

Österreichische Zeitschrift
für
Vermessungswesen
und
Photogrammetrie

SCHRIFTL EITUNG:

W. Hofrat i. R. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Josef Mitter

Vorstand der Abteilung Erdmessung
des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen i. R.
a. o. Professor an der Technischen Hochschule Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn.

Hans Schmid

o. Professor
an der Technischen Hochschule Wien

Dr. phil.

Wolfgang Pillewizer

o. Professor
an der Technischen Hochschule Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn.

Helmut Moritz

o. Professor
an der Technischen Hochschule Graz

Nr. 1

Ende Juli 1974

62. Jg.

INHALT:

Abhandlungen:

- Absolute und relative Genauigkeit beim Messen Cornelius Peters
Die Richtungsgenauigkeit von Pentaprismen Gerhard Brandstätter
Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab Gottfried Gerstbach
Polygonzüge mit Zwischenorientierungen Josef Zeger

Mitteilung, Buchbesprechung, Zeitschriftenschau, englisches Inhaltsverzeichnis
Mitteilungsblatt zur „Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie“
redigiert von Dipl.-Ing. Erhard Erker



Herausgegeben vom

**ÖSTERREICHISCHEN VEREIN FÜR VERMESSUNGSWESEN
UND PHOTOGRAMMETRIE**

Offizielles Organ

des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Gruppen f. Vermessungswesen) und
der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung

Baden bei Wien 1974

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie

Für die Schriftleitung der Zeitschrift bestimmte Zuschriften und Manuskripte sind an eines der nachstehenden Mitglieder zu richten:

Schriftleiter:

a. o. Professor W. Hofrat i. R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Mitter, A 1040 Wien IV, Techn. Hochschule, Gußhausstraße 27 – 29

o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hans Schmid, A 1040 Wien IV, Techn. Hochschule

o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Moritz, A 8020 Graz, Techn. Hochschule, Rechbauerstraße 12

o. Prof. Dr. phil. Wolfgang Pillewizer, A 1040 Wien IV, Techn. Hochschule

Für die Schriftleitung des Mitteilungsblattes und Annoncenteles bestimmte Zuschriften sind an Dipl.-Ing. Friedrich Blaschitz, A 1082 Wien VIII, Friedrich-Schmidt-Platz 3, zu senden.

Die Manuskripte sind in lesbarer, druckreifer Ausfertigung, die Abbildungen auf eigenen Blättern als Reinzeichnungen in schwarzer Tusche und in möglichst großem, zur photographischen Verkleinerung geeignetem Maßstab vorzulegen. Von Photographien werden Hochglanzkopien erbeten. Ist eine Rücksendung der Manuskripte nach der Drucklegung erwünscht, so ist dies ausdrücklich zu bemerken. Bei Vorlage von Rasterklischees: Umschlag 42er Raster, Text 54er Raster

Die Zeitschrift erscheint viermal jährlich in zwangloser Folge.

Auflage: 1120 Stück

Bezugsbedingungen: pro Jahr

/ Mitgliedsbeitrag für den Österr. Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie S 200,— Postscheckkonto Nr. 1190.933

Abonnementgebühr für das Inland S 210,—

Abonnementgebühr für Deutschland DM 39,—

Abonnementgebühr für das übrige Ausland S 270,— od. sfr 44,—

Einzelheft ... S 60,— Inland bzw. DM 12,— oder ö.S 85,— bzw. sfr 14,— Ausland

Alle Preise enthalten die Versandkosten, die für das Inland auch 8⁰/₀ MWSt.

Anzeigenpreis pro 1/4 Seite 125 × 205 mm S 1650,— einschl. Anzeigensteuer

Anzeigenpreis pro 1/2 Seite 125 × 100 mm S 990,— einschl. Anzeigensteuer

Anzeigenpreis pro 1/4 Seite 125 × 50 mm S 550,— einschl. Anzeigensteuer

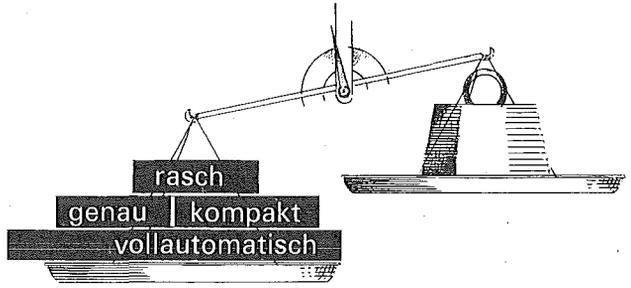
Anzeigenpreis pro 1/8 Seite 125 × 25 mm S 440,— einschl. Anzeigensteuer

Prospektbeilagen bis 4 Seiten S 990,— einschl. Anzeigensteuer
zusätzlich 16⁰/₀ MWSt.

Postscheckkonto Nr. 1190.933

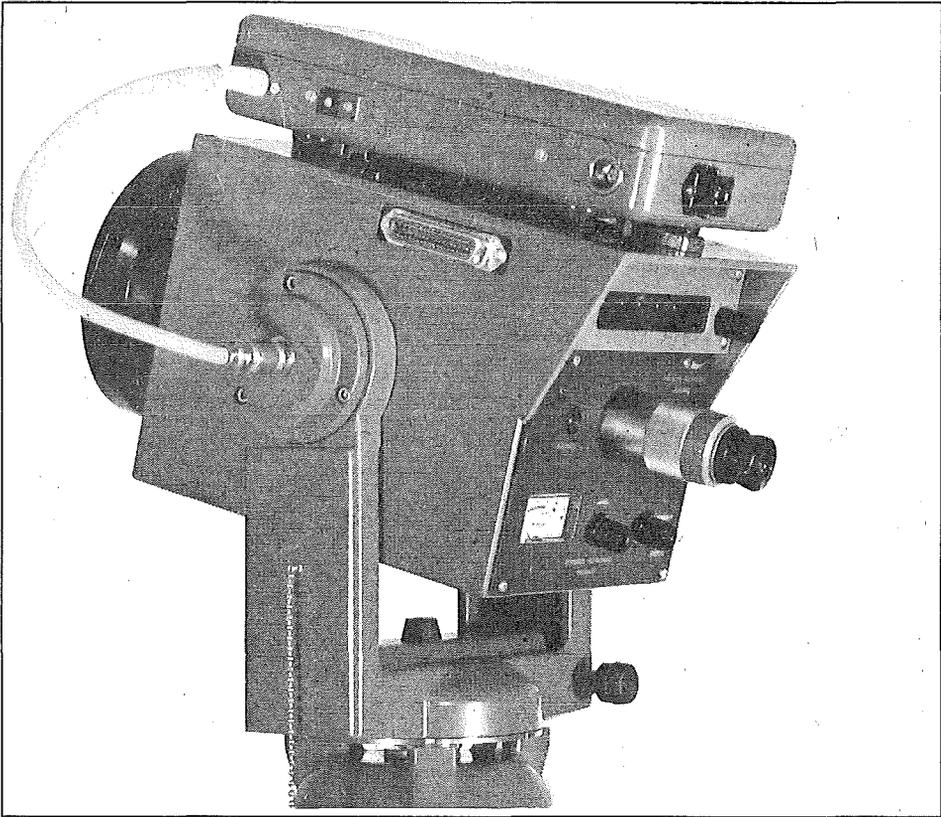
Telephon: (0222) 43 59 43

Zur Beachtung: Die Jahresabonnements laufen mit dem Kalenderjahr und gelten wie im Pressewesen allgemein üblich, automatisch um ein Jahr verlängert, sofern nicht bis zum 31. 12. des laufenden Jahres die Kündigung erfolgt.



Vorteile, die ins Gewicht fallen

Kern DM1000



DR. WILHELM ARTAKER
1031 Wien, Reisnerstraße 6
Telefon (0222) 73 15 86
Fernschreiber: 1-2322 dr-art



NEUERSCHEINUNG

Sonderheft Nr. 27
der Österreichischen Zeitschrift
für Vermessungswesen und Photogrammetrie

DIPL.-ING. DR. MONT. HANS HADMAR MEYER

Über die transalpine Ölleitung
Wien 1974

Preis S 70,— (DM 10,—)

Zu beziehen durch den Österreichischen Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Friedrich-Schmidt-Platz 3, 1082 Wien

NEUERSCHEINUNG

Sonderheft Nr. 26
der Österreichischen Zeitschrift
für Vermessungswesen und Photogrammetrie

DIPL.-ING. DR. TECHN. PETER WALDHÄUSL

Funktionale Modelle der Streifen- und Streifenblockausgleichung mit
einfachen und Spline-Polynomen für beliebiges Gelände
Wien 1973

Preis S 100,— (DM 15,—)

Zu beziehen durch den Österreichischen Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Friedrich-Schmidt-Platz 3, 1082 Wien

Digitalisieren mit Contraves Codimat*

* Das Koordinatenerfassungsgerät zur Umsetzung zwei- oder dreidimensionaler Darstellungen in digitale Form. Eine universelle und preisgünstige Anlage mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten.

Für die Eingabe von numerischen oder alphanumerischen Zusatzinformationen wird jede Anlage mit einer zweckmässigen Tastatur ausgerüstet. Die Zusammensetzung richtet sich nach der Datenorganisation.

Ihr Operator wird mit dieser beleuchteten Ausleselupe arbeiten. Das leichtgängige Führungssystem garantiert hohe Genauigkeit und müheloses Messen.

Ihr Anwendungsgebiet bestimmt den Typ des Mess-tisches. Wir fabricieren schräg-stehende und horizontale Tische, mit und ohne Beleuchtung.

Unsere Elektronik im Baukastensystem (das Herz dieser Anlage) bietet auch für Ihre Anwendung eine optimale Lösung.

Bequeme Auslesung dank der individuellen Höhenverstellung des Schrägtisches mittels Fusspedal.

Für jeden Datenträger das entsprechende Ausgabegerät: Karten oder Streifenstanzer, Magnetbandgerät, Fernschreiber oder Drucker. Auch Direktanschluss an eine Rechenanlage ist möglich.

Coupon:

Ich wünsche den Hauptprospekt KC-23
 oder den Besuch Ihres Beratungsingenieurs

Firma _____ Sachbearbeiter _____

Strasse _____ PLZ/Ort _____

Contraves AG

Schaffhauserstrasse 580
 CH - 8052 Zürich
 Telefon 01/833800

Präzis, zuverlässig, wirtschaftlich-für höchste Ansprüche

Autograph Wild A10

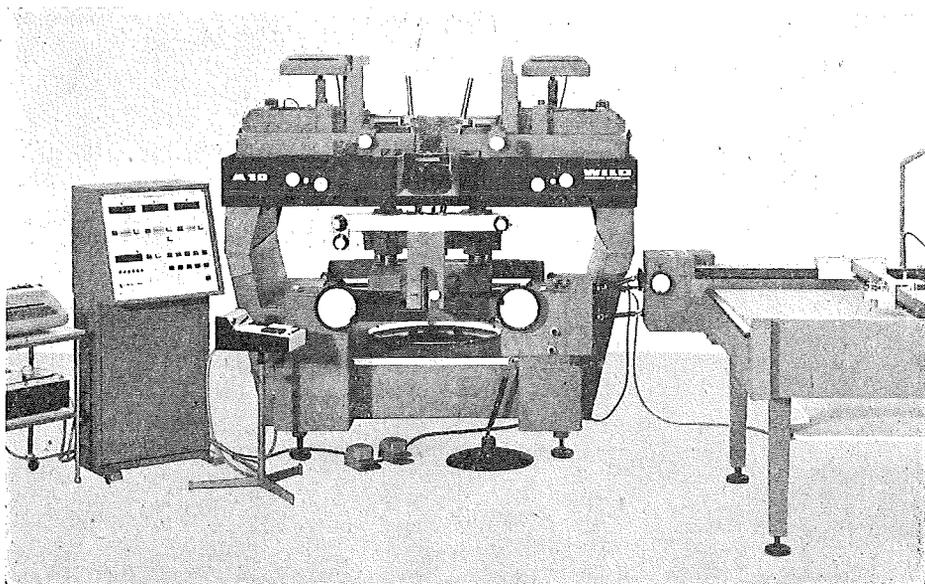
zur Kartierung in allen Masstäben und zur Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen

- Bildweiten ohne Umbau stufenlos einstellbar von 85 bis 308 mm für alle Bildformate bis 23 cm x 23 cm (9 in. x 9 in.)
- Bildpaare aller Formate und Bildwinkel mit Längsüberdeckungen von mehr als 80% auswertbar
- Feste, von den Kammerneigungen unabhängige Projektionszentren für hohe Triangulationsgenauigkeit
- Automatische Korrektur von Erdkrümmung und Refraktion für alle Modellmaßstäbe
- Stabile Bauweise mit 1000 fach bewährten Konstruktionselementen
- Hohe Justierhaltung
- Koordinatenregistrierung mit dem EK8
- Ausbaufähig

Wir senden Ihnen gerne unseren
Prospekt P1 217

Wild Heerbrugg AG,
CH - 9435 Heerbrugg,
Schweiz

WILD
HEERBRUGG



Wild Service weltweit.

Besuchen Sie unseren Stand am
Internationalen FIG-Kongreß in
Washington D.C. vom 8.-16. 9. 1974

ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR VERMESSUNGSWESEN UND PHOTOGRAMMETRIE

Herausgegeben vom
Österreichischen Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie

Offizielles Organ
des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Gruppen f. Vermessungswesen)
und der österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung

SCHRIFTFLEITUNG:

ao. Prof. W. Hofrat i. R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Mitter
o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hans Schmid
o. Prof. Dr. phil. Wolfgang Pillewizer
o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Moritz

Nr. 1

Baden bei Wien, Ende Juli 1974

62. Jg.

In eigener Sache

Die Lohnrunde im graphischen Gewerbe im Oktober 1973 endete mit einer Erhöhung der Kollektivvertragslöhne um 18 Prozent. Die daraufhin fällige Erhöhung der Druckpreise ließ nicht auf sich warten. Die Vereinsleitung des Österreichischen Vereines für Vermessungswesen und Photogrammetrie — als Herausgeber dieser Zeitschrift — sieht sich daher genötigt, mit dem Heft 1 des 62. Jahrganges (1974) beginnend, sowohl die Abonnementgebühren als auch den Preis des Einzelheftes zu erhöhen.

Ab nun gilt folgende Preisliste:

Abonnementgebühren für Österreich . . .

S 210,— einschließlich Versandspesen und 8% Umsatzsteuer

Abonnementgebühr für Deutschland . . .

DM 39,— einschließlich Versandspesen

Abonnementgebühr für das übrige Ausland . . .

S 270,— oder sfr. 44,— einschließlich Versandspesen

Einzelheft für Österreich . . .

S 60,— einschließlich Versandspesen und 8% Umsatzsteuer

Einzelheft für Deutschland . . .

DM 12,— einschließlich Versandspesen

Einzelhefte für das übrige Ausland . . .

S 85,— oder sfr. 14,— einschließlich Versandspesen

Die Vereinsleitung erhofft sich für diese unumgänglich notwendige Maßnahme das wohlwollende Verständnis der Abonnenten bzw. Bezieher von Einzelheften. Die in immer kürzerem Abstand aufeinanderfolgenden Preiserhöhungen, die meistens mitten im Jahresablauf eintreten, belasten das Budget eines Vereines, der ohne wesentliche Subventionen — außer von seiten des Verbandes der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs — nur auf die laufenden Einnahmen aus Mitgliedsbeiträgen, Abonnement- und Inseratgebühren sowie auf den Erlös des Verkaufes von Einzelheften angewiesen ist, auf das Schwerste, da die Höhe der wesentlichen der o. a. Beiträge und Gebühren gemäß den Statuten jeweils nur einmal im Jahr im Vorhinein von den zuständigen Vereinsgremien festgesetzt werden kann.

Es wird das Bestreben der Schriftleitung, die ein Teil der Vereinsleitung ist, sein, dafür zu sorgen, daß der vorgesehene Erscheinungsplan der Zeitschrift, welcher durch den kurz hintereinander erfolgten Tod zweier Hauptschriftleiter in Unordnung geraten ist, wieder eingehalten werden kann. Daß dabei das international anerkannte Niveau der Zeitschrift gewahrt bleibt, ist eine selbstverständliche Pflicht gegenüber unseren Lesern, die uns ihre Treue und Anhänglichkeit oft genug bewiesen haben.

Die Vereinsleitung

Absolute und relative Genauigkeit beim Messen

Von *Kornelius Peters*, Wien

Die vorliegende Arbeit, sie ist die erweiterte Fassung des Vortrages „Typenvergleich der Meßgenauigkeit“, gehalten am 13. Dezember 1972 an der TH Wien im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen (siehe Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 1, S. 131), geht weit über den Themenrahmen der ÖZfVWuPH hinaus. Da sie aber in der universellen Schau ihrer Betrachtungen nicht nur von der Geodäsie ausgeht, sondern auch die jeweiligen Analogien in der Geodäsie hervorhebt, erschien sie wertvoll, in unserer Zeitschrift abgedruckt zu werden, um die allgemeinen Zusammenhänge und Grenzen jeder Meßtechnik und ihre Problematik zu zeigen.

Die Schriftleitung

Einleitung

Unsere Studienrichtung ist die einzige, welche die Wortwurzel „Messen“ in ihrem Namen führt, wenn auch mit der fatalen Vorsilbe „Ver-“. Ebenso ist der Geometer der einzige Beruf, der durch das Suffix „-meter“ gekennzeichnet ist, während sonst nur Meßgeräte auf dieses Silbenpaar auslauten (Thermometer, Kalorimeter, Anemometer . . .). Dieses einseitig festgelegte Prestige hat die Wirkung einer schwer durchlässigen Membran: einerseits beginnt sich von außen her erst langsam die Erkenntnis durchzusetzen, daß wir außer den geläufigen Landmesserarbeiten auch sonst viele Messungen und vor allem die Verarbeitung dieser Daten zu sinnvollen Entscheidungsgrundlagen beherrschen, andererseits denken auch wir häufiger daran, daß auch außerhalb unseres Bereiches vorerst ideell, doch vielleicht später auch materiell interessante Meßaufgaben warten.

Es dient nicht nur das experimentelle Messen zunehmend in fast allen Wissenschaften als Bestätigung bereits gewonnener bzw. als Anstoß zur Erlangung neuer Theorien, es spielt auch das gewöhnliche Messen im täglichen Leben seit alters her eine tragende Rolle, so gab es z. B. im alten Rom schon genaue Wasserzähler. Hier soll nun untersucht werden, ob unsere außergewöhnliche Stellung in der Meßtechnik durch die Qualität und Quantität unserer Produktion gerechtfertigt ist.

