

Paper-ID: VGI\_197019



## Horizontale Temperaturgradienten als Ursache von vertikalen und lateralen Refraktionsanomalien

Kurt Bretterbauer <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Technische Hochschule Wien, 1040 Wien, Karlsplatz 13*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **58** (6), S. 177–185

1970

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Bretterbauer_VGI_197019,  
  Title = {Horizontale Temperaturgradienten als Ursache von vertikalen und  
    lateralen Refraktionsanomalien},  
  Author = {Bretterbauer, Kurt},  
  Journal = {{\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {177--185},  
  Number = {6},  
  Year = {1970},  
  Volume = {58}  
}
```



bzw. 1:25.000 der Topographie entsprechende Erfahrungswerte für den örtlichen Vertikalgradienten angenommen und daraus nach Gleichung (2,7) der Radius der mittleren Krümmungskugel berechnet. Die Ausgangswerte und die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt:

Dieses Rechenbeispiel bestätigt, daß der normale Krümmungsradius im allgemeinen keine glaubhaften Werte für den Refraktionskoeffizienten ergibt, während durch Einführung des der jeweiligen Niveaufläche zugeordneten Krümmungsradius plausible Werte für den Refraktionskoeffizienten erhalten werden. Daß die Höhen vollkommen übereinstimmen, geht aus dem Ansatz der Gleichungen (1,18) hervor.

Die Einführung der Lotkrümmung für die Nichtparallelität der Niveauflächen und die Verwendung elektronisch gemessener Seiten könnte das Problem trigonometrischen Nivellements noch weiter einengen.

#### Literatur:

- [1] *Jordan-Eggert-Kneissl*: Handbuch der Vermessungskunde, Band III, M. Kneissl.
- [2] *W. Embacher*: Über Winkelreduktionen bei Absteckarbeiten. Ö. Z. f. V. 1959.
- [3] *R. Finsterwalder*: Über die Art und Genauigkeit trigonometrisch bestimmter Höhen. Z. f. V. W. 1951.
- [4] *Jordan-Eggert-Kneissl*: Handbuch der Vermessungskunde, Band V (Erdmessung), K. Ledersteger.
- [5] *W. Embacher*: Vorschlag für ein Elektronengravimeter, Abhandlungen des Dokumentationszentrums für Technik u. Wirtschaft, Heft 11, Wien 1952.
- [6] *W. Embacher*: Die Lotkrümmung und das Gravimeterversuchsfeld am Buschberg, Ö. Z. f. V. 1965.
- [7] *H. Bodemüller*: Beitrag zur Messung und Auswertung vertikaler Schweregradienten. Z. f. V. W. 1960.

## **Horizontale Temperaturgradienten als Ursache von vertikalen und lateralen Refraktionsanomalien**

Von Kurt Bretterbauer, Wien

*Abstract*: In order to take full advantage of the high precision of modern equipment for astronomical position determination, adequate attention must be given to the atmospheric conditions as those can be the cause of systematic errors. It is shown how horizontal temperature gradients create sloping density discontinuities of the air which in turn give rise to vertical as well as lateral refraction anomalies. Some special cases are discussed, and the use of thermistors for measuring temperature gradients is proposed. The high costs of astronomical field work and the precious equipment in all cases justify the expenditure made for a thorough analysis of the temperature field versus the astronomical observations.

### *1. Notwendigkeit erhöhter Beachtung der atmosphärischen Verhältnisse*

Sollen die technischen Möglichkeiten der modernen Instrumente voll ausgeschöpft und systematische Fehler in den Beobachtungsergebnissen von astronomischen Ortsbestimmungen aufgedeckt werden, ist eine intensive Beschäftigung mit der astronomischen Strahlenbrechung notwendig. Die technologische Entwicklung hat die reinen Instrumentalfehler in den Hintergrund gedrängt. In den Beobachtungsergebnissen sind nunmehr die systematischen Einflüsse der Atmosphäre klar zu er-

kennen. Diese Tatsache findet ihren Ausdruck einerseits in einer hohen inneren Genauigkeit der Beobachtungen einer Nacht, andererseits in erheblichen Abweichungen zwischen den Ergebnissen verschiedener Nächte. Das hat gerade in jüngster Zeit wieder Herr Dr. W. Losert bei der 3. Fachtagung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen sehr eindrucksvoll gezeigt. Wir müssen uns klar darüber werden, daß das Beobachtungsergebnis einer Nacht nur für diesen einmaligen und unwiederbringlichen Zustand der Atmosphäre gilt. Diese Erkenntnis erfordert nicht nur fehlertheoretische Erwägungen [1], sondern auch neue Ideen bei der Behandlung der astronomischen Refraktion. Im folgenden wird die mögliche Ursache der systematischen Refraktionsfehler erörtert und gezeigt, daß solche nicht nur in den Zenitdistanzen, sondern auch in den Azimuten auftreten.

