13. Beobachtungsserie April/Mai 1971

(Kurve I gibt die ursprünglichen Werte nach Tab. 9, Kurve II die korrigierten Werte nach Tab. 11, Kurve III die reduzierten Werte nach Abschnitt 7.4.3. und 7.4.4.)

Tab. 11. Ergebnisse der Versuchsserie April/Mai 1971 nach Anbringen von Korrekturen auf Grund gemessener Temperaturdifferenzen

Datum	n		λ_m (korrigiert)	k [ms]	m_λ [ms]	m_k [ms]
1971			$-54^m 55^s, \dots$			
April	13.	11	926	-130	± 7	± 28
	14.	14	959	160	± 8	± 26
	15.	13	954	167	10	36
	19.	12	944	241	9	33
	21.	12	934	185	8	28
	28.	11	958	89	6	18
	30.	9	916	148	4	15
Mai	3.	8	927	50	11	30
	11.	10	956	171	10	31
	16.	10	944	155	7	22
	17.	11	938	169	9	29

7.4.3. Verbesserung der Abendwerte auf Grund der Regressionslinie

Zwischen den Abendwerten λ_m und den Temperaturdifferenzen im I. Vertikal (ΔT_{III} bzw. $\Delta T_{III'}$) besteht aus physikalischen Gründen eine Abhängigkeit. Schon VASIL'EV (1957 b) und ČZEN ČŽUN-LJAN (1962) weisen auf die enge Korrelation zwischen den Ergebnissen astronomischer Zeitbestimmungen und gemessenen Temperaturdifferenzen in unmittelbarer Nähe des Instrumentes im I. Vertikal hin, die sowohl durch thermisch bedingte instrumentelle Einflüsse als auch durch Refraktionsanomalien hervorgerufen werden.

Es gelang bei den vorliegenden Versuchsbeobachtungen, derartige Abhängigkeiten nachzuweisen, wobei Erfahrungen über die günstige Lage der Meßstellen für die Messung von Temperaturdifferenzen, die Kennziffern des gestörten thermischen Feldes darstellen, gesammelt wurden.

Aus Kap. 6 geht die Absicht hervor, begründetermaßen nur die Steigerung der "äußeren" Genauigkeit zu verfolgen, während in sowjetischen Arbeiten auch enge Korrelationen von einzelnen Sterndurchgängen und Temperaturdifferenzen innerhalb eines Abends angegeben werden (z.B. ČZEN ČŽUN-LJAN 1962).

Als Regressionslinie für den angeführten Zusammenhang wird eine Gerade gefunden:

$$(34) \quad Y = a + b X.$$

Hier ist X die unabhängige Variable (Temperaturdifferenzen), Y die abhängige Variable (Abendwert der Länge), a das Absolutglied und b der Anstieg der Geraden.

Wir bestimmen die Konstante b über den empirischen Korrelationskoeffizienten nach WEBER (1967):

$$b = r_{XY} \frac{s_Y}{s_X},$$

und a über die Schwerpunktkoordinaten mit der Gleichung (34). s_X , s_Y sind die Stan-

dardabweichungen von X und Y .

Nur unter gewissen Bedingungen darf man die Schätzwerte a und b der vorliegenden Regressionslinie von Y auf X als erwartungstreue Schätzungen für die Konstanten der wahren Geraden betrachten.

Nach MILOVANOVIĆ (1965) sind diese Bedingungen erfüllt, wenn die unabhängige Variable X als fehlerfrei betrachtet werden kann oder, falls die Werte $\{X\}$ mit den Beobachtungsfehlern $\{\xi\}$ behaftet sind, der Erwartungswert

$$E[\xi|X] = 0$$

ist, wobei X die Realisation der Zufallsgröße, X' der "wahre Wert", jedoch temporär variabel, und ξ der zufällige Beobachtungsfehler sind und

$$X = X' + \xi$$

gilt. Die zuletzt genannte Variante entspricht den für die Versuchsbeobachtungen gültigen Realitäten, womit die Begründung für den Einsatz des obengenannten mathematischen Modells gegeben ist.

Es kann erwartet werden, daß auch Luftfeuchte, Wind und evtl. noch andere meteorologische Parameter die Abendwerte der Länge beeinflussen. Jedoch ist zu vermuten, daß dieser Einfluß über das thermische Feld geschieht und damit weitgehend durch die Regressionslinie erfaßt wird.