In vielen Fällen wird dabei auf die Strenge der Darstellung zugunsten eines breit gestreuten Beispielfeldes verzichtet werden. Aber auch die Auswahl dieser Beispiele kann nur sehr begrenzt sein, z. B. fehlen fast alle für den Umweltschutz wichtigen Messungen (Schadstoffkonzentration, Strahlung usw.) sowie die gesamte Werkstoffprüfung.

Daß die vorliegenden Darstellungen Kritik, aber auch Anregungen hervorrufen werden, ist klar und wird dankbar erwartet. Nicht durch Literaturzitate belegte Angaben entstammen oft Auskünften von in diesem Fachbereich erfahrenen Assistentenkollegen und den besonders fruchtbaren Aussprachen mit Präsident *Eidherr* vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, mit W. Hofrat *Rotter*, dem Leiter der Gruppe Eichwesen dieses Amtes, sowie mit o. Prof. *Bretterbauer* und a. o. Prof. *Mitter*.

1. Begriffe

1.1. Genauigkeit

Unser Verhältnis zur Genauigkeit scheint auf den ersten Blick wesentlich unkomplizierter als jenes anderer Meßtechniker. Wegen der (auch im übertragenen

Sinne) horizontal großen Ausdehnung unserer Messungen haben wir Fehlertheorie und Ausgleichsrechnung so gründlich angewendet, daß diese unser Monopol zu sein scheinen. Weiters haben wir unsere Messungen so angelegt, daß wir ihre Resultate normalverteilt annehmen. Wir können daher zu jedem Wert den mittleren Fehler angeben, sei er auch noch so aufwendig abgeleitet. Unser Denken ist stochastisch, nicht deterministisch.

Doch leider teilen die wenigsten dieses Denken. Bei einem Fertigteilbau sind unsere Fehlerüberlegungen wohl zur Anlage unserer eigenen Grundlagen wichtig, doch in Wirklichkeit kommt es darauf an, ob die Elemente zusammenpassen oder nicht. Die Fläche eines Grundstückes, einziges unserer Produkte mit Verkehrswert, liegt ausdrücklich außerhalb unserer Haftung.

Eine allgemeine Abhängigkeit der Genauigkeit vom Wert der Meßgröße oder den Kosten der Messung ist nicht festzustellen, denn mit einem hölzernen Zollstock mißt man auf 1‰, mit einem Belichtungsmesser in der Photographie auf 100% genau. Mit Juwelier- und Steinbruchwaagen mißt man jeweils Millionenwerte, doch unterscheiden sich ihre relativen Genauigkeiten um mehrere Zehnerpotenzen.

Die Anzeigegenauigkeit eines Autotachometers hängt vom Reifenumfang, der Temperatur und der Geschwindigkeit selbst ab. Ersterer steigt und fällt mit dem Innendruck der Reifen via Füllung, Lufttemperatur und Erhitzung durch Geschwindigkeit. Temperatur und Geschwindigkeit wirken sich aber auch direkt über die Drehspule im Anzeigergerät aus. Meist zeigt ein Tacho bei 50 km/h ziemlich genau, überhält dann aber bis 20%. Würde man den Tachogang aus den Parametern Temperatur und Geschwindigkeit kennen, ließe sich für jede angezeigte Geschwindigkeit eine wesentlich bessere Genauigkeit erzielen, doch ist dies unrationell. Ähnliches gilt für die Korrektur von Sperrmaßen mit den Werten aus der Komparierung von Meßbändern.

Konsequent wird zwischen Instrumenten- und Verfahrensfehler unterschieden. Ist die Temperaturunruhe der Luft $\pm 0,30$, so hilft das auf $\pm 0,010$ komparierte Thermometer nichts. Bei einer durchschnittlichen Böigkeit der Windstärke von 1,7 erscheint die Windgeschwindigkeit als zackengekröntes Band auf dem Schreiber, doch interessieren nicht nur die Mittel-, sondern auch die Maximalwerte, und gerade diese genau. Diese Unbestimmtheit der Meßgröße als Fehlerquelle kennen wir z. B. bei Tachymeteraufnahmen im Schnee, Schichtenlinienauswertungen von photographischen Modellen in Gebieten mit unregelmäßigem Bewuchs usw.; in der Meßtechnik macht sie unter anderem bei Härteprüfungen zu schaffen.

Die skeptische Beziehung des Meßtechniklers zur Genauigkeit äußert sich unter anderem auch in der Verbannung dieses Wortes aus dem offiziellen Wortschatz ([6]). „Genau“ heißt nur ein Wert ohne Fehler und den kann es nicht geben. Statt dessen sollte man im Zusammenhang mit Fehlerangaben immer die Bezeichnungen „unsicher auf $\pm \dots$ “ bzw. „die relative Meßunsicherheit beträgt $\pm \dots \%$ “ verwenden.

Leider ist aber der Begriff hinter dem „ \pm “ in keiner Weise definiert. Hier herrscht wesentlich größere Verwirrung als in unserer Fachsprache.

Es können verwendet werden:

- 1.1.1 Die Standardabweichung eines gemessenen Wertes; der Vertrauensbereich des Mittelwertes, wobei 95 %, 99 % und 99,73 % möglich sind; Fehlergrenzen (vgl. 1.3).
- 1.1.2 Die Fehlergröße 1.1.1 kann abgeleitet sein aus Messungen unter „Wiederholbedingungen“ (ein Beobachter unter ein- und denselben Bedingungen, dieselbe Meßgröße mit ein- und demselben Meßgerät am selben Ort) oder unter „Vergleichbedingungen“ (verschiedene Beobachter in verschiedenen Laboratorien mit verschiedenen Meßgeräten gleicher Bauart).
- 1.1.3 Die Messungen 1.1.2 können bloß an ein- und demselben Meßgegenstand oder auch als Vergleich mit ein- und demselben Normal ausgeführt sein.

Wollen wir die Vertrauenswahrscheinlichkeit der Einfachheit halber auf 95 % beschränken, gibt es noch immer 12 Möglichkeiten, ein- und dieselbe Zifferngröße aufzufassen. Eine Verpflichtung, die näheren Umstände der Definition der Unsicherheit anzugeben, besteht in den DIN nicht.

In der Geodäsie weiß man hingegen, daß der Wert hinter dem „±“ die Standardabweichung, unter Vergleichbedingungen an einem Normal berechnet, bedeutet. Auch die „relative Meßunsicherheit“ kann zweierlei bedeuten: der Zähler ist in beiden Fällen die „absolute Meßunsicherheit“, der Nenner entweder der „richtige Wert“ oder die „Skalenlänge“; im letzteren Fall ist das Ergebnis optisch günstiger.

Der Ordnung halber sei auf die Ambivalenz des Begriffes „relativer Fehler“ in der Vermessungstechnik hingewiesen: verbreitet meint man damit den „Variationskoeffizienten“, also Standardabweichung gebrochen durch gemessenen Wert (dieser wird dem „richtigen“ gleichgesetzt). Doch die von der Niederländischen Schule eingeführte „relative Fehlerellipse“ bezeichnet keinen dimensionslosen Ausdruck, sondern ist die Standardfehlerellipse der Koordinatendifferenzen zweier benachbarter Punkte.

Da in der Meßtechnik systematische Fehler häufig nicht aufzuspüren bzw. auszuschalten sind, erweitert man manchmal das aus der Versuchsmessung ermittelte Vertrauensintervall um einen geschätzten Betrag, um dadurch die Unsicherheit eines speziellen Endergebnisses zu charakterisieren.

Wie umstritten Zahlen und Genauigkeitsangaben in der Meßtechnik sind, möge das geläufige Beispiel der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, zitiert aus vier anspruchsvoll-populären Büchern, etwa gleichen Erscheinungsdatums, belegen. (Vgl. auch 2.3.2 dieser Arbeit.)

Sie beträgt laut [6], S. 95: $(2,997\ 90 \pm 0,000\ 06) \cdot 10^8$ m/sec
 laut [43], S. 353: $(2,997\ 93 \pm 0,000\ 01) \cdot 10^8$ m/sec
 laut [26], S. 405: $(2,997\ 925 \pm 0,000\ 003) \cdot 10^8$ m/sec
 laut [13], S. 80: $(2,997\ 924 \pm 0,000\ 0015) \cdot 10^8$ m/sec

Abgesehen davon, daß die relativen Genauigkeiten zwischen $5 \cdot 10^{-7}$ und $2 \cdot 10^{-5}$, also mehrere Zehnerpotenzen differieren, sei auf die korrekte Notation durch Angabe der letzten noch sicheren Ziffer hingewiesen, welche gleichzeitig eine kurzgefaßte Unsicherheitsangabe gewährt.

Im erstgenannten Fall ist sogar die Null nicht unbedingt anzuschreiben, da ihre Unsicherheit mehr als fünf Einheiten dieser Stelle beträgt.

1.2 Einheiten

Es bürgert sich mehr und mehr ein, physikalische Gesetze nur noch in der Form von Größengleichungen zu schreiben. Dadurch treten die früher so heftig erörterten und zum Teil stark umstrittenen Einheitensysteme in den Hintergrund ([6], S. 46, 47). In [13] werden noch vier verschiedene Einheiten des Druckes und drei Einheitensysteme der Mechanik angeführt.

1954 wurden aber auf der X. Generalkonferenz für Maß und Gewicht die „SI-Einheiten“ (Système International des Unités) angenommen ([43]).

Hier gibt es sechs Basiseinheiten, welche ausschließlich durch ursprüngliche „Étalons“ (Normalmaße) definiert sind: Länge (Meter), Masse (Kilogramm), Zeit (Sekunde), elektrische Stromstärke (Ampère), Temperatur (Grad Kelvin), Lichtstärke (Candela). Die étalons sind freilich cum grano salis zu verstehen, denn derzeit ist nur mehr das Kilogramm durch ein Normalmaß gegeben, während Meter und Sekunde aus Strahlungsdaten, das Ampère aus der Permeabilität des Vakuums, das Grad Kelvin aus der willkürlichen Festsetzung des „Tripelpunktes“ des Wassers mit $+ 273^{0}16$ sowie die Candela aus Lichteigenschaften des „Schwarzstrahlers“ abgeleitet sind, sich also die restlichen fünf Basisgrößen aus physikalischen Normalmethoden bzw. -eigenschaften ergeben. Sodann kennt man *abgeleitete Einheiten*, welche sich aus den Grundeinheiten aus allgemeinen physikalischen Erfahrungen ohne spezielle Konstante oder Normen ergeben. So verwendet z. B. die Definition des Newton einen Körper von der Masse 1 kg, dem die Beschleunigung von $1 \text{ m} \cdot 1 \text{ sec}^{-2}$ erteilt wird.

Außerdem werden noch *Ergänzungseinheiten* verwendet, welche unabhängig von irgendwelchen physikalischen Konstanten oder besonderen Materialien sind. Hier sind nur die Einheiten des ebenen Winkels (Radiant) und Raumwinkels (Steradian) zu erwähnen. (Vgl. [57]). Die Darstellung von Maßen aus Natur- bzw. körperlichen Normalen wechselte im Lauf der Geschichte in steter Verzahnung. So folgte der Ableitung von Körperteilen (Elle, Fuß) die Verkörperung durch gesetzliche Normalmaße, welche streng verwahrt wurden, dann sollte das Meter direkt aus den Erddimensionen abgeleitet werden, welchem Bemühen wir die ziffernmäßige Übereinstimmung von ρ^{oc} und dem Erdradius verdanken; es folgten die Maßverkörperungen durch „Urmeter“ usw., bis jetzt wieder unveränderliche, jederzeit reproduzierbare physikalische Vorgänge den Sieg über körperliche Normale errungen haben, welche doch allzusehr der Zerstörung, Beschädigung und Veränderung ausgesetzt sind und Transportschwierigkeiten verursachen. Außer dem Gewinn an Zuverlässigkeit ist dadurch auch ein Plus an Genauigkeit zu verzeichnen:

Die früheren *Längennormale* (Urmeter und nationale Derivate) änderten ihre Länge im Bereich von etwa $1 \cdot 10^{-7}$ bis $6 \cdot 10^{-7}$; die Anschlußgenauigkeit lag im selben Bereich. Die Wellenlänge der orangefarbenen Spektrallinie des Krypton-Isotops 86 kann unter den nötigen Voraussetzungen auf 10^{-8} ihres Wertes jederzeit reproduziert werden, allerdings nur mit einer Kohärenzlänge von etwa 80 cm; mit einem Helium-Neon-Laser-Interferometer kommt man nur auf etwa $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ relative Unsicherheit, aber über wesentlich längere Strecken! ([26], [43]).

Die *Masse* des Kilogramm-Prototyps ist auf 10^{-9} ihres Wertes bekannt und kann auf 10^{-7} ihres Wertes reproduziert werden. Puristen bemängeln, daß in der Bezeichnung hier bereits mit „Kilo“ eine Vervielfachung vorliege, die nicht im Sinne einer Basiseinheit sei! Die verschiedenen abgeleiteten Prototypen schwankten im Lauf der Zeit bis etwa $7 \cdot 10^{-8}$, im Schnitt um $3 \cdot 10^{-8}$. Für den Vergleich der Massen ist die Kenntnis der Schwere nicht erforderlich, natürlich aber zur Definition des Gewichtes usw. Vergleichbar dem Meter, welches dann auch nicht „genau“ der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten wurde, ist auch das endgültige Kilogramm nicht „genau“ gleich der beabsichtigten Größe. 1 kg luftfreies, reines Wasser nimmt bei seiner größten Dichte unter atmosphärischem Normaldruck ($1,000\,028 \pm \pm 0,000\,003$) dm^3 ein, dies ist gleichzeitig die 1964 aufgegebene Definition des Liters.

Zur Realisierung der (*Zeit*-)Sekunde mit nennenswerter Genauigkeit muß ein genügend langes Ephemeridenzeitintervall (mehrere Jahre) entsprechend der Sekundendefinition geteilt werden. Auch nach der Annahme der „atomaren“ Definition der Sekunde (durch Zuordnung einer bestimmten Frequenz in Hz = Schwingungen pro *Sekunde* zur Periode des Hyperfeinstrukturüberganges zwischen $F = 4$ und $F = 3$ im Cäsiumatom) bleibt die Anzahl der Ephemeridensekunden im tropischen Jahr 1900 eine der Fundamentalkonstanten des SI-Systems ([26] S. 115, 116). Die primären Cäsium-Atomstrahl-Etalons der metrologischen Institute stimmen relativ bis auf etwa 10^{-11} überein, wenn auch die Frequenzzuordnung zur astronomischen Definition nur mit der relativen Unsicherheit von 10^{-9} möglich ist. (Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen besitzt bekanntlich seit April 1972 ein solches Cäsium-Normal).

Die abstrakte Definition der Einheit der *Stromstärke* (z. B. [43] S. 110) ist nicht ohne weiters zur Darstellung geeignet. Die Realisierung durch Kraftmessung führt im günstigsten Fall zu einer relativen Unsicherheit von 10^{-5} bei konstantem Gleichstrom, bei hochfrequenten Wechselströmen bis auf eine solche von 10^{-2} .

Die „Praktische Internationale *Temperaturskala*“ ist durch eine Anzahl fester und stets wiederholbarer Gleichgewichtstemperaturen reiner Stoffe gegeben. Nicht ohne Grund hat man den Tripelpunkt des Wassers zur Definition herangezogen: in seiner Umgebung läßt sich die Temperatur auf $\pm 10^{-4}$ Grad bestimmen. Bereits -30°C wie auch $+100^\circ\text{C}$ lassen sich nur mehr auf $\pm 10^{-3}$ Grad bestimmen und vor allem in den Hochtemperaturbereichen nimmt die Genauigkeit rasch ab ($+2000^\circ\text{C}$ auf $\pm 5^\circ$).

Die Einheit der *Lichtstärke* wird mit Hilfe eines Schwarzen Strahlers bei der Temperatur des erstarrenden Platins dargestellt. Der Anschluß an das Etalon wird mit $\pm 10^{-3}$, die Weitergabe mit $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ relativer Unsicherheit angenommen [43].

Die Schwierigkeit, eine Basiseinheit an und für sich darzustellen, wird oft durch *Korrelation* mit der nötigen Meß- und Erstellungsgenauigkeit weiterer Basisgrößen, welche auf die Etalonverkörperung oder -methode einwirken, gesteigert. So wirkt die Temperatur sehr unangenehm auf Längenmaßstäbe, weniger kritisch auf Vergleichswaagen, etwas schlimmer auf Schweremessungen mit ein und demselben Massenetalon an ein und demselben Ort (selbes g) zur Überprüfung der Massenkonstanz ein.

In der folgenden Tabelle 1 soll die gegenseitige Beeinflussung von Basisgrößen dargestellt werden, wobei nur die extremsten Werte ziffernmäßig ausgewiesen werden. Abgeleitete, wirksame Einheiten sollen durch die dort markanteste Basiseinheit symbolisiert werden, z. B. die Stromdichte $A\ m^{-2}$ durch die Stromstärke A .

Tabelle 1

Einwirkende Basisgröße	Darzustellende Basisgröße	Länge	Masse	Zeit	Stromstärke	Temperatur	Lichtstärke	Anmerkungen	
Länge	(Normalmaß)	m	$10^{-7}m$	—	—	$20^0 \pm 0.01^0$	—		
Länge	(Wellenlänge)	m	$10^{-8}m$	×	—	×	$-210^0 \pm 1^0$	—	Druck = $\pm 0,03$ atm
Masse	(Normalmaß)	kg	×	$10^{-9}kg$	—	—	×	—	Oberflächen eben
Zeit (Atomuhr)	s	×	—	$10^{-11}s$	×	×	—	—	
Stromstärke	(Kraftmessung)	A	$10m^{-7}m$	×	—	$10^{-5}A$	×	—	
Temperatur	0C	×	×	—	×	$0^0 \pm 10^0-4$	—	—	
Lichtstärke	cd	—	×	—	×	×	$10^{-3}cd$	—	Schwarzstrahlg.100% Reinheit des Platins

Mit der Unsicherheit der Realisierung der Basisgröße ist aber die innere Genauigkeit einer Messung noch nicht charakterisiert. So gibt es Längen, die man wesentlich genauer als auf 10^{-7} messen kann, wenngleich ihnen wegen der Abnahmeunsicherheit vom Urmeter (bzw. der Lichtgeschwindigkeit, vgl. 2.1.1) ein „Maßstabsfehler“ anhaftet. Andererseits werden in der Praxis niemals Massen in der Genauigkeit der Basisgröße (10^{-9}) benötigt.