## 2. Die mögliche Ursache systematischer Refraktionsfehler

Obwohl zahlreiche Theorien der astronomischen Refraktion existieren, kann man keiner von ihnen den Vorzug geben, denn bis zu einer Zenitdistanz von etwa  $70^\circ$  unterscheiden sie sich praktisch nicht voneinander. Die Ursache dafür liegt in einem Satz von Oriani-Laplace begründet: „Für Zenitdistanzen  $z < 75^\circ$  ist die Refraktion ausschließlich bedingt durch die Dichte der Luft im Beobachtungsort“. Dieser Satz besagt schon, daß wir die Ursache für Refraktionsanomalien in der nächsten Umgebung des Instrumentes zu suchen haben, wobei „nächste Umgebung“ einen Umkreis von einigen Dekametern, höchstens Hektometern, bedeutet. Weiters setzen alle Theorien eine konzentrisch-sphärische Schichtung der Atmosphäre voraus, die normal auf das Lot im Beobachtungsort steht. Daraus zieht man sofort zwei wichtige Schlüsse: Die Refraktion ist Null bei Visur nach dem Zenit und es gibt keine Lateralrefraktion. Gerade hier muß die Kritik an den Refraktionstheorien ansetzen, denn im allgemeinen werden die Schichten gleicher Dichte *nicht* normal auf das Lot stehen. Auch dieses Problem wurde schon von mehreren Autoren behandelt, meistens jedoch unter falschen Voraussetzungen. Es wird nämlich bei Untersuchungen über Schichtenneigungen meist die gesamte irdische Atmosphäre durch die ebene, homogene Schicht von 8 km Dicke ersetzt, und diese um einen Winkel  $\gamma$  gegen den Horizont geneigt angenommen. Das würde aber bedeuten, daß die Grenzschicht der Atmosphäre gegen das Vakuum selbst geneigt ist. Das ist aber völlig ausgeschlossen. Denn in etwa 8 km Höhe existiert eine die ganze Erde umgebende Schicht konstanter Dichte („Nullschicht“ nach H. Faust [2]), und spätestens dort muß jede Neigung verschwunden sein. Weiters wird von allen Autoren stillschweigend angenommen, daß die Falllinie der Schichtenneigung in der Visierebene liegt. Eine korrekte Darstellung der Schichtenneigung findet man bei Ramsayer [3]. Dort wird eine rasche Abnahme der Neigung mit der Höhe vorausgesetzt und das Auftreten einer Lateralrefraktion als Folge der Schichtenneigung erwähnt.