Liegt ein mit einem ausgewogenen photoelektrischen Registriersystem, möglicherweise unter den Bedingungen einer Teilautomation des Beobachtungsvorganges gewonnenes umfangreiches Beobachtungsmaterial mit den erforderlichen Temperaturmessungen vor, so kann eine umfassende Analyse zu einer Verbesserung des hier benutzten mathematischen Modells führen.

7.4.4. Zusammenstellung und Vergleich der Ergebnisse

In Tab. 12 und Abb. 13 werden die nach Abschnitt 7.4.2. und 7.4.3. erhaltenen Werte der Serie April/Mai 1971 angegeben.

Tab. 12. Beobachtungsergebnisse der Serie April/Mai 1971

	λ_M	M_λ [ms]	m_λ [ms]
	-54 ^m 55 ^s ,...		
Ursprüngliche Werte	954	±17	±8
Korrigierte Werte (PAVLOV/ZVEREV)	942	±14	±8
Korrigierte Werte (Regressionslinie)	(912)	±10	-

Die Ergebnisse auf Grund der Regressionslinie korrigierter eigener und zum Vergleich aus der Literatur entnommener Serien sind in Tab. 13 zusammengestellt.

Tab. 13. Ergebnisse von vier eigenen und zwei der Literatur entnommenen Beobachtungsreihen

Serie	$-54^{\text{m}}55^{\text{s}}, \dots$		N	$r_{\lambda/\Delta T}$	M_{λ} [ms]	M_{ol} [ms]	m_{λ} [ms]	Bemerkung
	urspr.	korr.						
IX.-XI. 1969	974	971	13	-0,64	± 19	± 14	± 10	visuell
I.-V. 1970	939	925	12	-0,59	± 15	± 11	± 8	visuell
IV./V. 1971	954	(912)	11	-0,79	± 17	± 10	± 8	visuell
X. 1972	976	(948)	12	-0,72	± 10	± 7	± 7	photoel.
VASIL'EV (1957 b) (1. Serie)	-	-	9	-0,88	± 22	± 8	± 9	photoel.
ČŽEN ČŽUN-LJAN (1962), (2. Serie)	-	-	24	-0,77	± 14	± 9	-	photoel.

In Tab. 12 und 13 sind λ_M die Mittelwerte einer Beobachtungsreihe, N die Anzahl der Beobachtungsabende, $r_{\lambda/\Delta T}$ der Korrelationskoeffizient zwischen λ und ΔT , m_{λ} und M_{λ} die innere bzw. äußere Genauigkeit und M_{ol} die äußere Genauigkeit der wegen Temperaturdifferenzen ΔT verbesserten Beobachtungsergebnisse.

Die korrigierten Mittelwerte der Serien April/Mai 1971 und Oktober 1972 sind extrapoliert worden und deshalb in Klammern gesetzt. Die zugehörigen Regressionsgleichungen sind nach Voraussetzung nur für folgende Wertebereiche von ΔT_{III} gültig:

$$\text{April/Mai 1971: } 0,10 \text{ K} \leq \Delta T_{\text{III}} \leq 0,37 \text{ K} ,$$

$$\text{Oktober 1972: } 0,10 \text{ K} \leq \Delta T_{\text{III}} \leq 0,49 \text{ K} .$$

Die vorliegenden photoelektrischen Transitbeobachtungen gehören zu den besten ihrer Art. Die hohe Genauigkeit ($M_{\text{ol}} = m_{\lambda} = \pm 7$ ms) wurde mit einem objektivierten Beobachtungsverfahren bei gleichzeitiger Erfassung bzw. Verminderung der Einflüsse des Mikroklimas erreicht.

Ein Vergleich der erhaltenen Längenwerte untereinander und mit dem konventionellen Wert ($\lambda_{\text{konv}} = -0^{\text{h}}54^{\text{m}}55^{\text{s}},938$), der ohne Berücksichtigung mikroklimatischer Effekte ermittelt wurde, ist auf Grund von Inhomogenitäten zwischen den überwiegend visuell beobachteten Serien nicht aussagekräftig. Untersuchungen des Längenwertes müssen sich auf langzeitige, kontinuierliche Beobachtungsreihen mit einem erprobten photoelektrischen Registrierungssystem bei gleichzeitiger Erfassung bzw. Ausschaltung mikroklimatischer Einflüsse gründen.