1.3 Toleranzen

In der Meßtechnik ist der Begriff der „Fehlergrenzen“ wesentlich klarer umrissen als in der Vermessungstechnik; entsprechend schwierig ist es auch, Außenstehenden unsere weder statistisch noch vom Bedarf her gedeckten Toleranzvorstellungen zu erklären. Allerdings sind dort die Messungen für den täglichen Gebrauch nicht so verwickelt wie derzeit noch bei uns (Polygonzüge, Netze, Nivellementschleifen ...), sondern die Messung führt unkompliziert zum Resultat wie bei uns etwa die Polarmethode bei fest vorgegebenem, fehlerfreien Festpunktfeld oder die Bauabsteckung vom genauen Werksnetz aus usw. Man muß also nicht über komplizierte Modellvorstellungen vom Instrumenten- über den Verfahrensfehler zur Unsicherheit des Resultates gelangen. Das begriffliche Chaos, das bei uns in den Toleranzen steckt, liegt dort in den Genauigkeitsangaben und damit umgekehrt zu den Verhältnissen bei uns.

Unter 1.1.1 wurde bereits die Verwendung der 95%-, 99%-Sicherheit sowie sogar der 3σ -Grenze für die Unsicherheitsangaben in der Meßtechnik erwähnt,

wobei die letztgenannte laut [6] angeblich bei Basisgrößen und Fundamentalkonstanten verwendet wird (ich fand allerdings keine konkrete Erwähnung bei den entsprechenden Werten).

Fehlergrenzen sind streng zu unterscheiden von Meßunsicherheiten. Hier versteht man die vereinbarten oder garantierten zugelassenen äußersten Abweichungen nach oben oder nach unten von der Sollanzeige oder vom Nennmaß oder von einem sonst vorgeschriebenen Wert der Meßgröße. Zwei wichtige Sonderfälle sind die Garantiefehlergrenzen (vom Hersteller des Meßgerätes für festgelegte Bedingungen garantiert) und die Eichfehlergrenzen (größten Abweichungen, die nach der geltenden Eichordnung beim Vergleich mit einem Normal noch zulässig sind).

Die Meßunsicherheit soll laut [6] erheblich geringer sein als die Fehlergrenze, möglichst nicht größer als ein Fünftel der Toleranz.

Diese Forderung stammt daher, daß bei der „Unsicherheit“ oft nicht die systematischen Fehleranteile enthalten sind.

Garantie-Fehlergrenzen bei Vermessungsgeräten sind nicht üblich, da solche sehr einfache, normierbare Bedienung durch einen eng abgegrenzten Benutzerkreis voraussetzen oder notwendigerweise verkaufsfördernd eingesetzt werden können.

Wohl aber sind die Prospektangaben der seriösen Firmen als realistisch zu betrachten, da diese eigene kostspielige Testabteilungen unterhalten. Der Benutzerkreis wird als so sachverständig angesehen, daß er die Prospektangaben in zielführende Messungsanordnungen umsetzen kann.

1.4 *Eichen*

Unter „Eichen“ versteht man den Vergleich von im öffentlichen Verkehr befindlichen Meßgeräten mit den Normalen des Eichamtes und die Stempelung nach der eichtechnischen Prüfung. Meßgeräte, deren Richtigkeit durch ein rechtlich geschütztes Interesse gefordert wird, sind eichpflichtig, eichfähig solche, deren physikalische Grundlage und technische Ausführung die Richtigkeit und Zuverlässigkeit dieser Geräte mindestens für die Dauer der Nacheichfrist gewährleisten [41]. Wer ein eichpflichtiges Meßgerät anwendet oder bereit hält, ist dafür verantwortlich, daß das Meßgerät geeicht ist.

Eichpflichtig sind: Meßgeräte im öffentlichen Verkehr (worunter auch jene bzw. solche, die zum Messen der Länge, der Fläche oder des Raumes dienen, fallen — [41] § 8 (1); im Gesundheitswesen; im Sicherheitswesen (hier [41] § 13 (1) 4. Meßgeräte für verkehrspolizeiliche Zwecke — wenn ihre unrichtige Anzeige unmittelbar oder mittelbar eine Gefährdung von Personen oder Sachen zur Folge haben kann). Verkehrsraddargeschwindigkeitsmesser fallen nicht unter die Eichpflicht, wohl aber Personenwaagen in Bädern ... Eine Eichordnung parallel zur Vermessungsverordnung gibt es in Österreich nicht, großteils gilt die Deutsche Eichordnung [8].

Von den oben erwähnten Längen- und Flächenmeßgeräten, soweit sie im Vermessungswesen verwendet werden, sind eichpflichtig laut [8]: Meßbänder, Gliedermaßstäbe, Planimeter. Die Fehlergrenzen werden allgemein unterteilt in Eichfehlergrenzen (bei Neueichung), Nacheichfehlergrenzen (bei Wiederholung der Eichung eines bereits gebrauchten Meßzeuges), Verkehrsfehlergrenzen (die im eichpflichtigen

Verkehr zulässigen Abweichungen von der Richtigkeit). Die letztgenannten betragen meist das Doppelte der Eichfehlergrenzen, wohl wegen der rauheren Einsatzbedingungen und Unbestimmtheit der Meßgröße. Die Nacheichfehlergrenzen ergeben sich aus den aus der physikalischen Grundlage und technischen Ausführung zu erwartenden Fehlerwanderungen der Geräte.

Beispiele hierfür zeigt Abb. 1:

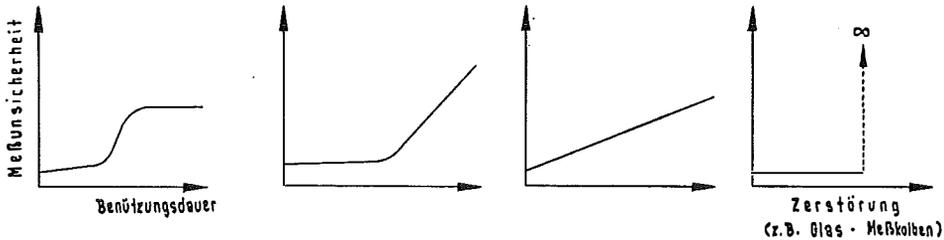


Abb. 1

Die *Eichfehlergrenzen* enthalten konsequenterweise auch Vorschriften über Nachbargenauigkeit: z. B. bei Gliedermaßstäben aus Holz für den Abstand beliebiger Metermarken gleich 10^{-3} dieses Abstandes, von Zwischenmarken vom nächsten Meter 1 mm, für den gegenseitigen Abstand zweier aufeinanderfolgender cm- und mm-Marken 0,2 mm; bei Fieberthermometern: an keiner Stelle mehr als $0,08^{\circ}$ zu viel oder $0,10^{\circ}$ zu wenig (!), der Unterschied der Fehler zweier Skalenstellen bei Abstand bis 1° darf höchstens $\pm 0,05^{\circ}$, bei mehr als 2° $\pm 0,15^{\circ}$ betragen; die *Verkehrfehlergrenze* darf aber allgemein $0,10^{\circ}$ betragen. Viele Eichvorschriften sind natürlich komplizierter als diese anschaulichen Trivialbeispiele. Oft bestehen schon Normen für die Ausgestaltung und Dimensionierung jedes Teiles des Meßzeuges, z. B. bei Meßkluppen in der Forstwirtschaft.

Zum Abschluß noch ein Zitat aus dem Eichgesetz ([41] § 42): „Fehlergrenzen dürfen nicht vorsätzlich einseitig ausgenutzt werden.“

2. Beispiele für die Messungsunsicherheit physikalischer Größen

2.1 Längen und abgeleitete Daten

2.1.1 Längen

In der Meßtechnik ist die Unterscheidung in „Längen“ und „Höhen“, wie sie in der praktischen Vermessungskunde manchmal üblich ist, nicht geläufig. Trotzdem sollen aus Gründen der Anschaulichkeit diese Begriffe manchmal getrennt werden.

2.1.1.1 Schätzen, Näherungsmaße

Längen und Längendifferenzen sind auch außerhalb der Vermessungstechnik die häufigst benötigten Größen. Es ist daher interessant, wie genau sie ohne irgend ein konkretes Hilfsmittel bestimmt werden können.

Zuerst wollen wir das absolute Schätzen betrachten, die Ergebnisse Ungeübter sind hier erstaunlich schlecht. Versuche an Soldaten und Studenten ergaben im vergangenen Jahrhundert Unsicherheiten über 30% [21]; Selbstversuche zeigten zu

meiner größten Überraschung für den Bereich von 1 mm bis 500 m kein besseres Resultat! Nur im Bereich von 1 bis 4 m, wo Körpergröße bzw. die imaginäre 4 m-Nivellierlatte als Erfahrungsnormale dienen, bewegte sich die relative Unsicherheit bei $\pm 10\%$. Viel weiter dürfte es auch ein geübter Schätzer nicht bringen.

Zu Zeiten, als zackiges Marschieren noch hoch im Kurs war, gab man die Genauigkeit des individuellen Schrittmaßes mit 3 bis 5% an [22].

Ist ein Normal zur Stelle, ist die Schätzung einfacher. Nach dem „Weber’schen Gesetz“ [18] ist pro Reiz die differentielle Unterscheidungsmöglichkeit konstant, etwa Tonhöhe 3% , Gewichte gehoben 19% , Länge von Strecken 25% ; Strecken von 40 und 41 cm können gerade noch durch Augenvergleich (ohne Nebeneinanderlegen) als kürzer bzw. länger beurteilt werden (die angegebenen Werte sind nach Übung und Erfahrung des Individuums variabel).

Die Schätzung in ein bestehendes Intervall hinein geschieht üblicherweise auf Zehntel; die Unsicherheit hängt von der Definition und Ruhe des Zeigers bzw. Intervalls, wie auch von bestimmten persönlichen Neigungen des Beobachters für Ziffern ab.

Bei einer schwankenden Tachymeterlatte $\pm 30\%$, bei der Amplitudenskala eines Kreiselhöhenwinkelmessers $\pm 3\%$ des Intervalls, dürften die Extreme der Schätzunsicherheit betragen.

Als Beispiel für besonders geschickte Anwendung der Intervallschätzung möge [12] gelten: Mit dem Feldstecher beobachtete Satellitendurchgänge zwischen Fixsternen, wobei der Satellitenort auf der Verbindungslinie der Sterne in Prozent des Abstandes zur Durchgangszeit geschätzt wird, ersetzen wesentlich aufwendigere Verfahren fast vollwertig.

2.1.1.2 Messen

Die kleinsten bekannten Längenmaße sind die Dimensionen des Atomkerns bzw. seiner Bestandteile in der Größenordnung von 10^{-15} m: Atomkern $\varnothing = 10^{-14}$ m, Kernkräfte wirken auf $3 \cdot 10^{-15}$ m, „klassischer Elektronenradius“ $1,42 \cdot 10^{-15}$ m; diese Maße wurden aber mittelbar aus Energieüberlegungen (Elektron als Kugelkondensator) gewonnen ([66] S. 488). Die genauesten Maßverkörperungen der Länge auf direktem Weg sind durch Endmaße der Stufe 00 möglich, welche ein Fehlergesetz von $\pm (5 \cdot 10^{-8} + 10^{-6} S_m)$ m angeben ([13] S. 25).

Gängige Endmaßsätze erreichen noch immer $\pm (10^{-6} + 2 \cdot 10^{-5} S_m)$ m, also noch immer die relative Genauigkeit einer DI 10-Strecke auf cm- bis Meterlänge!

Die bekannten Meßuhren liefern etwa 10^{-5} m (Relativunsicherheit ca. $2 \cdot 10^{-3}$), genaue Schiebelehren bei 10 cm Länge $\pm 0,06$ mm, 1 m auf 0,15 mm (relativ ca. $2 \cdot 10^{-4}$, vergleichbar einer Meßbandpolygonseite!)

Optische Meßzeuge verschiedenster Art erreichen eine Absolutgenauigkeit von $\pm 10^{-6}$ m, manche davon in zwei Koordinatenrichtungen („Vergleichsokulare“, [5] S. 52).

Die praktische Grenze von Komparatoren auf mechanisch-optischer Vergleichsbasis liegt bei $\pm 10^{-6}$ Relativunsicherheit, von Interferenzkomparatoren bei 10^{-7} ; die maximalen Streckenlängen liegen bei ca. 1 m bis 6 m. Diese Relativgenauigkeit entspricht unseren besten Draht-Basismessungen (bzw. Lasergeodimeterstrecken).

Durch stete Versechsfachung der Interferenzkomperator-Grundläge konnten in der Geodäsie allerdings schon Strecken bis 864 m unter größtem Aufwand auf besser als 10^{-7} gemessen werden ([5] S. 426).

Überaus große relative Genauigkeiten werden auch mit Dehnungsmeßstreifen erfaßt. Diese sprechen bereits auf Zug-Druckspannungen von 1 kp/cm^2 an, was bei Elastizitätsmoduln von 1000 t/cm^2 einer Längenänderung des beanspruchten Streifens von 10^{-6} entspricht ([13] S. 93). Langzeitmessungen sind allerdings nicht möglich.

Die bekannten geodätischen Deformationsmessungen an Staumauern erzielen ebenfalls relative Meßunsicherheiten zwischen 10^{-5} und 10^{-6} , wenn man die Ambitionen der Verfasser in ihren Veröffentlichungen in äußere Genauigkeiten übersetzt. Die Unsicherheit der häufigsten photogrammetrischen Messungen kann man als 10^{-4} ($= 0,1\%$ von *HüG*) annehmen, für die terrestrische Photogrammetrie wird die relative Unsicherheit kleiner als 10^{-3} gefordert.

Die absolute Lagegenauigkeit in unseren topographischen Karten kann man mit $0,2 \text{ mm}$ mal Maßstabszahl ansehen, wenn man von Generalisierungsfragen absieht ($\pm 10 \text{ m}$ in $1:50000$); in technischen Plänen, welche händisch matriziert wurden, dürfte die graphische Genauigkeit bei $0,3 \text{ mm}$ mal Maßstabszahl liegen (eigene Sperrmaßkontrolle). Beide Werte gelten für Nachbargenauigkeit.

Karten, erstellt mittels SLAR bzw. Remote Sensing und damit vom „Sehen und Gesehenwerden“ des Flugzeuges unabhängig, haben eine durchschnittliche Lageunsicherheit von $\pm 2 \text{ mm}$ mal Maßstabszahl.

Die Streckenfehler benachbarter Punkte liegen im günstigsten Fall zwischen 20 und 100 m bei 5000 m Flughöhe [29].

Für die Streckenmessung für Zwecke der Landesvermessung bzw. Erdmessung strebt man derzeit $\pm 5 \text{ cm}/25 \text{ km}$, d. s. $2 \cdot 10^{-6}$ an, was bei genauen meteorologischen Messungen und unseren derzeitigen Kenntnissen der Atmosphäre noch einzuhalten ist (z. B. *Mitter*).

Als Hauptaufgabe der Meeresgeodäsie gilt zur Zeit die geodätische Lagebestimmung auf dem Meer. Mit Shoran, Hiran (Linienkreuzen) und Hyperbelverfahren Hifix erzielt man Reichweiten von 200 bis 800 km , Bestwerte ca. $\pm 10^{-5}$ rel. Unsicherheit; mit weiteren Hyperbelverfahren, z. B. Omega 8000 km auf ± 1 bis 2 km ($2 \cdot 10^{-4}$), aber Nachbargenauigkeit $\pm 150 \text{ m}$ [34], mit Satellitennavigation integriert in Doppler-Sonarmethode auf hoher See $\pm 15 \text{ m}$ innere Genauigkeit.

Alle genannten Genauigkeiten sind aber der Erdmessung noch nicht voll zunutze gemacht worden. Aus nicht-geometrischen Gründen bringen die lokalen (kontinentalen) Triangulierungen ganz verschiedene Resultate. So unterscheiden sich die Ellipsoide von Bessel (1841), Hayford (1909) und Krassowsky (1939) um 96 m bzw. 237 m im Äquatorhalbmesser ($-1,6 \cdot 10^{-5}$ bzw. $-4 \cdot 10^{-5}$) und die Abplattungen um 7% bzw. 3% . Die aus den jüngsten Satellitenmessungen anfallenden Werte liegen ca. $1 \cdot 10^{-5}$ bzw. 2% bei Krassowsky. Für projektierte Weltnetze erhält man gemäß dem Standardwerk [48] folgende Genauigkeitsvoranschläge: Reine Stellartriangulierungsnetze mittlerer Punktfehler $\pm 30 \text{ m}$; reine Streckennetze mittlerer Punktfehler $\pm 0,7$ des mittleren Streckenfehlers; angeschlossene Richtungs- und Streckennetze mit bekannten Höhen der Bodenpunkte (Zielpunkte natürlich Satelliten) mittlerer Streckenfehler einer Diagonale $\pm 0,1$ des mittleren Streckenfehlers.

Als Streckenfehler a priori wurde in den praktischen Beispielen ± 10 m, als Richtungsfehler a priori $\pm 0,2''$ angenommen.

Die jüngste Instrumentenentwicklung hat indessen eine sensationelle Wendung genommen. Bereits 1966 wurden für Laser-Impuls-Entfernungsmesser Standardabweichungen von $\pm 0,6$ m auf Reichweite angegeben [30].

Dieser Voranschlag beruhte auf der mittleren Impulsdauer des Rubinlasers von 10 Nanosekunden (10^{-8} sec). Nunmehr glaubt man diesen Fehlereinfluß (der Impuls ist von stochastischer Intensität) noch um mehr als 10^{-1} drücken zu können, so daß als Streckenfehler für Messungen nach Satelliten und zu Mondreflektoren nur mehr der Einfluß der Atmosphäre von $\pm 0,15$ m übrigbleibt. (Laut *Bretterbauer* ist der Einfluß der Atmosphäre bei Zenitmessungen nach außerirdischen Zielen wie jener auf eine 8 km lange terrestrische Strecke). Mit dieser Streckengenauigkeit könnten größte Distanzen auf der Erde im Bereich von $\pm 0,40$ m, die Erddimensionen im Dezimeterbereich, genau berechnet werden [46].

Die relative Unsicherheit der Entfernung Impulslaser-Mondreflektor beträgt $4 \cdot 10^{-10}$, ist also um 10^{-3} geringer als jene von eigentlichen Maßverkörperungen der Länge! Den Nachweis von Kontinentaldriften, deren Dimensionen seit etwa 90 Jahren immer laut Berechnung gerade so nahe an den Meßmöglichkeiten liegen, daß sie nicht signifikant sind, erhofft man sich ebenfalls aus dieser Methode.

Auch andere Distanzmeßverfahren auf unkonventioneller Basis erzielen Erfolge: das früher nur zu Navigationszwecken verwendete Hyperbelverfahren kann auch in der Ingenieurvermessung zur Distanzmessung nach einer Vielzahl von Punkten berührungsfrei verwendet werden, welche nur durch ein entsprechendes elektrisches Feld signalisiert sein müssen; die relative Meßunsicherheit konnte auf $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ gesenkt werden [20].