Hier soll die Wirkung der Schichtenneigung in voller Allgemeinheit untersucht werden. Dabei wird von den Annahme ausgegangen, daß die gestörte Schicht nur geringe Ausdehnung hat, aber große Neigungen erreichen kann. Bisher war es üblich, Schichten von großer Mächtigkeit, aber geringer Neigung vorauszusetzen. Schichtenneigungen werden entweder durch ein horizontales Druck- oder ein Temperaturgefälle hervorgerufen. Neigungen infolge eines Druckgefälles erreichen selten wenige

Bogenminuten. Ihr Einfluß kann in der Regel vernachlässigt werden. Anders bei einem horizontalen Temperaturgefälle. Dieses Problem ist sehr komplex. Benachbarte, verschieden temperierte Luftkörper können nur dann bestehen, wenn sie durch eine physische Trennwand, z. B. einen Bergkamm, an der Durchmischung gehindert sind. So können die Luftmassen an Nord- und Südhängen von Bergen infolge verschieden starker Sonneneinstrahlung erhebliche Temperaturunterschiede aufweisen. Eine andere Ursache horizontaler Temperaturgradienten und damit von Schichtenneigungen ist gegeben, wenn Luft gezwungen wird, an Berghängen aufzusteigen. Wird eine Luftmasse um 100 m gehoben, so kühlt diese um etwa  $1^{\circ}$  C ab (solange keine Kondensation eintritt). Dabei darf man von einer Wärmezu- oder abfuhr infolge Leitung, Strahlung und Reibung absehen, weil der Einfluß der Druckänderung dominiert. Der Vorgang wird dann als adiabatisch bezeichnet. Herrscht in der freien Atmosphäre ein normaler vertikaler Temperaturgradient von etwa  $-0,65^{\circ}$  C pro 100 m, so findet man also am Berghang merklich tiefere Temperaturen als in der freien Atmosphäre über dem Tal. Die Isothermen, die über dem Tal horizontal liegen, senken sich gegen den Berghang, die Flächen gleicher Dichte sind über dem Berg aufgewölbt.

Der Effekt wird bei Isothermie oder gar Inversion noch verstärkt. Damit lassen sich große Temperaturgradienten erklären, die auch durch Messungen bestätigt wurden. Diese Gradienten und die von ihnen verursachte Schichtenneigung sind stabil, solange die Luftbewegung (Wind) vorherrscht.

### 3. Das Ausmaß der Schichtenneigung durch horizontale Temperaturgradienten

Es seien  $h_A$  und  $h_B$  die Höhen zweier Punkte einer Isopyknen im Abstand  $s$ . Dann gilt:

$$\tan \gamma = \frac{h_A - h_B}{s} \quad \dots (1)$$

Zufolge der Grundgleichung der barometrischen Höhenmessung ist

$$h_A - h_B = - \frac{RT}{g} \frac{(p_A - p_B)}{\bar{p}_{AB}},$$

worin  $R$  = Gaskonstante,  $T$  = absolute Temperatur,  $g$  = Schwere,  $\bar{p}_{AB} = \frac{1}{2}(p_A + p_B)$ . Den Faktor  $\frac{RT}{g} = H$  kann man als Höhe der homogenen Atmosphäre deuten. Außerdem muß entlang einer Fläche gleicher Dichte das Gesetz der isovolumen Zustandsänderung gelten:

$$p_A (1 + \alpha t_B) = p_B (1 + \alpha t_A), \text{ mit } \alpha = 0,00367.$$

Daraus folgt:  $p_A - p_B = \alpha (p_B t_A - p_A t_B)$ .

Darin darf gesetzt werden  $p_A = p_B = \bar{p}_{AB}$ , also

$$p_A - p_B = \alpha \bar{p}_{AB} (t_A - t_B).$$

Damit bekommt (1) die Gestalt

$$\tan \gamma = \frac{\alpha H}{s} (t_B - t_A)$$

oder

$$\tan \gamma = 29 \Delta t^{\circ} \text{C pro Meter.} \quad \dots (2)$$

Ein horizontaler Temperaturgradient von  $0,01^{\circ} \text{C}$  pro Meter am Beobachtungsort bewirkt eine Schichtenneigung von  $\gamma \doteq 16^{\circ}$ . Diese starke Neigung wird natürlich nach oben sehr rasch abnehmen. Vereinfachend dürfen wir annehmen, es handle sich bei der gestörten Schicht um einen Keil von relativ geringer Mächtigkeit. Eine Aussage über den Dichtesprung an der Grenzfläche des Keiles zu machen, ist sehr schwierig. Für die späteren quantitativen Untersuchungen sei ein Sprung im Brechungsindex an der Obergrenze des Keiles von  $\Delta n = 2.10^{-6}$  angenommen, sicherlich keine allzu unrealistische Annahme.