8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Nachdem durch wissenschaftliche Arbeiten verschiedener Autoren nachgewiesen worden war, daß thermisch bedingte Einflüsse (neben persönlichen Fehlern - soweit visuell beobachtet wird -) die Hauptursache für die Diskrepanz zwischen "innerer" und "äußerer" Genauigkeit bei astronomischen Zeitbestimmungen am Transit sind, erschienen weitere Untersuchungen wünschenswert.

Sowohl Refraktionsstörungen als auch thermisch bedingte Instrumentalfehler sind in verschiedenen Arbeiten als dominierend nachgewiesen worden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß von Fall zu Fall b e i d e Varianten real sind. Von wesentlicher Bedeutung scheinen dabei die Lage und die Anlage des Beobachtungshauses zu sein.

Die vorliegenden Untersuchungen sind durch einige Besonderheiten geprägt (zu ihnen gehört u.a. die Anlage des Meridianhauses), die möglicherweise erst zu eindeutigen Ergebnissen geführt haben.

Aus Kap. 4 können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Das Mikroklima in einem Meridianhaus reflektiert - gegebenenfalls etwas verzögert - die jeweilige Großwetterlage (Sonneneinstrahlung bzw. Bewölkung, Luftfeuchte, Wind).
- Lage und Anlage des Meridianhauses können zur Ausbildung einer temporär variablen Asymmetrie des thermischen Feldes in der Nähe des Beobachtungsinstrumentes führen und damit die Ursache für örtliche Refraktionsstörungen sein.
- Einige Gesichtspunkte für die Lage und Anlage eines Beobachtungshauses werden in Abschnitt 4.2.5. diskutiert.

Aus Kapitel 5 ergeben sich folgende wichtigen Aussagen:

- Die Temperaturverhältnisse am Instrument haben sowohl eine tägliche als auch eine jährliche Periode.
- Der Einfluß des Beobachters ist für die vorliegenden Bedingungen bedeutend und begünstigt die Ausbildung einer thermischen Asymmetrie des Instrumentes.
- Durch künstliche Belüftung verringern sich die Temperaturdifferenzen am Instrument um 30 % bis 60 %, je nach Lage der Meßfühler.
- Die Änderungen der Temperaturdifferenzen, die die Ergebnisse beeinflussen, lassen sich bei der gewählten Versuchseinrichtung durch künstliche Ventilation nicht verkleinern.
- Thermisch bedingte Instrumentalfehler können unter bestimmten Bedingungen eine relative Konstanz erreichen und werden dann in den Beobachtungsergebnissen kaum bemerkt.

Aus Kap. 5 leiten wir folgende Forderungen ab:

- Das Fernrohr des Instrumentes ist gegen thermische Einflüsse zu schützen.
- Eine geeignete Ventilation sollte zur Verminderung der thermischen Asymmetrie des Instrumentes beitragen.
- Der Einfluß des Beobachters sollte durch eine Objektivierung und Automatisierung des Beobachtungsvorganges ausgeschaltet werden.

Die Korrektur der Abendwerte auf Grund gemessener Temperaturdifferenzen in unmittelbarer Nähe des Instruments, die Indizien für eine Neigung der Luftschichten gleicher Dichte sind, bewirkt eine Steigerung der "äußeren" Genauigkeit. Die Korrekturen können eine Größenordnung von 20 ms erreichen, die Genauigkeitssteigerung beträgt etwa 20 %.

Da thermisch bedingte instrumentelle Fehler und Refraktionsstörungen im allgemeinen das gleiche Vorzeichen haben und die Abhängigkeit zwischen mittleren Temperaturdifferenzen und Abendwerten in erster Näherung als linear betrachtet werden kann, wurde mit Bezug auf die Arbeiten von VASIL'EV (1957 b), ČŽEN ČŽUN-IJAN (1962) sowie BLINOV und FE-DOSEEV (1971 a, 1971 b) ein Proportionalitätsfaktor zwischen Temperaturdifferenzen bei III bzw. III' (Abb. 1) und den Abendwerten berechnet. Die daraus abgeleiteten Korrekturen brachten eine Genauigkeitssteigerung um 20 % bis 40 %. Aus 12 Abenden mit photoelektrischen Messungen konnte durch derart abgeleitete Korrekturen der innere mittlere Fehler der Abende, m_{λ} , gleich dem äußeren mittleren Fehler der Abende, $M_{0\lambda}$, gleich 7 ms, erhalten werden.