Die Verfahren der Radioastronomie versprechen eine Genauigkeit von ± 10 cm für die Bestimmung der irdischen Entfernung der beiden Radioteleskope des Interferometers, welches die Radiostrahlung von Quasaren und interstellaren Masern auflöst. Hierfür ist eine Katalogisierung der Positionen der benutzten Himmelskörper auf $0,5''$ nötig [65]. Es sei hier betont, daß sich die zitierten Genauigkeitsangaben hauptsächlich auf a priori-Berechnungen der entsprechenden Verfasser stützen.

Vor den Laser-Messungen war die Entfernung Erde-Mond auf Grund eines dynamischen Verfahrens auf etwa $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ bekannt. Die „absoluten“ Höhen der Mondberge wurden durch stereoskopische Parallaxen der angezielten Punkte unter Zuhilfenahme der Libration des Mondes auf ± 1 bis 2 km bestimmt (Perpendikel zu $0,1''$ auf die Mondentfernung). Relative Höhen, auf 15% ihres Wertes unsicher, wurden aus Schattenlängen und parallaktischen Winkeln an der Lichtgrenze ermittelt [19].

Die Durchmesser der Gestirne im Winkelmaß wurden bei einigen relativ nahen Riesensternen interferometrisch auf etwa $\pm 0,005''$ (!) genau bestimmt, d. i. etwa 10% relative Unsicherheit des Winkelwertes. Diese Gestirne haben Größen bis zum 800fachen des Sonnendurchmessers (in Längeneinheiten).

Eine weitere Methode beruht auf der Strahlungsenergie über Vergleich der Flächenhelligkeit mit jener der Sonne.

Die Entfernungen der Sterne wurden aus den verschiedenartigsten Parallaxen berechnet. Trigonometrische Parallaxen haben als mittleren Fehler des parallaktischen Winkels bestenfalls $\pm 0,03''$ zu bieten, wobei die Extreme der Erdbahn um die Sonne der „Basislatte“ entsprechen.

Ist die „absolute Helligkeit“ aus Linienintensitätsverhältnissen des Spektrums bekannt, ist über das Gesetz der Lichtausbreitung im leeren Raum auch die Entfernung bekannt — mit jeder Zunahme des Entfernungsmoduls (scheinbare minus absolute Helligkeit) verzehnfacht sich die zugehörige Entfernung. Die Entfernungen extragalaktischer Gestirne, wie oben, nur über die Perioden-Helligkeit bestimmt, sind um mehr als 100% ihres Wertes unsicher [17].

2.1.1.3 *Abstecken*

Der inverse Vorgang zur Messung wird in der Regel als mit größerer methodischer Unsicherheit behaftet angesehen, kann aber durch Rückkopplung mit Messungen sehr genau gestaltet werden.

Die Fertigung von Serienteilen wird ähnlich gesteuert wie eine vermessungstechnische Absteckung.

Genaue Arbeiten sind hier z. B. im Schiffsbau nötig, für welchen als Fertigungstoleranz ± 1 cm in Lage und Höhe über den gesamten Aufbau gelten ($\pm 10^{-4}$).

Die geforderten und eingehaltenen Toleranzen bei Teilchenbeschleunigern waren aus Übervorsicht und mangelnder Anwendung der Fehlerrechnung seitens der Physiker anfangs utopisch, bis sich aus dem Gespräch mit dem Geodäten plausiblere Beträge ergaben [26]. Immerhin werden im Schnitt Lageunsicherheiten von $\pm 0,1$ mm gefordert, was relativ ca. 10^{-6} bedeutet und an die Einzelmessung noch bedeutendere Anforderungen als an das Resultat stellt. Die Längenmessungen erfolgten teils mit Invardrähten (teilweise CERN-Basisapparat), teils mit dem legendären Mekometer. Auch bei anderen Arbeiten im Zusammenhang mit Untersuchungen kernphysikalischer Vorgänge bildet das Zehntelmillimeter die Scheidemünze und erfordert nicht nur geometrisches, sondern auch physikalisches Einfühlungsvermögen.

2.1.1.4 *Kartierung — Digitalisierung*

Die Kartierung ist der Absteckung bzw. Fertigung (Produktion), die Digitalisierung der Aufnahme zu vergleichen.

Die Kartiergenauigkeit mit Handkoordinatographen ist durch die Teilungsgenauigkeit und Temperaturkonstanz begrenzt und liegt bei 0,2 mm absolut, maximal ca. $3 \cdot 10^{-4}$, wenn auch der Zehntelmillimeter noch verlässlich eingestellt werden kann. Diese Genauigkeit kann durch ungeeignete Zeichenträger und Reproduktion stark absinken (bis auf Werte von 10^{-2} herab bei Lichtpausen und Xeroxkopien).

Die Unsicherheit automatischer Kartiergeräte ist primär nicht viel günstiger als die manuelle, wohl aber ihre Zuverlässigkeit und die Möglichkeit, Kontinua aufzutragen.

Fräsmaschinen kommen auf $\pm 0,005$ mm, Präzisions-Kartiertische $\pm 0,01$ mm, Incrementalplotter $\pm 0,025$ bis $\pm 0,1$ mm, Elektronenstrahlplotter $\pm 0,25$ mm. Die relative Unsicherheit kann bei den zweit- und drittgenannten Geräten wegen

der Größe der behandelten Fläche als extrem klein angesehen werden (zwischen 10^{-5} und 10^{-6}) und wird von der Temperaturkonstanz und vom Zeichenträger in Bereiche von ca. 2 bis $5 \cdot 10^{-5}$ gedrängt [10].

Invers zur vermessungstechnischen Praxis ist die Digitalisierung noch nicht so extrem genau möglich. Konventionelle Digitizer sind auf $\pm 0,1$ bis $0,5$ mm unsicher, Spitzenfabrikate auf $\pm 0,04$ mm (relativ $2 \cdot 10^{-5}$!). Die oben gemachten Einwände hinsichtlich der mechanischen Fehlereinflüsse bleiben bestehen, ob es sich um Abnahme von Fahrarmen oder von der als empfindliche Matrix ausgebildeten Unterlage handelt. Beachtlich ist die Genauigkeit dreidimensionaler Digitizer, welche mit einem Meßfühler bestückt sind und z. B. im Karosseriebau der Automobilindustrie Verwendung finden. Als „Gesamtgenauigkeit“ in einer Werksmittteilung in „tb-report 2/71“ wird $\pm 0,2$ mm angegeben ($\pm 2 \cdot 10^{-5}$ relativ).

2.1.1.5 Höhen- und Tiefenmessung

Betrachtet man die Erde als Kugel, so geben Auswertungen der Laufzeit der Longitudinal-(P-)Wellen seismischer Ereignisse einen deutlichen Knick ab der Entfernung von 20° entlang des Großkreises (ca. 2200 km). Daraus schließt man mit relativ sehr geringer Unsicherheit, ca. $\pm 5\%$, auf die Existenz und Tiefe des Erdkerns in 2900 km.

In dieser Tiefe werden ein Dichtesprung und eine korrespondierende un stetige Änderung der Wellengeschwindigkeit um 40% angenommen ([62] S. 370).

Die Mohorovičić-Diskontinuität wird mit ca. 1% unsicher angenommen, echte Genauigkeitsangaben liegen aber nicht vor, da ihre Tiefe von den lokalen Verhältnissen abhängt (vgl. [17] S. 75).

Erdbebenherde lokalisiert man aus der dreidimensionalen Erfassung des Eintreffens der Primärwelle, und zwar aus dem Intensitätsverhältnis in y und x das Azimut, aus dem Depressionswinkel die Entfernung, aus der Aufeinanderfolge verschiedener Wellenzüge die Tiefe. Die beiden ersten Größen sind um ca. 10 bis 20%, die dritte bis 100% unsicher ([62] S. 229–240).

Während die Erdbebenforschung aus bekannten Modellen zunächst unbekannte Ereignisse sondiert, schließt man bei Aufschließungsseismik aus bekannten Ereignissen auf zunächst unbekannte Strukturmodelle der Tiefe. Die Aussagen sind hier eher qualitativ als quantitativ, ebenso bei der Lagerstättengravimetrie. (Dichteschwankungen ein und desselben Gesteins bereits 10%.) Sogar Probebohrungen erfordern zur Konstruktion plausibler Profile viel Erfahrung und geologische Hilfsmodelle. Geoelektrische Sondierungsverfahren halten die Mitte zwischen rein mechanischen Probebohrungen und physikalischen Fernmethoden ohne Berührung. Für die Eismächtigkeit von Gletschern wurde z. B. eine Faustformel von *Brückl* mitgeteilt, wonach sie indirekt proportional der Oberflächenneigung sei (der Proportionalitätsfaktor ist großräumig verschieden). Diese Formel sowie seismische Tiefenmessungen sind auf etwa $\pm 10\%$ unsicher. Der mittlere Fehler der Dicke der gesamten antarktischen Eisdecke wird noch mit ± 100 m ($\pm 5\%$), des erdweiten Landeises mit ± 200 m ($\pm 12\%$) angegeben [25].

Die Unsicherheit von Echolot-Tiefenmessungen beträgt je nach der Reliefenergie des Untergrundes 1% bis mehr als 10% und wird durch gleichzeitige Ver-

wendung und automatischer Verarbeitung mehrerer Frequenzen kleiner gehalten. Ultraschall-Echolotungen lassen sich im Gegensatz zu Tonloten bündeln und richten (vgl. den Trend zu kürzeren Wellen bei Mikrowellen-Distanzern). Für genaue Messungen sind nicht nur die bekannten Modelle für Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Tiefe, sondern auch Vergleichsmessungen nötig [1].

Für flächenhafte Unterwasseraufnahmen sind Zweimedienphotogrammetrie und Side Looking Sonar (Unterwasser-Remote Sensing) vorgesehen, doch liegen hier noch keine Genauigkeitsdaten vor [34].

Die absoluten Unsicherheiten der konventionellen geodätischen Höhenmeßverfahren sind bekannt; relative anzugeben, scheint auf Grund der mittelbaren Messung nicht sinnvoll. Interessant sind vielleicht die hydrostatischen (Schlauchwaagen) und hydrodynamischen Nivellements (Spiegel strömender Gewässer).

Erstere besitzen eine innere Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm je Einzelmessung (Schlauchverbindung); die äußere ist jedoch besonders von der Temperatur und mechanischen Einflüssen, wie Winddruck, nachteilig beeinflusst [56]. Schlauchwaagensysteme sind günstig zur Bauwerksüberwachung zu verwenden.

Nach komplizierten Reduktionen konnte für den Übergang über den Ärmelkanal mittels hydrodynamischen Nivellements eine Unsicherheit von ± 7 cm angegeben werden [24]. Die Genauigkeit, mit der vertikale Erdkrustenbewegungen in Europa signifikant erfaßt werden können, liegt bei sehr beachtlichen ± 1 bis 2 mm pro Jahr ([2] S. 34), $\pm 0,5$ mm/Jahr durch 50 Jahre hindurch ([2] S. 17).

Großräumige Nivellements-Widersprüche liegen trotzdem noch bei mehreren Dezimetern ([2] S. 15).

Ähnlich den „Geodolite 3“-Laserprofilrekordern, welche etwa auf $\pm 10^{-4}$ genau aus Flugzeugen kontinuierliche Aufnahmen unsignalisierter Geländeschnitte erzeugen konnten, erhofft man von der Satelliten-Altmetrie absolute Höhenunsicherheiten von ± 1 m der Distanz „Satellit — jeweiliger Lotfußpunkt“, nicht zuletzt sowohl Stützung der Satellitenbahndaten als auch Aussagen über kontinuierliche Meeresoberflächen und das Geoid ([2] S. 47). Die relative Genauigkeit dieser projektierten Messung würde an die 10^{-6} betragen.

2.1.1.6 Oberflächenprüfung

Die Oberflächenprüfung in der Meßtechnik entspricht dem Flächennivellement in der Vermessungstechnik. Im extremsten Bereich verwendet man Lichtschnittmikroskope, Abtastgeräte und Interferenz-Oberflächenprüfer; die erstgenannten im Bereich von 10^{-3} mm, das letzte noch eine Dimension genauer [13]!

Für weniger anspruchsvolle Aussagen auf größeren Flächen genügt ein Präzisions-Flächennivellement oder ein profilweises Polygonisieren mittels Autokollimationsfernrohr und Aufsatzspiegel. Bei einer Richtungsunsicherheit von $\pm 0,2''$ und 14 Polygonseiten à 20 cm erhält man als Höhengenaugigkeit eines gemessenen Punktes $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ mm ([44] S. 14).

(Fortsetzung folgt)

Die Richtungsgenauigkeit von Pentaprismen

Von *Gerhard Brandstätter, Graz*

0. Einleitung

Ingenieurgeodätische Arbeiten unter beengten Raumverhältnissen verlangen mitunter Beobachtungen mit rechtwinkelig gebrochener Ziellinie. Die Ablenkung des Strahlenganges erfolgt im allgemeinen mit Hilfe des Pentaprismas, wobei dieses entweder frei aufgestellt oder direkt vor dem Fernrohrobjektiv in Form eines Vorsatzprismas angebracht wird. Abweichungen der so erzeugten Beobachtungsrichtung von der idealen Normalrichtung werden durch Schlifffehler hervorgerufen, die als Fehler der Winkel zwischen den Prismenflächen (Prismenfehler) einerseits bzw. als Fehler des rechten Winkels zwischen diesen und der Basis des Prismas (Pyramidalfehler) andererseits auftreten. Ihr Einfluß soll im folgenden untersucht werden.

1. Brechung und Spiegelung räumlicher Richtungen

Eine räumliche Richtung

$$\mathbf{r}^T = (r_1, r_2, r_3) = (\cos a \sin z, \sin a \sin z, \cos z) \quad \dots (1.1)$$

($a \dots$ Azimut, $z \dots$ Zenitdistanz) wird bei Durchgang durch eine Trennfläche zwischen den Medien mit den Brechungsindizes n und n' zufolge

$$\mathbf{r}' = \frac{n}{n'} \left\{ \mathbf{r} - [(\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}) - \sqrt{(\mathbf{r} \cdot \mathbf{n})^2 - 1 + \left(\frac{n'}{n}\right)^2}] \mathbf{n} \right\} \quad \dots (1.2)$$

[1] abgelenkt. \mathbf{n} ist der Normalvektor der Trennfläche, \mathbf{r}' die neue Richtung. Die Spiegelung an der Fläche wird durch

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - 2(\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n} \quad \dots (1.3)$$

beschrieben.

Definiert nun ein Normalenvektor (\mathbf{n}) die Soll-Lage einer Trennfläche und $\mathbf{n} = (\mathbf{n}) + d\mathbf{n}$ deren um kleine Beträge davon abweichende Ist-Lage, dann weicht die beobachtete Richtung um

$$d\mathbf{r}' = \frac{n}{n'} \left\{ -\mathbf{r} \cdot d\mathbf{n} \left[1 - \frac{\mathbf{r} \cdot (\mathbf{n})}{\sqrt{(\mathbf{r} \cdot (\mathbf{n}))^2 - 1 + \left(\frac{n'}{n}\right)^2}} \right] (\mathbf{n}) - \left[\mathbf{r} \cdot (\mathbf{n}) - \sqrt{(\mathbf{r} \cdot (\mathbf{n}))^2 - 1 + \left(\frac{n'}{n}\right)^2} \right] d\mathbf{n} \right\} \quad \dots (1.4)$$

bei Brechung und um

$$d\mathbf{r}' = -2 [(\mathbf{r} \cdot d\mathbf{n}) (\mathbf{n}) + (\mathbf{r} \cdot (\mathbf{n})) d\mathbf{n}] \quad \dots (1.5)$$

bei Spiegelung von der idealen Richtung ab. Dieser Fehler wird an den folgenden (fehlerfreien) Flächen zufolge

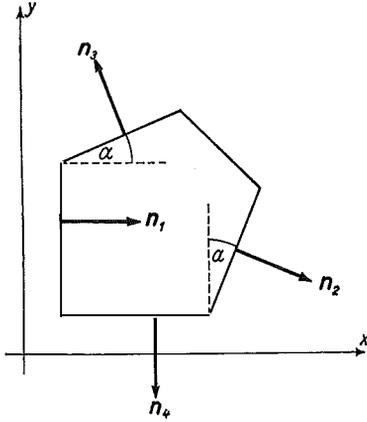
$$d\mathbf{r}' = \frac{n}{n'} \left\{ d\mathbf{r}' - d\mathbf{r} \cdot \mathbf{n} \left[1 - \frac{(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{n}}{\sqrt{((\mathbf{r}) \cdot \mathbf{n})^2 - 1 + \left(\frac{n'}{n}\right)^2}} \right] \mathbf{n} \right\} \quad \dots (1.6)$$

bei Brechung und

$$d\mathbf{r}' = d\mathbf{r} - 2 [d\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}] \mathbf{n} \quad \dots (1.7)$$

bei Spiegelung weitergegeben.

2. Das fehlerfreie Pentaprisma



Das fehlerfreie Prisma mit der Brechzahl n ist durch normal auf der $[x, y]$ -Ebene stehende Prismenflächen bzw. deren Normalvektoren (Fig. 1)

$$\begin{aligned} \mathbf{n}_1^T &= (1, 0, 0) \\ \mathbf{n}_2^T &= (\cos \alpha, -\sin \alpha, 0) \\ \mathbf{n}_3^T &= (-\sin \alpha, \cos \alpha, 0) \\ \mathbf{n}_4^T &= (0, -1, 0) \end{aligned}$$

Fig. 1

definiert ($\alpha = \frac{\pi}{8}$). Das Ergebnis der Durchrechnung ist natürlich bekannt Für die Bestimmung der Fehlereinflüsse mit Hilfe der Formeln (1.4), (1.5) und (1.6) wird jedoch der fehlerfreie Strahlengang benötigt, der deshalb in tabellarischer Form zusammengestellt sei. Dabei erhalten die Richtungen \mathbf{r} des einfallenden Strahles und \mathbf{r}' des austretenden Strahles an einer Fläche mit der Normalen \mathbf{n}_i denselben Index.