#### 4. Die Wirkung der gestörten Schicht auf Sternbeobachtungen

Nun gilt es, die Wirkung eines solchen Keiles in voller Allgemeinheit zu bestimmen. In der Abbildung 1 sind die Gegebenheiten dargestellt. Es bedeutet:  $P$  = Beobachtungsort,  $N$  = brechende Fläche,  $f$  = ihre Falllinie,  $\gamma$  = Schichtenneigung,  $n_1$  = Brechungsindex oberhalb  $N$ ,  $n_0$  = Brechungsindex unterhalb  $N$  (wobei  $n_1 < n_0$ ),  $z_0$  = scheinbare (gemessene) Zenitdistanz in  $P$ ,  $Q$  = Durchstoßpunkt des Ziel-

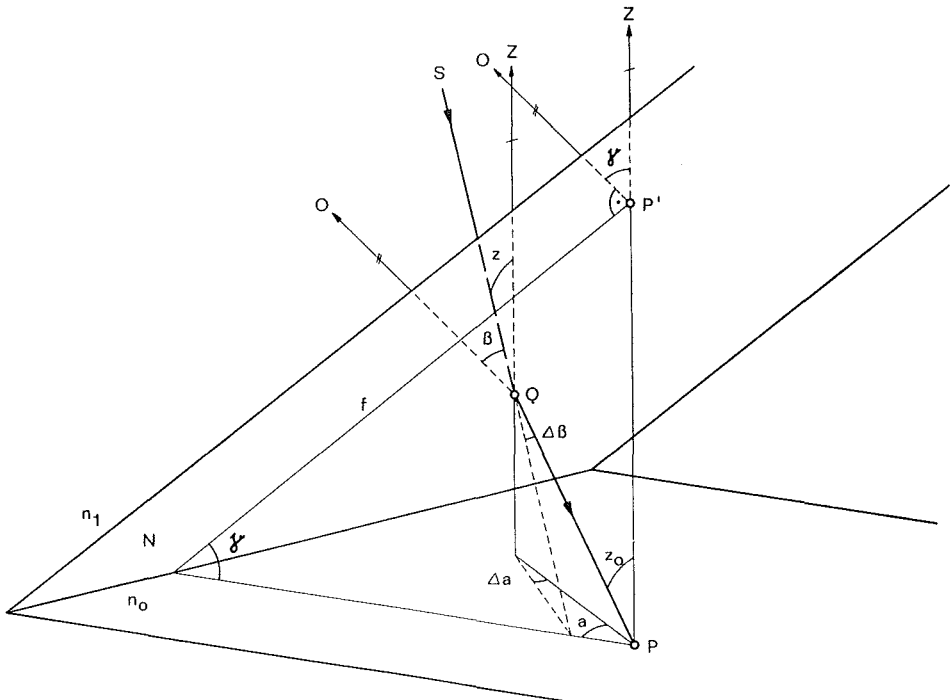


Abb. 1

strahles mit  $N$ ,  $S$  = Richtung zum Stern,  $O$  = Richtung des Lotes auf  $N$ ,  $\beta$  = Einfallswinkel des Zielstrahles gegen das Lot  $O$  (wird in der Ebene  $SQO$  gezählt),  $a$  =

Winkel zwischen Beobachtungsebene  $PZQ$  und der Richtung der Fallinie  $f$  (Ebene  $PP'O$ ),  $Z$  = Richtung zum wahren Zenit,  $P'$  = Durchstoßpunkt der Zenitrichtung mit  $N$ .