Als Gesamtschlußfolgerung ergibt sich:

- Parallel zu Zeitbestimmungen am Transit und in seiner unmittelbaren Umgebung gemessene Parameter des Mikroklimas (im allgemeinen Temperaturdifferenzen) erlauben eine Korrektur der Abendwerte. Von ihrer Auswahl und ihrem Umfang hängt die Güte der Korrekturen ab.
- Zielstellung für die weitere Steigerung der äußeren Genauigkeit bei Zeitbestimmungen am Transit und damit der Verringerung der Diskrepanz zwischen innerer und äußerer Genauigkeit muß neben der Objektivierung die Automatisierung der Beobachtungen bei gleichzeitiger Erfassung optimal ausgewählter mikroklimatischer Parameter sein.

Literatur

- AFANAS'EVA, P.M.: O vlijanii vetra na rezul'taty astronomičeskogo opredelenija vremeni
Tr. 14. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1960, S. 345-348
- ANDERSSON, F.: On the effect of the lateral refraction upon the astronomical determinations of the longitude
Bull. géod., Paris (1970) 96, S. 163-168
- BEDA, V.T.: O raznosti naklonnostej gorizonta'noj osi passažnogo instrumenta, zavisjaščej ot porjadka nabljudenij
Tr. 12. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1957, S. 299-303
- BLINOV, N.S.; FEDOSEEV, E.N.: Temperaturnyj režim v pavil'one passažnyh instrumentov
Astron. Z., Moskva 48 (1971), S. 622-627 (1971 a)
- BLINOV, N.S.; FEDOSEEV, E.N.: O vlijanii vnešnej sredy na točnost' opredelenija vremeni passažnym instrumentom
Soobšč. gos. astron. Inst. Šternberg, Moskva (1971) 169, S. 3-17 (1971 b)
- BOHRMANN, A.: Über Refraktionsstörungen
Veröff. bad. Landes-Sternw. Heidelberg (Königstuhl), Heidelberg 8 (1925)
- BONSDORFF, I.: Verh. balt. geodät. Kommiss. (9. Tagung, 1936), Helsinki 1937
- BRANDT, V.Ě.: O vlijanii parallaksa pri otsčete urovnja passažnogo instrumenta v zritel'-nuju trubu
Soobšč. gos. astron. Inst. Šternberg, Moskva (1967) 150, S. 20-25 (1967 a)
- BRANDT, V.Ě.: Problemy opredelenija vremeni
Soobšč. gos. astron. Inst. Šternberg, Moskva (1967) 150, S. 3-19 (1967 b)
- BRANDT, V.Ě.: Vlijanie vnešnej sredy na nabljudenija zvezd passažnym instrumentom
Astron. Z., Moskva 44 (1967), S. 196-203 (1967 c)
- BRETTTERBAUER, K.: Über mögliche Refraktionsanomalien infolge von Schichtenneigungen
Österr. Z. Vermess.-Wesen, Baden b. Wien 53 (1965), S. 113-119 (1965 a)
- BRETTTERBAUER, K.: Einfluß von Druck und Temperatur auf die Ergebnisse von Breitenbestimmungen aus Meridianzenitdistanzen
Österr. Z. Vermess.-Wesen, Baden b. Wien 53 (1965), S. 151-152 (1965 b)
- BRETTTERBAUER, K.: Refraktionsanomalien und die Genauigkeit astronomisch-geodätischer Beobachtungen
Internat. Conf. geod. Measuring Techn. and Instrum. Probl., Budapest 1966, Bd. V, S. 15-50
- BRETTTERBAUER, K.: Horizontale Temperaturgradienten als Ursache von vertikalen und lateralen Refraktionsanomalien
Österr. Z. Vermess.-Wesen, Baden b. Wien 58 (1970), S. 177-185
- BEKIĆ, Z.: Beeinflussung der astronomischen Zeitbestimmung durch den Wind
Zbornik geod. Inst. Beograd (1960) 3, S. 94-105
- BUSCHMANN, E.: Zufällige und systematische Fehler in geodätisch-astronomischen Zeitbestimmungen
Arb. geod. Inst. Potsdam, Potsdam (1969) 25
- ŮZEN ŮŽUN-LJAN: Issledovanie "ošibki večera" i "effekta vetra" po nabljudenijam na novom Pulkovskom passažnom instrumente PPI-1
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1962) 171, S. 41-56
- DITTRICH, J.: Über thermisch bedingte instrumentelle Fehler bei Zeitbestimmungen aus Meridiandurchgangsbeobachtungen am Passageinstrument
Vermessungstechnik, Berlin 20 (1972), S. 270-272
- DITTRICH, J.; WÄCHTER, S.: Der Einfluß der Saalrefraktion im Meridianhaus des Lohrmann-Observatoriums auf Breitenbeobachtungen nach Horrebow-Talcott
Vermessungstechnik, Berlin 20 (1972), S. 393-395