\mathbf{r}_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}
\mathbf{n}_1	1	0	0
$\mathbf{r}'_1 \equiv \mathbf{r}_2$	$\frac{1}{n} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	$\frac{1}{n} r_{12}$	$\frac{1}{n} r_{13}$
\mathbf{n}_2	$\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	0
$\mathbf{r}'_2 \equiv \mathbf{r}_3$	$\frac{1}{n} (-\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \cos 2\alpha + r_{12} \sin 2\alpha)$	$\frac{1}{n} (\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \sin 2\alpha + r_{12} \cos 2\alpha)$	$\frac{1}{n} r_{13}$
\mathbf{n}_3	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	0
$\mathbf{r}'_3 \equiv \mathbf{r}_4$	$\frac{1}{n} (-\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \cos 4\alpha + r_{12} \sin 4\alpha)$	$\frac{1}{n} (-\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \sin 4\alpha - r_{12} \cos 4\alpha)$	$\frac{1}{n} r_{13}$

bzw. wegen $4\alpha = \frac{\pi}{2}$

$\mathbf{r}_3' \equiv \mathbf{r}_4$	$\frac{1}{n} r_{12}$	$-\frac{1}{n} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	$\frac{1}{n} r_{13}$
\mathbf{n}_4	0	-1	0
\mathbf{r}_4'	r_{12}	$-r_{11}$	r_{13}

Die auf die Basis des Prismas bezogene horizontale Richtungskomponente ist also nach Verlassen des Prismas um einen rechten Winkel versetzt, die vertikale Komponente und somit die Zenitdistanz bleibt natürlich unverändert und die Richtung des austretenden Strahles ist vom Brechungsindex unabhängig.

3. Das mit Schliff Fehlern behaftete Pentaprisma

Da die Fertigung optischer Teile mit sehr hoher Präzision erfolgt, darf angenommen werden, daß die Schlifffehler sehr klein sind. Mit σ_i als Abweichung der Prismenwinkel α von den Sollwerten und τ_i als Pyramidalfehler, das ist der „Höhlenwinkel“ von \mathbf{n}_i , haben die Flächennormalen die Form

$$\begin{array}{l} \mathbf{n}_1^T = (\quad \quad \quad 1 \quad \quad \quad , \quad \quad \quad 0 \quad \quad \quad , \tau_1) \\ \mathbf{n}_2^T = (\cos \alpha - \sigma_2 \sin \alpha, -\sin \alpha - \sigma_2 \cos \alpha, \tau_2) \\ \mathbf{n}_3^T = (-\sin \alpha - \sigma_3 \cos \alpha, \cos \alpha - \sigma_3 \sin \alpha, \tau_3) \\ \mathbf{n}_4^T = (\quad \quad \quad -\sigma_4 \quad \quad \quad , \quad \quad \quad -1 \quad \quad \quad , \tau_4) \end{array} \quad \left| \quad \dots \quad (3.1) \right.$$

Hierbei wurde das der Durchrechnung zugrundeliegende Koordinatensystem so gelegt, daß seine y-Achse zur ersten optischen Fläche parallel ist und \mathbf{n}_1 dadurch keinen horizontalen Lagefehler σ_1 aufweist.

Die Einflüsse von σ_i und τ_i sind auf Grund der getroffenen Annahmen voneinander unabhängig und gestatten so die gesonderte Durchrechnung für jeden Einzelfehler in der Form, daß stets nur eine der optischen Flächen einen bestimmten Lagefehler aufweist und die Fortpflanzung ihres Einflusses bei sonst fehlerfreien Flächen mit Hilfe der Gln. (1.6) und (1.7) berechnet wird. Die Summe der resultierenden Teilabweichungen ergibt den Gesamtfehler der aus dem Prisma austretenden Richtung.

4. Pyramidalfehler

Die in (1.4) und (1.5) wegen des Pyramidalfehlers einzuführenden Abweichungen $d\mathbf{n}_i$ der Flächennormalen von der Soll-Richtung lauten:

$$d\mathbf{n}_i^T = (0, 0, \tau_i), \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

die (\mathbf{n}_i) sind, wie aus den Beziehungen (3.1) entnommen werden kann, die fehlerfreien Flächennormalen aus Abschnitt 2, die (\mathbf{r}_i) entsprechen den Richtungen des fehlerfreien Strahlenganges. Damit ergibt sich insbesondere für die Brechung an der letzten Fläche laut Beziehung (1.6) allgemein:

$d\mathbf{r}_4$	dr_{41}	dr_{42}	dr_{43}
\mathbf{n}_4	0	-1	0
(\mathbf{r}_4)	$\frac{1}{n} r_{12}$	$-\frac{1}{n} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	$\frac{1}{n} r_{13}$
$\left\{ [(\mathbf{r}_4) \cdot \mathbf{n}_4]^2 - 1 + \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} r_{11}$			
dr_4	dr_{41}	$-dr_{42} \left[1 - \frac{1}{r_{11}} \cdot \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \right]$	0
$d\mathbf{r}_4'$	$n dr_{41}$	$\frac{n}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot dr_{42}$	$n dr_{43}$

Die spezielle Durchrechnung der einzelnen fehlerhaften Strahlengänge liefert nun die im folgenden tabellarisch zusammengestellten Anteile am Richtungsfehler des austretenden Strahles.

τ_1 :

\mathbf{r}_1	r_{12}	r_{12}	r_{13}
(\mathbf{n}_1)	1	0	0
$d\mathbf{n}_1$	0	0	τ_1
$d\mathbf{r}_1'$	$-\frac{1}{n} \left[1 - \frac{r_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}} \right] \cdot r_{13} \tau_1$	0	$-\frac{1}{n} [r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}] \tau_1$

Der Strahlengang im Inneren des Prismas verursacht lediglich die orthogonale Versetzung der Horizontalkomponenten, daher

$\tau_3:$

\mathbf{r}_3	$\frac{1}{n} (-\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot$	$\frac{1}{n} (\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot$	$\frac{1}{n} r_{13}$
(\mathbf{n}_3)	$\cdot \cos 2\alpha + r_{12} \sin 2\alpha)$	$\cdot \sin 2\alpha + r_{12} \cos 2\alpha)$	0
$d\mathbf{n}_3$	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	τ_3
$d\mathbf{r}_3' \equiv d\mathbf{r}_4$	0	0	$-2 \frac{1}{n} \{ \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot$
	$2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_3 \sin \alpha$	$-2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_3 \cos \alpha$	$\cdot \sin 3\alpha + r_{12} \cos 3\alpha \} \tau_3$
$d\mathbf{r}_4'$	$2 r_{13} \tau_3 \sin \alpha$	$-2 \frac{r_{13}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \tau_3 \cos \alpha$	$-2 \{ \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot$
			$\cdot \sin 3\alpha + r_{12} \cos 3\alpha \} \tau_3$

 $\tau_4:$

\mathbf{r}_4	$\frac{1}{n} r_{12}$	$-\frac{1}{n} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	$\frac{1}{n} r_{13}$
(\mathbf{n}_4)	0	-1	0
$d\mathbf{n}_4$	0	0	τ_4
$d\mathbf{r}_4'$	0	$(1 - \frac{1}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}) r_{13} \tau_4$	$-(\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} - r_{11}) \tau_4$

$d\mathbf{r}'_3 \equiv d\mathbf{r}_4$	0	$\frac{1}{n} \left[1 - \frac{r_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}} \right] r_{13} \tau_1$	$-\frac{1}{n} [r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}] \tau_1$
$d\mathbf{r}'_4$	0	$\left[\frac{1}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} - 1 \right] r_{13} \tau_1$	$- [r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}] \tau_1$

τ_2 :

\mathbf{r}_2	$\frac{1}{n} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	$\frac{1}{n} r_{12}$	$\frac{1}{n} r_{13}$
(\mathbf{n}_2)	$\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	0
$d\mathbf{n}_2$	0	0	τ_2
$d\mathbf{r}'_2 \equiv d\mathbf{r}_3$	$-2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_2 \cos \alpha$	$2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_2 \sin \alpha$	$-\frac{2}{n} (\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \cos \alpha - r_{12} \sin \alpha) \tau_2$
\mathbf{n}_3	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	0
$d\mathbf{r}'_3 \equiv d\mathbf{r}_4$	$-2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_2 \cos 3\alpha$	$-2 \frac{1}{n} r_{13} \tau_2 \sin 3\alpha$	$-\frac{2}{n} (\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \cos \alpha - r_{12} \sin \alpha) \tau_2$
$d\mathbf{r}_4$	$-2 r_{13} \tau_2 \cos 3\alpha$	$-2 \frac{r_{13}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \tau_2 \sin 3\alpha$	$-\frac{2}{n} (\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cdot \cos \alpha - r_{12} \sin \alpha) \tau_2$

Der gesamte durch die Pyramidalfehler zustandekommende Richtungsfehler lautet demnach mit $\sin \frac{3\pi}{8} = \cos \frac{\pi}{8}$ und $\cos \frac{3\pi}{8} = \sin \frac{\pi}{8}$

$$d\mathbf{r}'_4 =$$

$$= \begin{pmatrix} 2r_{13} \sin \frac{\pi}{8} (\tau_3 - \tau_2) \\ -2 \frac{r_{13}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cos \frac{\pi}{8} (\tau_3 + \tau_2) + r_{13} \left(1 - \frac{1}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}\right) (\tau_4 - \tau_1) \\ -2 \left[\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cos \frac{\pi}{8} (\tau_3 + \tau_2) + r_{12} \sin \frac{\pi}{8} (\tau_3 - \tau_2) \right] + (r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}) (\tau_4 - \tau_1) \end{pmatrix} \dots (4.2)$$

und beeinflusst beide Richtungsparameter.

5. Prismenfehler

Die Prismenfehler werden durch die von (3.1) abzusplittenden Abweichungen

$$\begin{aligned} d\mathbf{n}_2^T &= (-\sigma_2 \sin \alpha, -\sigma_2 \cos \alpha, 0) \\ d\mathbf{n}_3^T &= (-\sigma_3 \cos \alpha, -\sigma_3 \sin \alpha, 0) \\ d\mathbf{n}_4^T &= (-\sigma_4, 0, 0) \end{aligned}$$

hervorgerufen. Ihre Auswirkung auf die Richtung des austretenden Strahles ist bekannt (Jordan-Eggert-Kneißl, Band II). Die nach demselben Schema wie im vorhergehenden Abschnitt berechneten Einzelfehler lauten

$$\text{für } \sigma_2: d\mathbf{r}_4'^T = (2\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \sigma_2, 2\frac{r_{12}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \sigma_2, 0),$$

$$\text{für } \sigma_3: d\mathbf{r}_4'^T = (2\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \sigma_3, 2\frac{r_{12}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \sigma_3, 0),$$

$$\text{für } \sigma_4: d\mathbf{r}_4'^T = ((\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} - r_{11}) \sigma_4, r_{12} \left(\frac{1}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} - 1\right) \sigma_4, 0)$$

und damit ihr Gesamteinfluß

$$d\mathbf{r}_4' = \begin{pmatrix} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} (2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - r_{11} \sigma_4 \\ \frac{r_{12}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} (2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - r_{12} \sigma_4 \\ 0 \end{pmatrix} \dots (5.1)$$

Die in Jordan-Eggert-Kneißl, Band II, Seite 145f. abgeleitete Beziehung folgt hieraus, abgesehen von Unterschieden in Bezeichnung und Vorzeichen, wegen

$$\mathbf{r}_4' = \begin{pmatrix} \cos(a_1 - \frac{\pi}{2} + da) \\ \sin(a_1 - \frac{\pi}{2} + da) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin a_1 \\ -\cos a_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos a_1 \\ \sin a_1 \\ 0 \end{pmatrix} da = (\mathbf{r}_4) + \mathbf{r}_1 da$$

und somit

$$d\mathbf{r}_4' = \mathbf{r}_1 da$$

aus der ersten oder zweiten Komponente von (5.1) mit

$$da = \sqrt{1 + (n^2 - 1) \frac{1}{r_{11}^2} (2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - \sigma_4} \quad \dots (5.2)$$

6. Diskussion der Richtungsfehler

Die Abweichungen (4.2) und (5.1) gelten für Strahlen, die in beliebiger Richtung einfallen. Steht die erste Fläche des Pentaprismas so genau normal zur Zielrichtung, daß r_{12} und r_{13} klein von erster Ordnung sind und $r_{11} \approx 1$, dann verschwinden in (4.2) die beiden Horizontalkomponenten, in (5.1) die zweite Komponente und die Einflüsse der Schlifffehler reduzieren sich auf

$$d\mathbf{r}'_4 = \begin{pmatrix} n(2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - \sigma_4 \\ 0 \\ -2n \cos \frac{\pi}{8} (\tau_3 + \tau_2) + (1 - n)(\tau_4 - \tau_1) \end{pmatrix}, \quad \dots (6.1)$$

wo die erste Komponente direkt den Azimutfehler, die dritte Komponente den Fehler der Zenitdistanz angibt. Diese Form genügt bei Verwendung von Vorsatzprismen und gilt insbesondere für frei aufgestellte Prismen, deren erste Fläche durch Autokollimation an einem aufgesprengten Spiegel zum Zielstrahl normal eingerichtet ist. Wird diese Anordnung zur Ablotung in Schächten verwendet, kann der Einfluß der Fehler durch Beobachtung in zwei diamitralen Positionen und Mittelung der beiden Lotpunkte eliminiert werden.

Ein weiterer Sonderfall ergibt sich für $r_{13} = 0$, $r_{12} \neq 0$. Der Zielstrahl trifft dann horizontal aber mit beliebigem Azimut die erste Prismenfläche und weist nach Durchgang durch das Prisma die Abweichung

$$d\mathbf{r}'_4 = \begin{pmatrix} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} (2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - r_{11} \sigma_4 \\ \frac{r_{12}}{r_{11}} \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} (2\sigma_2 + 2\sigma_3 + \sigma_4) - r_{12} \sigma_4 \\ -2 \left[\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cos \frac{\pi}{8} (\tau_3 + \tau_2) + r_{12} \sin \frac{\pi}{8} (\tau_3 - \tau_2) \right] + (r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}) (\tau_4 - \tau_1) \end{pmatrix} \quad \dots (6.2)$$

von der Sollrichtung auf. Die Pyramidalfehler wirken sich hier nur auf die Zenitdistanz aus, die Prismenfehler wirken allgemein nur im azimutalen Sinn, beide in Abhängigkeit von den Horizontalkomponenten der Einfallsrichtung. Eine Änderung des Zenitdistanzfehlers wird hier ausschließlich durch eine horizontale Drehung des Prismas erreicht.

7. Zur Prüfung von Pentaprismen

Für die quantitative Prüfung wird ein genauer rechter Winkel, in dessen Schenkeln ein Kollimator und ein auf unendlich fokussierter Theodolit stehen (Fig. 2) sowie ein Sollhorizont durch Kollimator und (horizontale) Theodolit-Zielachse benötigt. Wird im rechten Winkel ein Prisma angebracht, dann befinden sich Kollimator und Theodolit über dieses in Autokollimation und das Bild des Kollimatorfadenkreuzes

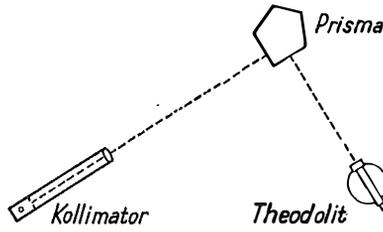


Fig. 2

in der Bildebene des Theodolitfernrohres gibt die Richtung des aus dem Prisma austretenden Strahles an. Abweichungen von der Soll-Lage können so mit Hilfe des Theodolits gemessen werden, ebenso deren Änderung bei Verdrehung des Prismas. Als Beobachtungsgleichungen für die Auswertung der Messungen dienen die Gl. (5.2) und wegen $dr_{43}' = -dz_4$ die dritte Komponente von (6.2) mit den fünf unabhängigen Parametern $x_1 = 2(\sigma_2 + \sigma_3) + \sigma_4$, $x_2 = -\sigma_4$, $x_3 = \tau_3 + \tau_2$, $x_4 = \tau_3 - \tau_2$ und $x_5 = \tau_1 - \tau_4$ (Tab. 1).

x_1	x_2	x_3
$\sqrt{1 + (n^2 - 1) \frac{1}{r_{11}^2}}$	- 1	_____
_____	_____	$2\sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2} \cos \frac{\pi}{8}$
x_4	x_5	l
_____	_____	da
$2r_{12} \sin \frac{\pi}{8}$	$r_{11} - \sqrt{r_{11}^2 - 1 + n^2}$	dz

Tab. 1

Bei der azimuthalen Komponente ist allerdings zu beachten, daß sich der Koeffizient von x_1 in Abhängigkeit vom Azimut des einfallenden Strahles nur langsam ändert und daher das Prisma so weit wie es die Fassung gestattet, aus der Ausgangslage $a = 0$ herauszudrehen ist, um x_1 und x_2 halbwegs sauber trennen zu können. Dies verbessert natürlich auch die Kondition der drei zenitalen Beobachtungsgleichungen, deren Beobachtungslagen symmetrisch zur Ausgangsrichtung anzuordnen sind.

Literatur

Flügge, J.: Leitfaden der geometrischen Optik und des Optikrechnens. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen 1956.

Jordan-Eggert-Kneißl: Handbuch der Vermessungskunde. 10. Auflage, Band II, Stuttgart 1963.

Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab

Von *Gottfried Gerstbach*, Wien

Zusammenfassung

Unter Anwendung der Methode gleicher Höhen ermöglicht ein automatisches Nivellier mit Prismenvorsatz astronomische Ortsbestimmungen, die an die Genauigkeit wesentlich größerer und schwererer Instrumente heranreichen. Mit einer leicht transportablen Ausrüstung (komplett $14\frac{1}{2}$ kg), die auch preisgünstig ist, können Breite und Länge gleichzeitig in nur $1\frac{1}{2}$ Stunden auf $0.''2$ bzw. $0.''02$ bestimmt werden; ein Pfeiler ist ebenso entbehrlich wie eine aufwendige Zeitregistrierung.

Abstract

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

1. Einleitung

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

Folgende Gerätetypen eignen sich zur Anwendung des Verfahrens:

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

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

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

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

2. Instrumentarium und Meßvorgang

Zur Erprobung des Verfahrens wurde ein automatisches Nivellier Zeiß Ni 2 mit Einstellkreis und Astrolabvorsatz verwendet. Das vor dem Objektiv angebrachte Prisma ermöglicht Beobachtungen in 60^0 Höhe und kann mit einer kleinen Libelle

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

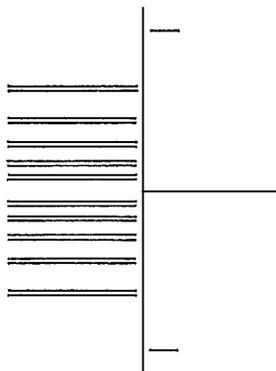


Abb. 1

Fadenkreuz des Ni₂-Astrolabs.