Bis  $N$  sei die Atmosphäre normal geschichtet und der vom Stern kommende Strahl erleidet nur die Normalrefraktion, die in sehr großer Annäherung durch die einfache Formel

$$R'' = (n_1 - 1) \rho'' \tan z_0 \quad \dots (3)$$

dargestellt werden kann. Jedenfalls wirkt diese Normalrefraktion ausschließlich in einer Vertikalebene. An der Fläche  $N$  wird der Strahl nun um  $\Delta\beta$  gebrochen und zwar in der Ebene  $SQO$ . Man beachte, daß die beiden Vertikalebenen  $SQZ$  und  $QPZ$  nicht zusammenfallen. Zur Berechnung von  $\Delta\beta$  sei die Ebene  $SQO$  in die Zeichenebene gelegt;  $N$  erscheint nun projizierend (Abb. 2). Es ist:

$$\frac{\sin(\beta - \Delta\beta)}{\sin\beta} = \frac{n_1}{n_0}.$$

Da  $\Delta\beta$  ein sehr kleiner Winkel ist, kann man den Sinus der Differenz in Reihe entwickeln und bekommt:

$$1 - \Delta\beta \cotg\beta = \frac{n_1}{n_0}.$$

Setzt man weiters  $n_1 = n_0 - \Delta n$  und  $n_0 = 1$ , so ist

$$\Delta\beta = \Delta n \tan\beta. \quad \dots (4)$$

Der Einfallswinkel  $\beta$  und seine Änderung  $\Delta\beta$  sind Funktionen von  $\gamma$ ,  $z$  und  $a$ . Um die Beziehung zwischen diesen Größen herzuleiten sei um  $Q$  die Richtungskugel geschlagen, wodurch ein sphärisches Dreieck gewonnen wird (Abb. 3). Der Cosinussatz gibt:

$$\cos\beta = \cos\gamma \cos z + \sin\gamma \sin z \cos a. \quad \dots (5)$$

Der Einfluß des kleinen Winkels  $\Delta\beta$  auf  $a$  und  $z$  folgt dann sofort aus den sphärischen Differentialformeln, wie man sie in jedem Lehrbuch findet. Unter Einführung des Winkels  $\epsilon$  am Stern lauten diese:

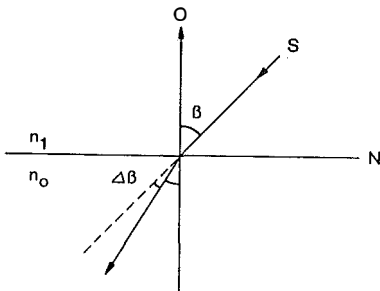


Abb. 2

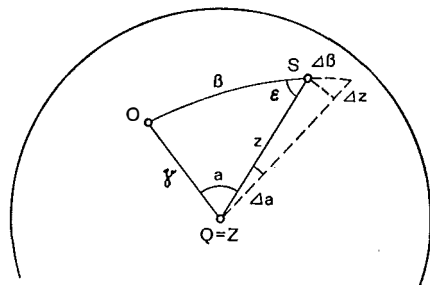


Abb. 3

$$\Delta z = \cos \varepsilon \cdot \Delta \beta; \quad \Delta \alpha = \frac{\sin \varepsilon}{\sin z} \Delta \beta. \quad \dots (6)$$

$\varepsilon$  selbst wird aus dem Sinussatz gewonnen:

$$\sin \varepsilon = \frac{\sin \alpha \sin \gamma}{\sin \beta}. \quad \dots (7)$$

Selbstverständlich darf in obigen Formeln  $z = z_0$  gesetzt werden. Man sieht sofort: nur im Falle wo man direkt in den Keil hinein- oder aus ihm herausblickt, ist  $\alpha = 0$ , daher auch  $\varepsilon = 0$  und  $\Delta \alpha = 0$ ,  $\Delta z = \max$ . In allen anderen Fällen besteht sowohl eine Vertikal- als auch eine Lateralrefraktion. Wenn  $\alpha = 0$ , reduziert sich  $\beta$  auf eine algebraische Kombination von  $z$  und  $\gamma$ , wobei 4 Fälle möglich sind!

Es ist folgendes zu beachten: bei der Ableitung der Wirkung der Schichtenneigung wurde die Normalrefraktion nur bis zur Isopykne  $n_1$  erstreckt. Betrachtet man einmal einen ungestörten Fall, also  $\gamma = 0$ , dann bleibt noch eine horizontale Platte mit dem zusätzlichen Brechungsvermögen  $\Delta n$  zu berücksichtigen, denn selbstverständlich ist dann die Normalrefraktion bis zum Boden zu erstrecken. Die Wirkung dieser Platte ist

$$\Delta z' = \Delta n \tan z. \quad \dots (4a)$$

Wenn ein Vergleich der gestörten mit der ungestörten Schicht angestellt wird, ist diese Platte zu berücksichtigen. Der eigentliche Refraktionsfehler ist dann

$$d\Delta z = \Delta z - \Delta z'.$$

Es soll nun an einigen fiktiven Beispielen von Methoden der astronomisch-geodätischen Ortsbestimmung die Wirkung eines solchen Keiles aufgezeigt werden. Es geht dabei weniger um den quantitativen Nachweis dieser Wirkung, es sollen vielmehr die Voraussetzungen erkannt werden, unter denen die Schichtenneigung wirkungslos bleibt. Allen Beispielen liegt die Annahme  $\gamma = 20^\circ$  und  $\Delta n = 2 \cdot 10^{-6}$  zugrunde.