- DNEPROVSKY, N.: Zur Frage der thermischen Biegung in Fernrohren
Astron. Nachr., Kiel 253 (1934), Nr. 6049
- DOLGOV, P.H.: Opređenje vremena posebnim instrumentom v meridiane
Moskva: Gos. Izdat. techn.-teoret. Lit. 1952
- DRODOFSKY, M.: Libellen mit Anzeige durch Gasblasen
Dt. geodät. Kommiss. R. G, München (1956) 17
- FREIESLEBEN, H.C.; LANGE, E.: Gesetzmäßige Verfälschung von Zeitbestimmungen bei bestimmten Wetterlagen
Ann. Hydrogr. u. marit. Meteor., Berlin 64 (1936), S. 60-64
- GLIESE, W.: The right ascension system of the Fourth Fundamental Catalogue (FK4)
Veröff. astron. Rechen-Inst. Heidelberg, Karlsruhe (1963) 12
- GRÖBER; ERK; GRIGULL: Wärmeübertragung
Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1963
- HIRSCH, O.: Temperaturabhängigkeit der Ziellinie von Universalinstrumenten
Dt. geodät. Kommiss. R. G, München (1970) 152
- HÖPFNER, J.: Analyse der Beobachtungsergebnisse der astronomisch-geodätischen Längenbestimmung Borowiec - Dresden - Potsdam aus dem Jahre 1966
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam (1971) 11
- HÖPFNER, J.: Genauigkeitsforderungen an ein objektiviertes Astrolab
Wiss. Z. techn. Univ. Dresden, Dresden 21 (1972), S. 614-616
- KAUTSCH, R.: Elektrische Meßtechnik zur Messung nichtelektrischer Größen
Berlin: VEB Verlag Technik 1967
- KIENLE, H.: Untersuchungen über Saalrefraktion
Astron. Nachr., Kiel 213 (1921), S. 362-378
- KIRSCHNER, H.: Korrekturen der Form $\Delta\alpha_\alpha$ des Katalogs FK4 aus Zeitbestimmungen mit Durchgangsinstrumenten
Astron. Nachr., Berlin 290 (1968), S. 129-134
- KOHLRAUSCH, F.: Praktische Physik, Bd. 1
Stuttgart: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1955
- KRÜGER, H.: Atmosphärische Einflüsse auf astronomisch-geodätische Beobachtungen
Vermessungstechnik, Berlin 2 (1954), S. 183-186, 207-210; 3 (1955), S. 31-35
- KRÜGER, H.: Über den Einfluß des Windes auf Zeitbestimmungen in Tokio, Leningrad und Potsdam
Vermessungstechnik, Berlin 5 (1957), S. 101-106
- KRÜGER, H.: Die Wirkung des Windes auf ein Zeitsystem
Veröff. geodät. Inst. Potsdam, Berlin (1963) 24
- MAHNKOPF, H.: Untersuchungen über die Genauigkeit von Längenbestimmungen auf funktelographischem Wege unter besonderer Berücksichtigung der Zenitrefraktion
S.-Abdr. Verh. 4. Tagung d. Balt. geodät. Kommiss., Helsinki 1929
- MEINIG, M.: Zur Auswertung von Zeitbestimmungen mit dem Passageinstrument
Wiss. Z. techn. Univ. Dresden, Dresden 19 (1970), S. 99-103
- MICHEJEW, M.A.: Grundlagen der Wärmeübertragung
Berlin: VEB Verlag Technik 1962
- MILASOVSKY, B.: The interpretation of the accuracy indexes of time determinations
Acta geodaet., geophys. et montanist. Acad. Sci. hung., Budapest 1 (1966) S. 5-20
- MILOVANOVIĆ, V.: Über die Bestimmung einer linearen funktionellen Abhängigkeit
Z. Vermess.-Wesen, Stuttgart 90 (1965), S. 188-200
- MILOVANOVIĆ, V.: Beitrag zur Erklärung der systematischen Fehler bei der astronomisch-geodätischen Ortsbestimmung
Dt. geodät. Kommiss. R. G, München (1968) 129