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

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

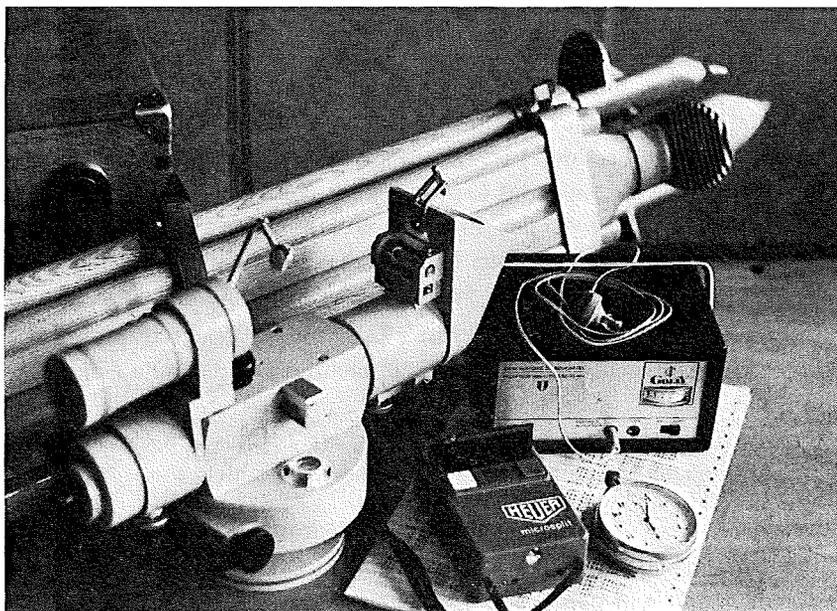


Abb. 2

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

Tabelle 1

Ausschnitt aus dem Sternprogramm

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

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

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

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

3. Auswertung der Beobachtungen

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

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

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

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

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

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

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

4. Ergebnisse und Diskussion

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

Tabelle 2
Ergebnisse der Breiten- und Längenbestimmung

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

1) Wind 20 km/h

5) Wind 35 km/h

2) Wind 15 km/h

6) Wind 10 km/h

3) 2/4 bewölkt

7) Wind 15 km/h

4) 3/4 bewölkt

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

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

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

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

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

worin der Einfluß der Polbewegung berücksichtigt ist.

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

5. Einfluß persönlicher Fehler

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Einfluß der Temperatur

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

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

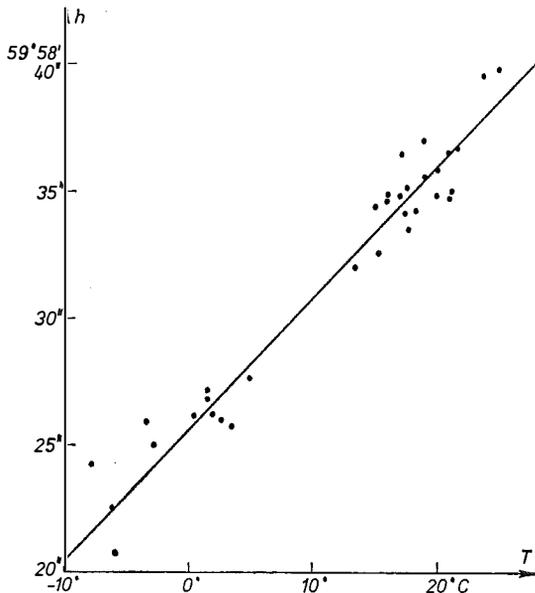


Abb. 3

Zusammenhang zwischen Beobachtungshöhe und Umgebungstemperatur

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

7. Messungen mit Sekundentheodolit

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

8. Schlußbetrachtungen

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

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

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

Literatur:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Polygonzüge mit Zwischenorientierungen

Von *Josef Zeger*, Wien

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

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

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

Zeit ein spezielles Näherungsverfahren für die Berechnung von Polygonzügen mit Zwischenorientierungen entwickelt, das sich in der praktischen Anwendung bis heute bestens bewährte.

Bei diesem Näherungsverfahren wird vorerst der Polygonzug ohne Berücksichtigung der Zwischenorientierungen durchgerechnet. Nach Aufteilung des Winkelabschlußfehlers auf die einzelnen Polygonzugsrichtungen, aber nicht auf die Orientierungsrichtungen, werden die Koordinatenabschlußfehler ermittelt und aufgeteilt. Mit den daraus entstehenden vorläufigen Koordinaten der Polygonpunkte werden die Richtungswinkel für die Zwischenorientierungsrichtungen berechnet, mit deren Hilfe die betreffenden Polygonpunkte orientiert werden. Der Gesamtzug wird orientierungsmäßig in Teilzüge zerlegt, die von den einzelnen Polygonpunkten mit Zwischenorientierungen begrenzt werden. Die in diesen Teilzügen auftretenden Winkelabschlußfehler werden in gleicher Weise aufgeteilt wie vorher der Winkelabschlußfehler des Gesamtzuges. Damit ist die Orientierung des Polygonzuges in der zweiten Durchrechnung festgelegt. Nun erfolgt eine neuerliche Berechnung und Aufteilung der Koordinatenabschlußfehler für den gesamten Zug. Mit den daraus resultierenden Koordinaten der Polygonpunkte werden wiederum die Richtungswinkel für die Zwischenorientierungsrichtungen berechnet und damit eine neue Orientierung für die betreffenden Polygonpunkte. Ergeben sich gegenüber der vorherigen Orientierung Differenzen, die eine Koordinatenänderung erwarten lassen, wird der zweite Berechnungsgang wiederholt unter Verwendung der zuletzt ermittelten Orientierung der Polygonpunkte mit Zwischenorientierungen. In der Praxis hat sich gezeigt, daß in diesem Iterationsverfahren die dritte Durchrechnung eines Polygonzuges nur selten notwendig war, in den meisten Fällen waren die ersten beiden Berechnungsgänge ausreichend.

Als dann eine elektronische Datenverarbeitungsanlage für die Rechenarbeiten der Triangulierungsabteilung zur Verfügung stand, wurde im Laufe der Zeit ein Rechenprogramm für die gemeinsame Ausgleichung von Richtungs- und Streckenmessungen entwickelt. Dieses Ausgleichungsprogramm für Triangulierungsnetze wurde auch für die Berechnung von Polygonzügen verwendet. Wird mit diesem Programm ein sogenannter Stützzug berechnet, der relativ viele Verbindungen zu den umliegenden Netzpunkten aufweist, dann gibt es im allgemeinen dabei auch keine weiteren Schwierigkeiten. Etwas anders sieht es jedoch aus, wenn mit diesem Programm ein reiner Polygonzug ausgewertet wird, noch dazu mit relativ wenig Zwischenorientierungsrichtungen. Hier erwies sich die Anwendung des Netzprogrammes in etlichen Fällen als nicht geeignet, und zwar aus den folgenden Gründen:

Naturgemäß haben im allgemeinen die Zwischenorientierungsrichtungen im Vergleich zu den Polygonzugsrichtungen wesentlich größere Zielweiten. Im Netzausgleichungsprogramm haben aber die kurzen Polygonzugsrichtungen einen viel stärkeren Einfluß auf die Berechnung der Koordinatenverschiebungen als die längeren Zwischenorientierungsrichtungen. Für die Netzausgleichung ist es notwendig und auch verständlich, daß die kurzen Richtungen gegenüber den weiteren Richtungen mehr Einfluß haben. Bei einem Polygonzug verlieren aber durch diese Erscheinung die Zwischenorientierungsrichtungen ihre wesentliche Funktion, nämlich die

Orientierung des Zuges zu verbessern, da sie von den im allgemeinen wesentlich kürzeren Polygonzugsrichtungen nach deren Belieben verdrückt werden. Dies äußert sich dann darin, daß die Zwischenorientierungsrichtungen nach durchgeführter Ausgleichung vollständig ungerechtfertigt unverhältnismäßig große Verbesserungen erhalten und daß koordinatenmäßig kaum ein Unterschied auftritt, ob man nun die Zwischenorientierungen in die Ausgleichung einbezieht oder nicht. Dies steht aber ganz im Gegensatz zu dem Einfluß der Zwischenorientierungen bei der Näherungsausgleichung und auch im Gegensatz zu dem Zweck, den man mit der Messung dieser Richtungen verfolgt.

Da die Anwendung des Netzprogrammes auf die Polygonzugsberechnung in verschiedenen Fällen nicht voll befriedigte, suchte man nach einer Möglichkeit der Abhilfe. So wurde z. B. versucht, zur Erlangung eines größeren Einflusses der Zwischenorientierungsrichtungen diese in der Vorschreibung für die elektronische Berechnung nicht nur einmal, sondern unter Verwendung verschiedener Kennziffern mehrmals einzutragen. Es ergab sich dadurch wohl eine leichte Verbesserung, aber eigentlich war der Erfolg dieser Maßnahme enttäuschend. Für die Zeit bis zur Erstellung eines eigenen Programmes für die Berechnung von Polygonzügen wurde nun insofern ein Kompromiß geschlossen, daß solche Polygonzüge, bei denen praktisch nichts passieren kann, auch weiterhin mit dem Netzprogramm berechnet werden können, trotz der nicht ganz befriedigenden Ergebnisse, daß aber etwas heikle Züge mit der Tischrechenmaschine nach der Näherungsmethode zu berechnen sind. So wurde z. B. der überwiegende Teil der Polygonzüge, die der Festpunktbestimmung in Wien dienten, nach der Näherungsmethode ausgewertet.

Da nun in absehbarer Zeit für die Berechnungen der Triangulierungsabteilung das neu entstehende Bundesrechenzentrum zur Verfügung stehen wird, wurde versucht, eine befriedigende Lösung für die elektronische Berechnung von Polygonzügen mit Zwischenorientierungen zu finden.

Eine Möglichkeit, die Diskrepanz zwischen den im allgemeinen vergleichsweise kurzen Polygonzugsrichtungen und den langen Orientierungsrichtungen auf den Zugsendpunkten zu beseitigen, ist relativ leicht gegeben. Dazu braucht man nur die von den Zugsendpunkten ausgehenden Polygonzugsrichtungen fest orientiert in die Ausgleichung einzubeziehen, wie ja auch aus verschiedenen Gründen für das neu zu erstellende Netzausgleichungsprogramm die Möglichkeit zu schaffen wäre, auf gegebenen Punkten die Orientierung wahlweise fest oder offen in die Ausgleichung einbeziehen zu können.

Für die Neupunkte läßt sich hingegen keine feste Orientierung erreichen, die durch die Zwischenorientierungsrichtungen erzeugt würde, da ja erst durch die Ausgleichung die endgültige Orientierung der Neupunktsstandpunkte ermittelt wird. Es läßt sich also bei den Polygonpunkten am Prinzip der offenen Orientierung nicht rütteln. Die Möglichkeit, die Zwischenorientierungsrichtungen mehrfach in die Ausgleichung einzuführen, hat auch keine befriedigenden Ergebnisse gebracht, wie bereits erwähnt wurde. Eine Programmierung der Näherungsausgleichung kann auch nur für einfache Polygonzüge ohne übergreifende Richtungen und Strecken oder sonstige zusätzliche Messungen, wie sie im allgemeinen Fall auftreten können, erfolgen.

Es wurde nun versucht, die einzelnen Richtungen mit verschiedenem Gewicht in die Ausgleichung einzubeziehen. Bei der Berechnung der gemittelten Orientierungsgröße der einzelnen Standpunkte wurde jeder einzelnen Orientierungsgröße ein der zugehörigen Seitenlänge proportionales Gewicht erteilt, ebenso auch der Fehlergleichung jeder gemessenen Richtung. Dieser Versuch führte nun zu voll und ganz befriedigenden Ergebnissen. Selbstverständlich läßt sich diese Art der Gewichtsfestsetzung nicht so ohne weiteres fehlertheoretisch untermauern, denn es ist in Weiterführung des Gedankens, die Zwischenorientierungsrichtungen mehrfach in die Ausgleichung einzuführen, gewissermaßen eine empirisch modifizierte Ausgleichungsmethode, welche gewährleisten soll, daß bei der Ausgleichung eines Polygonzuges die so überaus wichtigen Zwischenorientierungsrichtungen ihre Orientierungsfunktion auch tatsächlich ausüben können. Wohl aber gibt es für diese Art der Gewichtswahl eine Begründung.

Bekanntlich ist einer der gefährlichsten Einflüsse bei Polygonzügen der Zentrierungsfehler, der sich, im Winkelmaß ausgedrückt, bei einer kurzen Polygonseite wesentlich mehr auswirkt als bei einer langen Polygonseite. Dies ist ja auch einer der Gründe, daß man sich bemüht, bei kurzen Polygonseiten vor oder nach langen Seiten nach Möglichkeit Zwischenorientierungsrichtungen zu messen, um den Einfluß der Zentrierungsfehler auf die Zugsorientierung weitgehend unschädlich zu machen. Diesem Wollen steht aber bei der normalen Netzausgleichung der gewichtigere Einfluß der kurzen Richtungen entgegen. Ein Zentrierungsfehler bestimmter Größe bewirkt bei einer kurzen Polygonseite eine Verschwenkung des Polygonzuges um mehr Sekunden als bei einer langen Polygonseite, seine Auswirkung ist proportional der Seitenlänge. Dieser Tatsache kann nun dadurch entgegengewirkt werden, daß jeder Richtung ein Gewicht proportional der Seitenlänge zugeordnet wird.

Abgesehen davon, daß durch diese Gewichtsfestsetzung die Zwischenorientierungsrichtungen, die ja im allgemeinen gegenüber den Polygonzugsrichtungen eine um ein Vielfaches größere Zielweite haben, ihrer Orientierungsfunktion genügen können, wird dadurch auch erreicht, daß sich eventuell vorhandene Zentrierungsfehler auf die Koordinatenberechnung der einzelnen Polygonpunkte gleich, d. h. unabhängig von der Länge der Polygonseite auswirken, wodurch die Gefahr einer Ausbiegung des Polygonzuges vermindert wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Anwendung des normalen Netzprogrammes auf die Polygonzugsberechnung, wie Versuchsberechnungen eindeutig gezeigt haben, durch die stärkere Auswirkung eines Zentrierungsfehlers auf kurze Polygonseiten, die auf die zu berechnenden Koordinatenverschiebungen den größeren Einfluß haben, der Polygonzug stärker ausgebogen, wodurch eben die Quadratsumme der übrig bleibenden Verbesserungen ein Minimum werden kann.

Nochmals zusammengefaßt bietet also die Maßnahme, daß jeder in einem Polygonzug gemessenen Richtung ein Gewicht zugeordnet wird, das der zugehörigen Seitenlänge proportional ist, einerseits eine Gewähr dafür, daß die gemessenen Zwischenorientierungsrichtungen ihre Orientierungsfunktion erfüllen können, während sie andererseits bewirkt, daß eventuell vorhandene Zentrierungsfehler sich unabhängig von der Länge der Polygonseiten gleichmäßig für alle Polygonpunkte

auf die Koordinatenberechnung auswirken und nicht wie sonst durch kurze Polygonseiten in ihrer Wirkung verstärkt werden. Das Ergebnis ist dabei eine bessere Zugsorientierung und eine geringere Ausbiegung des Zuges.

Aus diesen Gedankengängen ergab sich die nachstehende Modifizierung der Netzausgleichung für die Polygonzugsberechnung. Die gemessenen Richtungen und Strecken sind in die Ausgleichung mit folgenden Gewichten einzuführen:

$$p_R = \frac{C}{m_R^2} \quad \dots (1)$$

$$p_S = \frac{C}{m_S^2} \quad \dots (2)$$

Die Konstante C wird mit

$$C = 1 \quad \dots (3)$$

angenommen. Um nun ein der Seitenlänge proportionales Richtungsgewicht zu erhalten, wird der Richtungsfehler m_R ersetzt durch

$$m_R = \frac{\bar{m}_R}{\sqrt{S_{i,k}(km)}} \quad \dots (4)$$

Dadurch erhalten die Gleichungen (1) und (2) folgende Form:

$$p_R = \frac{S_{i,k}(km)}{\bar{m}_R^2} \quad \dots (5)$$

$$p_S = \frac{1}{m_S^2} \quad \dots (6)$$

Die Richtungsmessungen auf den Zugsendpunkten werden wie die Neupunkte (= Polygonpunkte) offen orientiert. Die mittlere Orientierungsgröße jedes Standpunktes wird unter Verwendung des durch Gleichung (5) definierten Gewichtes als Gewichtsmittel errechnet:

$$o_{l(\text{Mittel})} = \frac{[p_{R_{i,k}} \cdot o_{i,k}]}{[p_{R_{i,k}}]} \quad \dots (7)$$

Für jeden Standpunkt mit offener Orientierung ist die in den Fehlergleichungen (8) der Richtungen enthaltene Orientierungsunbekannte do_i zu eliminieren.

$$v_{i,k} = a_{i,k} \cdot dx_i + b_{i,k} \cdot dy_i - a_{i,k} \cdot dx_k - b_{i,k} \cdot dy_k + w_{i,k} - do_i \quad \dots (8)$$

$$w_{i,k} = v_{i,k} - R^0_{i,k} \quad \dots (9)$$

$$R^0_{i,k} = R^e_{i,k} + o_{l(\text{Mittel})} \quad \dots (9a)$$

Für die Eliminierung der Orientierungsunbekannten ist jede einzelne Fehlergleichung (8) eines Standpunktes mit dem durch Gleichung (5) definierten Richtungsgewicht p_R zu multiplizieren. Anschließend ist für den Standpunkt die Summengleichung zu bilden:

$$0 = [p_{R_{i,k}} \cdot v_{i,k}] = - [p_{R_{i,k}}] \cdot do_i + [p_{R_{i,k}} \cdot a_{i,k}] \cdot dx_i + [p_{R_{i,k}} \cdot b_{i,k}] \cdot dy_i - [p_{R_{i,k}} \cdot a_{i,k}] \cdot dx_k - [p_{R_{i,k}} \cdot b_{i,k}] \cdot dy_k + \dots + [p_{R_{i,k}} \cdot w_{i,k}] \quad \dots (10)$$

Aus dieser Summengleichung (10) kann die Orientierungsunbekannte do_i berechnet werden:

$$dO_i = \frac{1}{[p_{R_i,k}]} \cdot ([p_{R_i,k} \cdot a_{i,k}] \cdot dx_i + [p_{R_i,k} \cdot b_{i,k}] \cdot dy_i - [p_{R_i,k} \cdot a_{i,k}] \cdot dx_k - [p_{R_i,k} \cdot b_{i,k}] \cdot dy_k + \dots + [p_{R_i,k} \cdot w_{i,k}]) \dots (11)$$

Nun können standpunktweise die reduzierten Fehlergleichungskoeffizienten berechnet werden:

$$\left. \begin{aligned} A_{i,k} &= a_{i,k} - \frac{[p_{R_i,k} \cdot a_{i,k}]}{p_{R_i,k}} \\ B_{i,k} &= b_{i,k} - \frac{[p_{R_i,k} \cdot b_{i,k}]}{p_{R_i,k}} \\ W_{i,k} &= w_{i,k} - \frac{[p_{R_i,k} \cdot w_{i,k}]}{p_{R_i,k}} \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