*1. Beispiel:* Breitenbestimmung nach der Methode von Horrebow-Talcott. Es sei  $\alpha = 0$  bzw.  $180^\circ$ , die gestörte Schicht falle nach Süden. Dann ist  $\varepsilon = 0$ ,  $\beta = z \mp \gamma$ . Der Breitenwert eines jeden Sternpaares wird dann um

$$\Delta \varphi = \frac{1}{2} (d\Delta z_s - d\Delta z_n)$$

verfälscht sein. Unter den getroffenen Annahmen ist

$$\Delta z = \Delta \beta = \Delta n \tan (z \mp \gamma) = 0'', 413 \tan (z \mp \gamma)$$

$$\Delta z' = \Delta n \tan z = 0'', 413 \tan z.$$

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Man sieht, eine nach Süden fallende Schicht vergrößert das Ergebnis einer Breitenbestimmung aus Meridianzenitdistanzen (die  $\Delta \varphi$  in der Tabelle sind jene Korrekturen, die man an die Breite anbringen müßte, um sie von der Wirkung der Schichtenneigung zu befreien). Die Station liegt scheinbar weiter nördlich. Die Fehler  $\Delta \varphi$  wachsen mit der Zenitdistanz stark an. Nun beschränkt man sich gerade bei der Methode von Horrebow-Talcott auf möglichst kleine Zenitdistanzen. Vielleicht sollte man bewußt einige Sternpaare in großen

Zenitdistanzen beobachten, um so einen systematischen Gang in den einzelnen Breitenwerten sicherer feststellen zu können. Wohl ist es nicht möglich daraus den Betrag der Schichtenneigung und damit die wahre Breite zu bestimmen, aber man könnte einen bestehenden Verdacht auf Schichtenneigung erhärten.

Tabelle 1

Sternpaar $z$	$z \pm \gamma$	$\Delta z$	$\Delta z'$	$d\Delta z$	$\Delta \varphi$
0° S	-20°	-0''15	0	-0''15	-0''15
N	20	+0,15	0	+0,15	
10° S	-10	-0,07	+0''07	-0,14	-0,16
N	30	+0,24	+0,07	+0,17	
20° S	0	0,00	+0,15	-0,15	-0,18
N	40	+0,35	+0,15	+0,20	
30° S	10	+0,07	+0,24	-0,17	-0,21
N	50	+0,49	+0,24	+0,25	
40° S	20	+0,15	+0,35	-0,20	-0,28
N	60	+0,71	+0,35	+0,36	
50° S	30	+0,24	+0,49	-0,25	-0,45
N	70	+1,14	+0,49	+0,65	
60° S	40	+0,35	+0,72	-0,37	-1,00
N	80	+2,34	+0,72	+1,62	

2. Beispiel:  $\alpha = 90^\circ$ , bzw.  $270^\circ$ , Schicht falle nach Osten. Methode: Horrebow-Talcott. Hier seien nur 2 Sternpaare herausgegriffen. Die Winkel  $\beta$  und  $\epsilon$  folgen aus (5) und (7)

Tabelle 2

Sternpaar $z$	$\beta$	$\epsilon$	$\Delta\beta$	$\Delta z = \Delta z'$	$d\Delta z$	$\Delta\varphi$
20° S	28°	47°	+0''22	+0''15	0	0
N			+0,22	+0,15		
60° S	62°	23°	+0,78	+0,72	0	0
N			+0,78	+0,72		

Die Tabelle 2 bestätigt nur, was von vornherein klar war: Eine von West nach Ost verlaufende Schichtenneigung übt keinen Einfluß auf Breitenbestimmungen aus Meridianzenitdistanzen aus.