- MILOVANOVIĆ, V.: Ob odnom temperaturnom vlijanii na urovni
Tr. 18. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1972, S. 226-229
- MILOVANOVIĆ, V.; PANNWITZ, H.: On the night errors in astronomical determinations
XVth General Assembly U.I.G.G., Moskau 1971
- MIŠČENKO, M.P.: O vlijanii teplovogo izlučenja na astronomičeskie opredelenija vremeni
Uč. Zap. Leningr. Univ., Ser. Math. 29, Leningrad (1957) 190, S. 179-191
- MIŠČENKO, M.P.: O nekotorych teplovyh i refrakcionnyh vlijanijach na astronomičeskie opredelenija vremeni. In: Vrašćenie Zemli, S. 145-150
Kiev 1963
- MIYADI, M.: Wind-effect in the time observations at Tokyo
Astron. Observ. Report, Tokyo (1938/39), S. 24-32
- NIETHAMMER, T.: Die Genauigkeit der verschiedenen Zeitbestimmungsmethoden
S.-Abdr. Verh. Naturforsch. Ges. Basel, Basel 51 (1940), S. 29-39
- PAUSCHER, H.: Breiten- und Zeitbestimmungen mit dem Photo-Zenit-Teleskop (PZT)
Vermessungstechnik, Berlin 18 (1970), S. 6-11
- PAVLOV, N.N.: O termičeskich éffektach v perekładyvajuščichsja passažnyh instrumentach
Astron. Ž., Moskva 30 (1953), S. 85-92
- PAVLOV, N.N.: O termičeskich éffektach v passažnyh instrumentach služby vremeni
Tr. 10. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1954, S. 191-225
- PAVLOV, N.N.: Temperaturnye éffekty v astronomičeskich nabljudenijach
Tr. 11. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1955, S. 158-160 (1955 a)
- PAVLOV, N.N.: O novom tipe perekładyvajuščegosja passažnogo instrumenta
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1955) 154, S. 99-103 (1955 b)
- PAVLOV, N.N.: Puti povyšeniya točnosti astronomičeskich opredelenij vremeni. In:
Vrašćenie Zemli, S. 136-144
Kiev 1963 (1963 a)
- PAVLOV, N.N.: O racional'nom tipe instrumenta dlja opredelenija točnogo vremeni iz astronomičeskich nabljudenij
Tr. 15. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1963, S. 246-266 (1963 b)
- PAVLOV, N.N.: Zadači novogo passažnogo instrumenta Pulkovskoj služby vremeni
Tr. 18. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1972, S. 151-158
- PIL'NIK, G.P.: O kollimacii passažnogo instrumenta
Astron. Ž., Moskva 34 (1957), S. 97-101
- PIL'NIK, G.P.: Novye vozmožnosti passažnogo instrumenta
Tr. 15. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1963, S. 266-274
- PIL'NIK, G.P.: Termičeskie oscillacii astronomičeskogo instrumenta. In: Atmosfernaja Optika, S. 75-85
Moskva 1970
- PILOWSKI, K.; WINTER, R.: Untersuchung und Erprobung einer optischen Kippachse aus Spiegel, Doppelkeil und automatischem Nivellier bei einem transportablen Passageinstrument
Techn. Univ. Hannover, Astron. Station d. Inst. theor. Geod., Hannover (1972) 8
- POTTHOFF, H.: Ein verbessertes Verfahren zur photoelektrischen Bestimmung von Durchgangszeiten am Transit
Diss. techn. Univ. Dresden 1973
- PRZYBYLLOK, E.: Über einen Fall örtlicher Refraktionsstörung
Astron. Nachr., Kiel 213 (1921), S. 61-64
- RAMSAYER, K.: Automatische Sternnachführung für astronomischen Theodolit
Dt. geodät. Kommiss. R. B, München (1962) 81
- RAMSAYER, K.: Über die Genauigkeit der Bestimmung der astronomischen Refraktion
Acta techn. hung., Budapest 52 (1965), S. 361-372