Die reduzierten Fehlergleichungen lauten dann:

$$v_{i,k} = A_{i,k} \cdot dx_i + B_{i,k} \cdot dy_i - A_{i,k} \cdot dx_k - B_{i,k} \cdot dy_k + W_{i,k} \dots (13)$$

Für die Berechnung der Normalgleichungskoeffizienten sind die durch (13) gegebenen Fehlergleichungen der Richtungen mit der Wurzel aus Gleichung (5) zu multiplizieren. Analog sind die Fehlergleichungen (14) der Strecken mit der Wurzel aus Gleichung (6) zu multiplizieren.

$$v_{i,k} = \bar{a}_{i,k} \cdot dx_i + \bar{b}_{i,k} \cdot dy_i - \bar{a}_{i,k} \cdot dx_k - \bar{b}_{i,k} \cdot dy_k - s_{i,k} \cdot k + \bar{w}_{i,k} \dots (14)$$

$$\bar{w}_{i,k} = s_{i,k}(\text{Koord.}) - s_{i,k}(\text{Messung}) \dots (15)$$

Testbeispiel: Zusammenstellung der Ausgleichsergebnisse

Von	Nach	Verbnetzte Richtung R ^e	Übrigbleibende Verbesserungen aus Ausgleichung			S(km)
			(a)	(b)	(c)	
A	C	0 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	+ 11,8 ^{cc}	+ 12,3 ^{cc}	+ 1,9 ^{cc}	5,0
		100 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	- 11,7 ^{cc}	- 12,3 ^{cc}	- 4,9 ^{cc}	2,0
PP 1	A	300 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	- 0,2 ^{cc}	+ 10,5 ^{cc}	- 0,1 ^{cc}	2,0
		0 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	+ 0,2 ^{cc}	- 10,5 ^{cc}	+ 0,5 ^{cc}	0,2
PP 2	D	0 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	+ 22,0 ^{cc}	-	+ 1,1 ^{cc}	9,8
		200 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	- 0,7 ^{cc}	+ 9,8 ^{cc}	- 4,6 ^{cc}	0,2
		100 ^g 01 ^c 00,0 ^{cc}	- 21,2 ^{cc}	- 9,8 ^{cc}	- 49,6 ^{cc}	0,2
PP 3	PP 2	300 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	+ 20,0 ^{cc}	+ 9,6 ^{cc}	+ 44,8 ^{cc}	0,2
		100 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	- 20,1 ^{cc}	- 9,7 ^{cc}	- 4,5 ^{cc}	2,0
B	E	100 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	- 8,2 ^{cc}	- 7,8 ^{cc}	+ 0,1 ^{cc}	5,0
		300 ^g 00 ^c 00,0 ^{cc}	+ 8,1 ^{cc}	+ 7,7 ^{cc}	- 0,4 ^{cc}	2,0
		Gemessene Strecke				
A	PP 1	2 000,020 m	- 7 mm	- 9 mm	- 11 mm	
PP 1	PP 2	199,980 m	+ 15 mm	+ 2 mm	+ 12 mm	
PP 2	PP 3	200,000 m	- 13 mm	- 9 mm	- 14 mm	
PP 3	B	2 000,020 m	- 13 mm	- 9 mm	- 14 mm	

Punkt		Koordinatenänderungen aus Ausgleichung		
		(a)	(b)	(c)
PP 1	dx	+ 74 mm	+ 77 mm	+ 21 mm
	dy	+ 13 mm	+ 11 mm	+ 9 mm
PP 2	dx	+ 69 mm	+ 60 mm	+ 14 mm
	dy	+ 6 mm	- 3 mm	+ 7 mm
PP 3	dx	+ 51 mm	+ 49 mm	- 2 mm
	dy	- 7 mm	- 11 mm	- 6 mm

Ausgleichung (a): Netzausgleichung mit Verwendung der Zwischenorientierung in PP 2;

Ausgleichung (b): Netzausgleichung ohne Zwischenorientierung in PP 2;

Ausgleichung (c): Ausgleichung unter Verwendung von Richtungsgewichten proportional der Seitenlänge.

$$\bar{m} = \pm 10^{\text{cc}}; \quad m = \pm 0,02 \text{ m}$$

Die Normalgleichungen sind anschließend in der üblichen Art und Weise aufzulösen. Die im Anschluß an die Auflösung der Normalgleichungen üblichen Fehlerberechnungen stoßen hier allerdings infolge der Art der Gewichtsannahme auf Schwierigkeiten.

Die bisher mit dieser Berechnungsmethode durchgeführten Versuche haben voll zufriedenstellende Ergebnisse geliefert. Bei dem in Abb. 1 gezeigten Testbeispiel, dessen Ausgleichungsergebnisse in einer Tabelle zusammengestellt sind, wurde die Polygonzugsrichtung von PP 2 nach PP 3 um eine Neuminute verändert. Bei der Anwendung der normalen Netzberechnung auf diesen Polygonzug verschwand diese Minute im Polygonzug, wobei die Koordinaten der Polygonpunkte um einige Zentimeter in der Richtung quer zum Zug verfälscht wurden. Hierbei zeigte sich ganz deutlich, daß die Zwischenorientierungsrichtung von PP 2 nach D auf die Koordinatenberechnung praktisch keinen Einfluß ausübt. Sie ist aber auch nicht in der Lage, den Minutenfehler aufzudecken. Man erkennt hier auch, daß diese Zwischenorientierungsrichtung vollständig ungerechtfertigt eine Verbesserung von 22^{cc} erhält. Im Gegensatz dazu wurde bei der Anwendung von Richtungsgewichten proportional der Seitenlänge auf den Minutenfehler durch eine verbleibende Verbesserung von rund 50^{cc} hingewiesen, während die Koordinatenänderungen nur

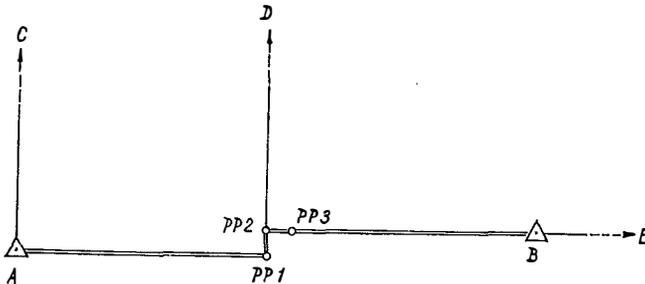


Abb. 1

bis etwas über 2 cm betragen (siehe Abb. 2). Weiters zeigten bei diesem Beispiel und auch bei den anderen Versuchen die Verbesserungen der Orientierungsrichtungen an den Zugsendpunkten ebenso wie die der Zwischenorientierungsrichtungen der Polygonpunkte, daß diese Richtungen nunmehr, im Gegensatz zu den früheren Erfahrungen, ihre Orientierungsfunktion voll und ganz erfüllen.

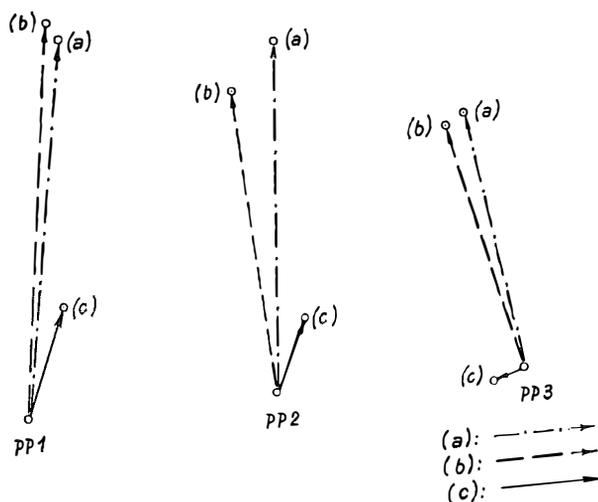


Abb. 2

Literaturhinweise:

Eberwein, J.: Geodätische Orientierung mit der Sonne. Sonderveröffentlichung 14 der ÖZfV (Festschrift Eduard Doležal – Zum 90. Geburtstag), Wien 1952, S. 299–314.

Maly, L.: Theorie der polygonometrischen Punktbestimmung. ÖZfV, 51 (1963), Nr. 1, S. 15–22 und Nr. 2, S. 33–48.

Zeger, J.: Gemeinsame Ausgleichung von Richtungs- und Streckenmessungen. ÖZfV, 52 (1964), Nr. 1, S. 24–34.

Mitteilung

Sitzungen der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE)

Die zweite Sitzung der Kommission im Jahre 1973 fand am 6. Dezember 1973, die erste für 1974 am 7. März 1974 statt.

In der Dezembersitzung wurden die Tätigkeitsberichte der Kommissionsmitglieder: Tagungsberichte u. ä., von seiten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen der Arbeitsbericht der Abteilung K 2: Erdmessung vorgelegt sowie ein Unterausschuß zum Studium, zur Koordinierung und zur Finanzierung der vorgesehenen langfristigen Programmarbeiten des Bundesamtes auf dem Gebiet der Erdmessung sowie zur modernsten Erweiterung dieser Arbeiten, d. s. ein räumliches Dreiecksnetz in absoluter Lage, ein entsprechend dichtes Schwerenetz und ein detailliertes Geoid, bestimmt. Dazu kommt die Forcierung der heute besonders aktuellen Arbeiten zur Untersuchung von Krustenbewegungen – z. B. Alpenbewegungen – mittels Präzisionsnivelement.

In der Sitzung wurde o. Prof. *Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Bretterbauer*, Vorstand des Institutes für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien, zum Kommissionsmitglied gewählt. Die Bestätigung seiner Zuwahl durch das Bundesministerium für Bauten und Technik erfolgte im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung mit Schreiben vom 12. Februar 1974.

Die Februarsitzung beschäftigte sich vornehmlich mit der Konkretisierung des obgenannten Zukunftsprogrammes sowie vor allem mit dem dabei auftretenden Finanzierungsproblem, das in erster Linie durch eine entsprechende Aufstockung des Budgets der ÖKIE gelöst werden muß.

Weitere gravierende Punkte betrafen die Stellungnahme der Kommission zum „Konzept für Geowissenschaftliche Forschung in Österreich“, verfaßt von der Sektion Forschung im Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien, April 1973, in dem de facto auf die Stellung der Geodäsie bei der Schaffung der meßtechnischen Grundlagen für alle anderen Geowissenschaften vergessen wurde — die Fassung eines Memorandums wurde formuliert — sowie die für September im Burgenland vorgesehene Abhaltung der Bodenseekonferenz.

Josef Mitter

Buchbesprechungen

Internationales Jahrbuch für Kartographie, Bd. XIII., 1973. Im Auftrag der Internationalen Kartographischen Vereinigung herausgegeben von Prof. *Dr. E. Arnberger* und *Dr. F. Aurada*, Wien. 237 S. Text mit 56 Abbildungen, 12 Kunstdruck- und 2 Farbtafeln. Kartographisches Institut Bertelsmann, Gütersloh, 1972 zusammen mit Freytag-Berndt und Artaria, Wien. Preis öS 280,80.

Dieser Band ist der Veröffentlichung einer Auswahl von Referaten gewidmet, die auf der 6. Konferenz der Internationalen Kartographischen Vereinigung in Kanada im Jahre 1972 gehalten wurden. 22 Beiträge, die in 9 Gruppen gegliedert sind, deuten die große Breite des Arbeitsfeldes der IKV an. 16 Beiträge sind in englischer, 4 in französischer und 2 in deutscher Sprache abgefaßt. Jedem fremdsprachigen Beitrag sind deutsche Zusammenfassungen beigegeben.

Thematische Kartographie, Ausbildungsfragen, Terminologie, Automation, kartographische Technik, Wirtschaftlichkeit der Kartenherstellung, Methoden der Kartennutzung für wissenschaftliche Forschungen, Stadtkartographie und Kommunikation in der Kartographie sind die 9 Themengruppen, aus denen im folgenden nur die wichtigsten Beiträge kurz gewürdigt werden können. Zu jeder Themengruppe fanden Diskussionen statt, deren Zusammenfassungen ebenfalls veröffentlicht sind, was den Wert dieses Bandes wesentlich steigert.

Der auf dieser Konferenz neu gewählte Präsident der IKV, *Arthur H. Robinson*, Professor an der University of Wisconsin, USA, beschäftigte sich mit dem wichtigen Problem eines internationalen Einheitssystems für Signaturen in thematischen Karten. Solch ein System könnte auf dem Thema oder auf dem Zweck der Karten beruhen. Für seine Einführung sind in beiden Fällen erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden, die in dem allgemeinen Widerstand gegen eine weltweite Standardisierung, in der Einbeziehung bereits vorhandener Systeme und in dem noch zu geringen Wissen über das kartographische Wahrnehmungsvermögen bestehen.

Einen Beitrag zu letzterem Problem bietet das Referat von *George F. Jenks*, Professor an der University of Kansas, USA, über „Optische Integration bei der Herstellung thematischer Karten“. Mit Hilfe der Cornea-Reflexions-Photographie, d. h. durch die photographische Erfassung der von der Hornhaut des Auges reflektierten Karte im Moment des Kartenlesens, kann der Weg ermittelt werden, den das Auge des Beschauers beim Betrachten und Lesen einer Karte zurücklegt. Es wurde festgestellt, daß der Betrachter thematischer Karten stets Symbolgruppen zu Mustern zusammenfaßt und daß die Anordnung von Kartentitel und Legende von entscheidender Bedeutung für das rasche Erfassen des Karteninhalts ist.

Zum Thema „Ausbildungsfragen“, wird von *K. H. Meine*, Hannover, auf die Bedeutung der Kartentechnik, insbesondere der Mechanisierung und der Automation für die Ausbildung von Kartographen hingewiesen; *Kei Kanazawa*, Tokio, untersucht die Möglichkeiten, den von der Kommission I der IKV aufgestellten Modell-Lehrplan auf die kartographische Ausbildung in Japan anzuwenden und *Ernst Spiess*, Professor für Kartographie an der ETH Zürich, macht auf Grund einer Umfrage, die 1970 an die Mitgliedstaaten der IKV gerichtet worden war, Vorschläge für eine Definition des Begriffs „Karten-Autor“.

Joachim Neumann, Bonn, äußerte sich zur Geschichte und zur Definition des Begriffs „Kartographische Generalisierung“. Seine Definition: „Wahrnehmungsgerechte, charakteristische Reduktion der kartographischen Aussage einer Grundkarte für eine Folgekarte“, bezieht sich vor allem auf topographische Karten.

Vier umfangreiche Beiträge samt Diskussionen sind der Themengruppe „Automation“ gewidmet. Das Grundlagenreferat über „Computer-Technologie in der Kartographie“ stammt von *J. G. Linders*, Kanada, wo in der Vermessungs- und Kartenabteilung des Department of Energy, Mines and Resources bereits weit entwickelte automatische Systeme in Betrieb sind. Gezeichnete Kartenoriginale sind dabei durch digitale Datenbanken ersetzt, aus denen der Kartograph jene Daten abberufen kann, die er für die automatische Kartenherstellung benötigt. Er verfügt über ein System von Digitalisierungsgeräten, programmgesteuerten Zeichenautomaten und Bildschirmanlagen; auf letzteren kann die graphische Gestaltung der entstehenden Karte vor der Kartierung geprüft und eventuell verbessert werden. In der Diskussion wurde ausgeführt, daß durch die Automation eine Beschleunigung der Kartenherstellung und der Nachführung erreicht werden kann, ohne daß dadurch eine Unterbeschäftigung des kartographischen Personals eintreten würde. Wenn sich Kartographen die neue Automationstechnik aneignen, so werden sie und nicht Rechentechniker oder Automationsfachleute diese Anlagen bedienen. Daß diese Entwicklung rasch vorausschreitet, zeigt die Tatsache, daß beim Ordnance Survey Großbritanniens bereits 8% der großmaßstäblichen topographischen Grundkarten automatisch hergestellt werden.

J. Denègre vom Institut Géographique National, Paris, berichtet über neue Entwicklungen in der Automation für die Anwendung auf topographischen Karten mittlerer Maßstäbe. Bei der Luftbildauswertung des I. G. N. werden digitale Daten gewonnen, die für die automatische Kartierung des Grundrisses bei der Neuherstellung oder Nachführung topographischer Karten genützt und die auch zum Aufbau eines digitalen Geländemodells dienen können. Aus letzterem werden nicht nur Höhenschichtliniendarstellungen, sondern auch Hangneigungskarten und analytische Schattierungen automatisch gewonnen.

D. P. Bickmore, London, einer der langjährigen Hauptförderer der Automation in der Kartographie, erläutert in seinem Beitrag „Neue Entwicklungen beim Experimental Cartography Unit (E. C. U.)“ den sachgemäßen Aufbau einer kartographischen Datenbank. In ihr müssen sich, um eine interaktive Kartographie zu ermöglichen, Beziehungen zwischen den Datensammlungen der einzelnen Wissensgebiete herstellen lassen, was beim E. C. U. durch eine bestimmte Magnetplatten-Speicherstruktur erreicht wird. Abschließend beschreibt *R. Böhme*, Frankfurt/M., ein integriertes Datenverarbeitungssystem für geographische Namen, wie es für die amtlichen Kartenwerke der BRD vom Institut für Angewandte Geodäsie und vom Institut für Landeskunde eingerichtet wurde.

Aus den Diskussionen ist zu ersehen, daß die Automation in verschiedenen Staaten für die Herstellung topographischer Grundkarten und einfacherer thematischer Karten eingesetzt wird, daß aber viele Probleme, vor allem jenes der automatischen Generalisierung und auch manche Kosten- und Ausbildungsfragen noch einer Lösung harren.

Im Kapitel „Kartographische Technik“ gibt *Ingo Folkers* von Klimsch u. Co., Frankfurt/M., sehr beachtenswerte Hinweise zur Behandlung phototechnischer Filme, um größere Maßhaltigkeit zu erreichen. Wenn seine Empfehlungen über die Klimatisierung der Arbeitsräume und die spezielle Verarbeitungsweise von Lith-Filmen auf Polyesterbasis befolgt werden, so können deren Größenänderungen im Bereich von $\pm 0,025$ mm über eine Länge von 500 mm konstant gehalten werden.

Solche Filmmaterialien höchster Maßgenauigkeit werden benötigt, um einwandfreie Reproduktionen vielfarbiger Reliefkarten zu erreichen, wie sie in der Schweiz hergestellt werden. *W. Bantel* von der Orell-Füssli AG, Zürich, berichtet über den Reproduktionsweg vom einfarbigen Relieforiginal zur mehrfarbigen Reliefkarte. Für ihre luftperspektivisch abgestimmte Reliefdarstellung werden allein 5 Farben gebraucht, zu deren Aufbau nicht weniger als 55 Masken, Folienkopien und Photofilme erstellt werden müssen.