3. Beispiel: Methode der gleichen Höhen,  $z = 30^\circ$ , Schicht falle nach NO. Die in der Tabelle 3 ausgewiesenen  $d\Delta z$  bewirken Fehler in den Antrittszeiten, deren Berechnung aber hier übergangen sei. Die beachtlichen Werte wirken wie eine Lotstörung und können von dieser nicht getrennt werden.

Für jeden Stern resultiert natürlich noch ein  $\Delta\alpha$ , was für die Methode der Azimutstandlinien von Bedeutung ist.



Tabelle 3

Stern-azimut	a	$\beta$	$\epsilon$	$\Delta\beta$	$\Delta z$	$\Delta z'$	$d\Delta z$
0°	45°	20°40'	43°10'	0''15	+0''11	+0''24	-0''13
30	15	11 20	26 50	0,08	0,07		-0,17
60	15	11 20	26 50	0,08	0,07		-0,17
90	45	20 40	43 10	0,15	0,11		-0,13
120	75	30 50	40 10	0,25	0,20		-0,04
150	105	39 40	31 10	0,34	0,29		+0,05
180	135	46 10	19 30	0,43	0,41		+0,17
210	165	49 40	6 40	0,49	0,49		+0,25
240	165	49 40	6 40	0,49	0,49		+0,25
270	135	46 10	19 30	0,43	0,41		+0,17
300	105	39 40	31 10	0,34	0,29		+0,05
330	75	30 50	40 10	0,25	0,20		-0,04

4. *Beispiel:*  $\alpha = 90^\circ$ , Schicht falle nach Osten. Methode: Azimutbestimmung mit Polaris,  $z \doteq 42^\circ$ . Es folgt:  $\beta = 45^\circ 40''$ ,  $\epsilon = 28^\circ 30'$ ,  $\Delta\beta = 0''$ , 42 und

$$\Delta\alpha = +0'',30.$$

Dieses Beispiel zeigt, daß auch Azimutmessungen durch Schichtenneigungen erheblich verfälscht werden können. Übrigens unterliegt im allgemeinen auch die Methode von Embacher, bei der die Horizontalwinkel zwischen den östlichen und westlichen Digressionen von Sternen gemessen werden, dem Einfluß der Lateralrefraktion infolge von Schichtenneigungen. Die Wirkung verschwindet nur dann, wenn die beiden Digressionen symmetrisch zur Fallinie der Schicht liegen, d. h. wenn letztere in der NS-Richtung verläuft.

Hätte man bei den im 4. Beispiel angenommenen Verhältnissen eine Zeitbestimmung aus Meridianpassagen durchgeführt, dann wäre über den Azimutfehler auch ein Zeitfehler entstanden und zwar wäre der Stern (bei nach Osten fallender Schicht) zu spät beobachtet worden. Da natürlich ein enger Zusammenhang zwischen horizontalen Temperaturgradienten und den Windverhältnissen besteht, ist es nicht verwunderlich, daß eine Beziehung zwischen den Ergebnissen von Zeitbestimmungen und den Windstärken und Windrichtungen nachgewiesen wurde [4].

#### 5. *Schlußfolgerungen für die Praxis*

Es ist unmöglich aus den Beobachtungen selbst die Wirkung der Schichtenneigung abzuleiten und damit den wahren Wert der gesuchten Größe zu erhalten. Die Größe der Schichtenneigung und die Mächtigkeit der störenden Schicht aus meteorologischen Messungen zu bestimmen, dürfte ein aussichtsloses Unternehmen sein. Jedoch erscheint es durchaus möglich, aus Temperaturmessungen in der Umgebung des Instrumentes die Richtung der maximalen Neigung der Schicht, d. h. ihre Fallinie zu bestimmen. Wichtige Arbeiten in dieser Hinsicht wurden bereits von Hirsch [5] geleistet. Bei diesen Untersuchungen über die Messung von Temperaturgradienten wurden Thermistoren verwendet. Das sind winzige Thermolemente aus gesinterten Oxyden. Sie gestatten die Messung kleinster Temperaturdifferenzen mit sehr großer

Genauigkeit auf elektrischem Wege. Damit könnten Zeiten besonders starker Schichtenneigung ermittelt und vermieden werden. Unter Umständen wäre auch der Aufstellungsort des Instrumentes zu verlegen, ja selbst die Beobachtungsmethode könnte entsprechend den ermittelten Verhältnissen gewählt werden. Zum Beispiel wäre denkbar, Azimute aus Vertikalkreisdurchgängen im Vertikal der größten Schichtenneigung durchzuführen, weil dort  $\Delta\alpha = 0$  ist.