- RAMSAYER, K.: Investigations on errors in the determinations of astronomical refraction
Sonderh. Österr. Z. Vermess.-Wesen, Baden b. Wien (1967) 25
- RAMSAYER, K.: Geodätische Astronomie. In: JORDAN, EGGERT, KNEIBL: Handbuch der Vermessungskunde, Bd. IIA
Stuttgart: Metzlersche Verlagsbuchhandlung 1970
- ŠČEGLŮV, V.P.: Opyt issledovanija nekotorych sistematičeskich ošibok pri opredelenijach vremeni perenosnyh passažnymi instrumentami
Astron. Ž., Moskva 27 (1950), S. 357-371
- SCHMEIDLER, F.: Biegung und Refraktionsstörung am Münchener Vertikalkreis
Astron. Nachr., Berlin 276 (1948), 63
- SCHMEIDLER, F.: Über eine Störung der astronomischen Refraktion durch die abendliche Wärmestrahlung eines Gebäudes
Meteor. Rdsch., Berlin/Göttingen/Heidelberg 8 (1955), S. 10-12
- SCHÜTTE, K.: Über die systematischen Fehler der astronomischen Zeitbestimmungen
Astron. Nachr., Kiel 254 (1935), S. 249-272
- SCHÜTTE, K.: Über die Zenitrefraktion und die Polhöhe von München
Astron. Nachr., Kiel 269 (1939), S. 1-16
- SCHWEBEL, R.: Untersuchung instrumenteller Fehler von Universal- und Passageinstrument mit Hilfe von Autokollimation
Dt. geodät. Kommiss., R. C, München (1968) 117
- SERGIENKO, V.I.: Issledovanie vlijanija refrakcionnych anomalij na širotnye nabljudenija v Irkutske i Blagoveščenske
Astron. Ž., Moskva 47 (1970), S. 1328-1336
- SERGIENKO, V.I.: Primenenie termosoprotivlenii dlja izučenija refrakcionnych anomalij
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1971) 189/190, S. 115-124 (1971 a)
- SERGIENKO, V.I.: Predvaritel'nye rezul'taty nabljudenij refrakcionnych i okolozenitnych par Tal'kotta na ZTL-180
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1971) 189/190, S. 125-130 (1971 b)
- SERGIENKO, V.I.; SERGIENKO, S.A.: Analiz rezul'tatov nabljudenij refrakcionnych i okolozenitnych par meždunarodnych stancij široty
Astron. Ž., Moskva 50 (1973), S. 410-417
- SIEDENTOPF, H.: Die Anforderungen an Bildspeicherverfahren in der astronomischen Meßtechnik
Sitz.-Ber. Heidelb. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl., Heidelberg (1959), 5. Abhandlung
- SIGL, R.: Über die Beobachtung genauer astronomischer Längen
Dt. geodät. Kommiss. R. C, München (1960) 41
- SOLOV'EVA, L.A.; GARMAŠEV, V.V.: Issledovanie izmenenija kollimacii passažnogo instrumenta
Tr. 15. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1963, S. 274-279
- STARICYN, G.V.: Sistematičeskie ošibki s sutočnym periodom v nabljudenijach na fotoelektričeskich passažnych instrumentach
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1958) 161, S. 13-51
- STEINERT, K.-G.: Die persönlichen Fehler bei Zeitbestimmungen mit dem Passageinstrument
Wiss. Z. techn. Univ. Dresden, Dresden 10 (1961), S. 1381-1396
- STEINERT, K.-G.: Die äußere Genauigkeit von Zeitbestimmungen mit dem Passageinstrument und die persönlichen und instrumentellen Fehler
Astron. Nachr., Berlin 287 (1963), S. 137-147
- STEINERT, K.-G.: Die Achsstabilität bei Passageinstrumenten
Vermessungstechnik, Berlin 12 (1964), S. 129-134
- STICKER, B.: Der Einfluß der Seitenrefraktion bei Zeitbestimmungen
Ann. Hydrogr. u. marit. Meteor., Berlin 71 (1943), S. 387-391

- TAVASTŠERNA, K.N.: O termičeskoj nesimetričnosti bol'šogo passažnogo instrumenta Pulkovskoj observatorii
Tr. 12. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1957, S. 194-197
- TELEKI, G.: A contribution into the research of astronomical refraction and its anomalies on the basis of aerological measurements carried out in Beograd
Publ. Observ. astron. Beograd, Beograd (1967) 13
- TELEKI, G.: Ob opredelenii vlijanija anomalij refrakcii
Tr. 18. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1972, S. 264-270
- TELEKI, G.; ŠEVARLIĆ, B.: On possibilities of determinations of anomalous refraction out of astronomical measurements
XIVth General Assembly IAU, Brighton 1970
- THURM, H.: Die Polhöhe von Dresden während des IGJ
Mitt. Lohrmann-Inst. techn. Univ. Dresden, Dresden (1962) 3
- TJUTEREV, G.S.: Vlijanie naklona prizemnogo sloja vozducha na opredelenie široty i vremeni. In: Vrašćenie Zemli, S. 281-288
Kiev 1963
- TJUTEREV, G.S.: Issledovanie vlijanija naklonov atmosferynych sloev ravnoj plotnosti na opredelenie široty mesta i točnogo vremeni po aerologičeskim dannym
Široty i Dolgoty, Moskva (1965) 3, S. 50-72 (1965 a)
- TJUTEREV, G.S.: Vlijanie vetra na rezul'taty opredelenija široty i vremeni v Pulkove, Herstmonceux i Tokio
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1965) 176, S. 103-114 (1965 b)
- TJUTEREV, G.S.: O vlijanii raznostej temperatury vozducha na astronomičeskie nabljudenija široty i vremeni
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1968) 183, S. 62-65
- TJUTEREV, G.S.: Issledovanija vlijanija vetra na astronomičeskie nabljudenija v Pulkove za period MGG - MGS
Tr. 18. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1972, S. 270-274
- UNZ, F.: Der Einfluß von Temperaturschwankungen in der atmosphärischen Grundschicht auf astronomische Beobachtungen
Meteor. Rdsch., Berlin, Heidelberg, New York 23 (1970), S. 87-91
- VASIL'EV, V.M.: O raznostjach temperatury otdel'nych častej trech passažnyh instrumentov služby vremeni
Astron. Ž., Moskva 29 (1952), S. 708-717
- VASIL'EV, V.M.: Vlijanie izmenenija temperatury instrumenta na točnost' astronomičeskich nabljudenij i pribory dlja izučenija temperaturnyh raznostej v tele astronomičeskich instrumentov
Tr. 10. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1954, S. 183-190 (1954 a)
- VASIL'EV, V.M.: O sistematičeskoj ošibke v opredelenii naklonnosti osi passažnogo instrumenta
Astron. Ž., Moskva 31 (1954), S. 467-482 (1954 b)
- VASIL'EV, V.M.: Učet vlijanija izmenenij temperatury instrumenta pri astronomičeskich nabljudenijach
Astron. Ž., Moskva 32 (1955), S. 292-301
- VASIL'EV, V.M.: Sravnenie popravok časov, ulučšennyh putem učeta temperaturnyh gradientov v pavil'one, s étalonnym vremeni
Izv. glavn. astron. Observ. Pulkovo, Leningrad (1957) 157, S. 137-142 (1957 a)
- VASIL'EV, V.M.: "Ošibka večera" v nabljudenijach služby vremeni
Tr. 12. Astrometr. Konf. SSSR, Leningrad 1957, S. 268-281 (1957 b)
- WÄCHTER, S.: Zur Ortsauswahl für eine astronomische Station in der Nähe Dresdens
Wiss. Z. techn. Univ. Dresden, Dresden 13 (1964), S. 1087-1096
- WÄCHTER, S.: Beitrag zur Objektivierung von Meridiandurchgängen
Arb. Vermess.- u. Kt.-Wesen DDR, Leipzig (1969) 17

- WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik
Jena: VEB G. Fischer Verlag 1967
- WÜNSCHMANN, F.: Über die Konstitution der Aerosphäre und die astronomische Inflexion in
ihr
Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 31 (1931), S. 83-118
- YE SHU-HUA: An analysis of the monthly errors of time determinations made with different
instruments (chines. mit engl. Ref.)
Acta astron. sin. 13 (1965), S. 148-159
- ZIMMERMANN, G.K.: Die thermische Biegung und der Unterschied der Vertikalkreise Repsold -
Ertel
Astron. Nachr., Kiel 243 (1931), Nr. 5829
- ZVEREV, M.S.: K voprosu o vyčislenii refrakcionnyh anomalij po dannym aërologičeskich
nabljudenij
Astron. Ž., Moskva 23 (1946), S. 97-110 (1946 a)
- ZVEREV, M.S.: Ob "effekte vetra" v astronomičeskich nabljudenijach
Astron. Ž., Moskva 23 (1946), S. 165-170 (1946 b)
- ZVEREV, M.S.: Issledovanie rezul'tatov astronomičeskich nabljudenij služby vremeni GAIŠ
v 1941 - 1944 gg.
Tr. gos. astron. Inst. Šternberg Moskva (1950) 18, S. 22-121
- ... Zeiss-Passage-Gerät 100/1000 mit Kollimatoren und künstlicher Sterneinrichtung
Beschreibung und Gebrauchsanweisung