Astronomische Ortsbestimmungen sollten nicht ohne sorgfältige Bestimmung der atmosphärischen Verhältnisse ausgeführt werden. Ein etwaiger Aufwand an Zeit und Geräten erscheint im Hinblick auf die Kosten der astronomischen Arbeiten immer gerechtfertigt. Wenn es derzeit auch nicht möglich erscheint, Refraktionsanomalien direkt zu messen und zu berücksichtigen, so sollte doch für jede Beobachtungsnacht eine sorgfältige Analyse des Temperaturfeldes und der astronomischen Meßergebnisse vorgenommen werden. Dann lassen sich mit Hilfe stochastischer Hilfsmittel zumindest realistische Vertrauensbereiche für die Endergebnisse astronomischer Ortsbestimmungen angeben. Die Behandlung des Problems vom Standpunkt der Statistik sei einer späteren Arbeit vorbehalten.

#### Literatur

[1] *Bretterbauer, K.*: Refraktionsanomalien und die Genauigkeit astronomisch-geodätischer Beobachtungen. International Conference on Geodetic Measuring Technique and Instrument Problems, Vol. V, p. 15–50, Budapest, 1966.

[2] *Faust, H.*: Der Aufbau der Erdatmosphäre, Bd. 127 der Reihe: Die Wissenschaft, Braunschweig, 1968.

[3] *Ramsayer, K.*: Geodätische Astronomie, Band IIa des Handbuches der Vermessungskunde, Stuttgart, 1970.

[4] *Krüger, H.*: Die Wirkung des Windes auf ein Zeitsystem, Veröffentlichung des Geodätischen Instituts Potsdam No. 24, 1963.

[5] *Hirsch, O.*: Electrical Measurement of the Temperature Gradient at Astronomical Stations. Proceedings of the International Symposium Figure of the Earth and Refraction, Wien 1967.

#### Referat

##### „Professor-Helmert-Gedächtnisfeier“ im Rahmen der „100-Jahr-Feier“ der rheinisch-westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Im Rahmen der „100-Jahr-Feier“ der rheinisch-westfälischen Technischen Hochschule Aachen, fand unter Leitung von Prof. Dr. techn. Fritz Löschner die „Professor-Helmert-Gedächtnisfeier“ statt. An der Feier im Geodätischen Institut nahmen ca. 90 Vertreter von 5 Nationen teil. Nach der Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. E. Hektor und Prorektor Prof. Ameling sprachen die Professoren Dr. Gerke und Magnifizenz Dr. Draheim. Magnifizenz Dr. Rinner (Graz) überbrachte die Glückwünsche aller ausländischen Gäste.

Prof. Löschner gelang es, die 100-Jahr-Feier der Hochschule zum Anlaß zu nehmen, Helmert in den geschichtlichen Ablauf dieses Geschehens zu stellen, seine Bedeutung zu charakterisieren und das mathematisch-geodätische „Genie Helmert“ gebührend zu würdigen.

Im Festvortrag „Helmerts Entwicklung und Bedeutung als Lehrer der praktischen Geometrie“ kam zum Ausdruck, daß Helmert, gemessen nach internationalen Maßstäben, zu den bedeutendsten Geodäten zählt. Sein Werdegang fußt auf intensiven mathematischen und physikalischen Studien, aber auch auf praktisch-geodätischer Ingenieurausbildung, die ihm bei allem wissenschaftlichen Fortschritt nie den Zusammenhang mit der Wirklichkeit vergessen ließ.