Es ist dankenswert, daß auf dieser Konferenz auch Einblick in die Wirtschaftlichkeit der Kartenherstellung gegeben wurde. *O. Hedbom* von ESSELTE, Stockholm, sprach über „Marktpreise und Karten“, wobei er Produktionskosten und Preisgestaltung in der amtlichen und in der privaten Kartographie Schwedens gegenüberstellte und in ähnlicher Weise äußerte sich *W. Satzinger* vom Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/M., für die BRD, wobei er auf Kosten und Methoden

der beiden kartographisch tätigen Sparten einging. Die hohen Kosten der amtlichen topographischen Karten können durch den Kartenverkauf nicht hereingebracht werden. Sie werden aufgewogen durch den großen volkswirtschaftlichen Nutzen dieser Karten, die ja auch der kartographischen Privatwirtschaft als unentbehrliche Unterlagen für die Herstellung von Touristen- und Straßenkarten zur Verfügung stehen.

Von *K. A. Salichtchev*, Professor für Kartographie an der Moskauer Universität, und seinem Mitarbeiter *A. M. Berliant* stammt ein grundlegender Beitrag über die Verwendung von Karten bei wissenschaftlichen Untersuchungen. Er behandelt die verschiedenen Methoden der Kartenauswertung (z. B. Verfahren der Kartometrie, der Statistik, der mathematischen Modellierung, der Informationstheorie) und weist besonders auf die Möglichkeiten hin, räumliche Wechselbeziehungen und Entwicklungen aus Karten abzulesen. Damit gelangt man zu einer „Prognose-Kartographie“ (z. B. in der Geomorphologie, in der Klimatologie, in der Geographie der Krankheiten usw.), womit ein sehr zukunftsreicher Bereich der Kartographie angesprochen wird.

In der Themengruppe „Stadtkartographie“ beschäftigt sich *H. Pape*, Dortmund, mit den Zusammenhängen zwischen Stadtkartographie und Stadtplanung. Diese benötigt Informationen aus fast allen Gebieten der menschlichen Umwelt, weshalb die Stadtkartographie eine große Fülle topographischer und thematischer Kartenunterlagen bereitzustellen hat. Damit die in vielen Städten erscheinenden Karten vergleichbar sind, ist ihre Systematisierung und Standardisierung notwendig. *J. Matha* und *P. Merlin*, Paris, berichten weiterhin über Erfahrungen, die im Stadtgebiet von Paris mit Städtebau-Datenbanken und mit der kartographischen Datenausgabe in Form von Automatenkartogrammen gemacht wurden.

Den Abschluß des inhaltsreichen Bandes bilden zwei Aufsätze zur Kommunikation in der Kartographie. Der bekannte Kartentheoretiker *Lech Ratajski*, Professor an der Universität Warschau, befaßt sich mit der Struktur der Forschung in der theoretischen Kartographie, für die er den Ausdruck „Kartologie“ vorschlägt, und *Chr. Board*, London, untersucht die Beziehungen zwischen kartographischer Kommunikation und Standardisierung am Beispiel der Farbgebung thematischer Karten.

In einem Vorwort weisen die bisherigen Herausgeber *E. Arnberger* und *F. Aurada*, Wien, darauf hin, daß sie mit diesem Band des Internationalen Jahrbuches für Kartographie ihre Aufgabe als beendet betrachten. Die verlegerische Betreuung wird ab Band 14/1974 vom Kirschbaum-Verlag in Bonn-Bad Godesberg übernommen.
Wolfgang Pillewizer

Computerprogramme: Im Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich erschien im Oktober 1973 das Heft Nr. 3 der **Computerprogramme:** *Schenk, Anton:* Beispiel einer Blockausgleichung nach der Bündelmethode.

Bisher erschienen die Hefte

Nr. 1: *Elminger, Alois:* Algol-Programm Netz-3 D — Vermittelnde Netzausgleichung in Lage und Höhe oder dreidimensional. Zürich 1972.

Nr. 2: *Schenk, Anton:* FORTRAN-Programme zur photogrammetrischen Blocktriangulation nach der Bündelmethode. Zürich 1972.

Im Vorwort zum Heft Nr. 1 schreibt Prof. *Dr. F. Kobold:* „In den letzten Jahren sind von Mitarbeitern des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Programme größeren Umfanges zur Berechnung geodätischer und photogrammetrischer Probleme aufgestellt und erprobt worden. Diese Programme sowie spätere, die wegen ihrer Besonderheiten allgemeines Interesse beanspruchen dürfen, sollen in einer Publikationsreihe unter dem Namen

INSTITUT FÜR GEODÄSIE UND PHOTOGRAMMETRIE
an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

COMPUTERPROGRAMME

der Öffentlichkeit bekanntgegeben werden.

In einem Heft soll im allgemeinen nur ein Problemkreis behandelt werden. Die Hefte erscheinen in freier Reihenfolge. Die Besprechung des Programmheftes Nr. 2 folgt im Anschluß.

Josef Mitter

Schenk, Anton: Fortran-Programme zur photogrammetrischen Blocktriangulation nach der Bündelmethode. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Computerprogramme Nr. 2, Dezember 1972, Zürich.

Im Rahmen seiner Dissertation über das Thema „Numerische Untersuchungen zur photogrammetrischen Blocktriangulation nach der Bündelmethode“, hat der Autor das vorliegende Programm-Paket verfaßt. Die Publikation enthält neben allgemeinen Hinweisen und Erläuterungen ein komplettes, reich kommentiertes Listing, der in FORTRAN IV geschriebenen Programme. Die Ein- und Ausgabe bei den einzelnen Programmteilen wird an Hand eines Beispiels (Block Gramastetten) erläutert. Das Programm-Paket setzt sich aus 6 Einzelprogrammen zusammen:

1. **BKBER (Bildkoordinatenbereinigung):** In diesem Programm können sowohl Stereo- als auch Monokomparatormessungen „bereinigt“ werden. Der Übergang vom Komparator- ins Bildkoordinatensystem und die Kompensation des Filmschrumpfes kann entweder durch eine Ähnlichkeits- oder eine Affintransformation erfolgen. Danach werden die Auswirkungen der radialen Objektivverzerrung und, falls es gewünscht wird, der Refraktion in den Bildkoordinaten korrigiert.

2. **MITTEL 1:** Reihenaufnahmen werden, falls die Datenerfassung in Stereokomparatoren erfolgt, in der Regel modellweise gemessen. Aufgabe des Programmes ist eine Vereinigung von zwei Bildhälften zu einem Bild und eine Mittelung aller doppelt vorkommenden Punktkoordinaten.

3. **STRIP:** Mit Hilfe eines analytischen Folgebildanschlusses werden die Bildkoordinaten in Streifenkoordinaten umgeformt. Die gegenseitige Orientierung der Strahlenbündel wird über die Koplanaritätsbedingung erreicht. Wenn bei einem Modell Näherungswerte für die gegenseitige Orientierung bekannt sind, können diese eingeführt werden. Dadurch sind auch Modelle, die in der Nähe einer gefährlichen Fläche liegen, orientierbar.

4. **MITTEL 2:** Für das nachfolgende Programm SCHUT werden eindeutige Streifenkoordinaten aller Punkte eines Streifens benötigt. Das Programm MITTEL 2 vergleicht alle Punkte, die in zwei Modellen vorkommen miteinander und mittelt die entsprechenden Koordinaten.

5. **SCHUT:** Mit diesem von H. G. Schut beim National Research Council of Canada verfaßten und bereits 1968 veröffentlichten Streifenblockprogramm werden gute Näherungswerte für den späteren Bündelblockausgleich gefunden.

6. **BUEND (Buendelausgleich):** Erst in diesem Programm wird das eigentliche Problem des Bündelausgleiches behandelt, das in der Lösung eines nicht linearen Gleichungssystems besteht. In der Photogrammetrie wird dafür üblicherweise der Weg über eine Linearisierung (Taylor-Entwicklung) der Funktion in der Nähe der Unbekannten gegangen. Als Startwerte für diesen Iterationsprozeß dienen die Ergebnisse des Programmes SCHUT, das gute Näherungswerte für die Orientierungsparameter der beteiligten Strahlenbündel und der Koordinaten aller Bodenpunkte liefert. Die Struktur der Normalgleichungsmatrix, die bei jedem Iterationsschritt aufzustellen und zu lösen ist, erlaubt eine Eliminierung einer der beiden Unbekanntengruppen — Orientierungsparameter oder Punktkoordinaten. Bei der Lösung des jeweiligen Gleichungssystems wird die Bandstruktur dieser reduzierten Normalgleichungsmatrix berücksichtigt.

Nahezu jeder Benutzer eines Programmes, das nicht von ihm selbst erstellt wurde, wird dieses, entsprechend der zu bearbeitenden Probleme und Wünsche, modifizieren. Diese Tatsache gilt sicher auch für die vorliegenden Programme. So wird z. B. beim Einsatz dieses Paketes in der Katasterphotogrammetrie mit 45 Punkten pro Bild sicher nicht das Auslangen gefunden werden können. Durch die klare Programmgestaltung und die reichlich vorhandenen Kommentarkarten dürften aber Änderungen, Streichungen und allfällige Ergänzungen keine unlösbaren Probleme darstellen.

Zusammenfassend darf dem Programmautor zu dieser Arbeit gratuliert und jenen gedankt werden, die es ermöglichten, daß ein praxisreifes Programm-Paket dieses Umfanges allgemein zugänglich gemacht werden konnte.

Gottfried Otepka

Friedl J., Krajicek G., Meißl P.: Taschenrechner Hewlett-Packard HP-45. Die Benützung und Anwendungsbeispiele für die Vermessungstechnik. Mitteilungen der geodätischen Institute der TH in Graz Folge 14, Graz, 1974, 60 S. Preis öS 50,—.

Die Veröffentlichung ist am Institut für mathematische und numerische Geodäsie der TH Graz entstanden und soll dem Vermessungspraktiker den Gebrauch des angezeigten Taschenrechners erleichtern. Die Vorteile, die die Beschränkung auf eine bestimmte Benutzergruppe bietet, sind in Stoffauswahl und Darbietung genutzt worden.

Die Arbeit gliedert sich in drei Teile. Teil A bringt eine leicht verständliche Einführung in die Wirkungsweise des Taschenrechners. Sie ist vor allem für Benutzer gedacht, die ein solches Gerät zum ersten Mal in die Hand nehmen. Teil B erläutert systematisch die Funktionen der einzelnen Tasten. Dieser Teil wird von allen begrüßt werden, die sich mit der englischen Bedienungsanleitung aus sprachlichen Gründen nicht befreunden können. Teil C enthält 23 Programme für Grundaufgaben der ebenen Rechnung. Dabei sind die Möglichkeiten des Rechners weitestgehend genutzt worden. Eine Analyse der Schrittfolgen bietet also zugleich eine Einführung in ökonomisches Programmieren.

Die Veröffentlichung zeichnet sich durch eine klare Konzeption, durch didaktisch geschickte und übersichtliche Darstellung sowie durch einen erfreulich niedrigen Preis aus. Sie kann als beispielhaft für ähnliche Arbeiten gelten.

Klaus-Peter Schwarz

Berichtigung

Kloppenburg, Wilfried: Die Kartographische Reproduktion.

In der Besprechung des Werkes in Nr. 3 des vorhergehenden Jahrganges unserer Zeitschrift (S. 111/112) ist in den bibliographischen Angaben ein bedauerlicher Irrtum unterlaufen. Das Werk kostet nicht DM 78,—, sondern nur DM 48,—. Wir bitten die Interessenten, dies freundlich zur Kenntnis zu nehmen.

J. M.

Zeitschriftenschau

Zusammengestellt im amtlichen Auftrag von Bibliotheksleiter Techn. Oberinspektor Karl Gartner. *Die hier genannten Zeitschriften liegen in der Bibliothek des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien I, Hofburg, auf.*

Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Karlsruhe 1973: Nr. 7. (Ingenieurvermessungen IX) *Lichte, H. und Möller, D.:* Nordbrücke Mannheim-Ludwigshafen; I. Grundlagenmessung — *Nessler, H.-J. und Wendel, K.-H.:* Nordbrücke Mannheim-Ludwigshafen; II. Bau- und Kontrollmessungen — *Heister, H. und Welsch, W.:* Kritische Betrachtung verschiedener Methoden zur Kreisausgleichung bei Ingenieurvermessungen — *Cremer, H. und Faber, W.:* Schnitt zweier Klotoidenparallelen — Nr. 8. (Kartographie) *Hasse, H.-S. und Mittelstrass, G.:* Gleichzeitige teilautomatische Ableitung von Stadtkarte und Topographischer Karte — *Kick, W.:* Eine erste Hochgebirgskarte aus dem Hindukusch — *Ritter, B., Rumpf, W. E. und Weiser, G.:* Vergleichende Untersuchungen von Nahbereichsentfernungsmessern 1972 im Testnetz Wendhausen — *Stiebens, H. J.:* Verwertung von Masseland im Flurbereinigungsverfahren — *Gonstor, G.:* Die Sanierung des historischen Stadtkernes von Alsfeld (Dissertation) — *Schulz, B. S.:* Die schrittweise Spektralausgleichung, eine Methode zur Erdzeitenanalyse (Dissertation) — *Caspary, W.:* Ein Beitrag zur Methode der statistischen Versuche mit ausgewählten Beispielen aus der Geodäsie (Dissertation) — *Lange, Th.:* Seetiefenmessung mit einem LIDAR-System — Möglichkeiten und Grenzen, dargestellt an verschiedenen Modellfällen (Dissertation) — *Baumann, E.:* Die Anwendung statistischer Methoden bei der Untersuchung geodätischer Netze (Dissertation) — Nr. 9. (58. Deutscher Geodätentag) *Kmita, E.:* Zur Anwendung der Luftbildmessung in der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz — *Kersting, R.:* Elektronische Datenverarbeitung in der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz —

Bastian, K.-H.: Die Mitwirkung der Staatlichen Katasterämter des Landes Rheinland-Pfalz im Städtebau — *Weber, P.*: Polaraufnahmen bei Straßenschlußvermessungen mit einem elektrooptischen Entfernungsmesser unter Berücksichtigung des Prinzips der Nachbarschaft — *Stiebens*; Ausbaubeschwerden im Flurbereinigungsverfahren.

Bildmessung und Luftbildwesen, Karlsruhe 1973: Nr. 4. *Bannert, D.* und *Mühlfeld, R.*: ERTS und SKYLAB — zwei erdumkreisende Erdforschungs-Systeme — *Helbig, H.*: Verarbeitung und Auswertung farbiger Luftbilder mit Hilfe eines Farbbastgerätes — *Hofmann, W.*: Zentralstelle für Geophotogrammetrie und Fernerkundung — *Tzschupke, W.*: Vegetationskundliche Anwendung des Farbbastgers Chromograph — *Lorenz, D.*: Erfahrungen bei der Auswertung und Bearbeitung von Wärmebildern — *Clerici, E., Kubik, K.* und *van Külenburg, J.*: Thermal mapping at the Rhine River estuary using IRLS images — *Kaminski, H.*: Grundsätzliches zur Fernerkundung der Erde — *Hinkelbein, K.*: Zur photogrammetrischen Bestimmung geologischer Flächen — *Kölbl, O.*: Symposium über Erderkundungs-Satelliten in London — Nr. 5. *Blaschke, W.*: Die Funktion der Luftbildunternehmen im deutschen Vermessungswesen — *Schmid, H. H.*: Analyse der Resultate des geometrischen Satelliten-Weltnetzes — *Helmcke, D.* und *Tillmanns, E.*: Zusatz zum Spiegelstereoskop für einen zweiten Beobachter — *Fezer, Fr.*: Tagung des Arbeitskreises „Photointerpretation“ am 27. Juni 1973 in Karlsruhe — *Hothmer, J.* und *Margenfeldt, O.*: Vermessungsflugzeuge der neuen Generation — *Bähr, H.-P.*: Ergebnisse vom Erderkundungssatelliten ERTS — *Höhle, J.*: Orthophoto-Workshop II in San Jose/USA vom 18. bis 20. Jänner 1973 — *Schmidt-Falkenberg, H.*: 22. Deutscher Kartographentag in München — *Albertz*: Bevorstehende Tagungen über Photointerpretation und Fernerkundung

Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, Florenz 1973: Nr. 2. *Grafarend, E.*: Attempts for a Unified Theory of Geodesy — *Bocchio, Fr.*: Some topics in Differential Geodesy — *Meissl, P.*: Distortions of terrestrial networks caused by geoid errors — *Levallois, J. J.*: Remarques générales sur la convergence du développement du potentiel terrestre en harmoniques sphériques

The Canadian Surveyor, Ottawa 1973: Nr. 1. *Dearden, J. D.* and *Selley, A. D.*: The BOMB Project — *Blaha, G.*: Etude sur l'Exactitude des Polygones Régulières en Fonction de la Précision des Observations — *Merry, C. L.* and *Vanicek, P.*: Horizontal Control and the Geoid in Canada — *Schwartz, W. M.*: Astronomic Azimuth Calculations on a Desk-Top-Computer — *Wilson, P. C.*: Marine Surveys for Offshore Pipelines — an Appreciation — Nr. 2. *Geneja, S. C.*: The Technical Man as an Intrinsic Part of the Survey Team — *Gauthier, J. R. R., O'Donnell, J. H.* and *Low, B. A.*: The Planimetric Adjustment of Very Large Blocks of Models: its Application to Topographical Mapping in Canada — *Blackie, W. V.*: Metrication in Land Surveying — *Gagnon, P.-A.*: Les Possibilités du Nivellement Trigonométrique par Méthode Hélicoptère — *Krakiwsky, E. J., Wells, D. F.* and *Thomson, D. B.*: Geodetic Control from Doppler Satellite Observations for Lines Under 200 KM — *Paul, M. K.* and *Nagy, D.*: The Accuracy of Geoidal Height Obtainable from Gravity Data Alone — *Slee, G. W.*: Metric Conversion and the CIS

Geodézia és Kartográfia, Budapest 1973: Nr. 3. *Jóó, I.*: Lage der Prüfung rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen in der Karpaten-Balkan-Region — *Vincze, V.*: Lienienführung der Krustenbewegungs-Nivellements-Prüflinien in Städten — *Miskolczi, L.*: Einige Möglichkeiten der Vervollkommnung der Präzisions-Nivellierlatten — *Bácsatyai, L.* und *Halmos, F.*: Genauigkeitssteigerung von Kreiselltheodolitmessungen — *Domokos, Gy.* und *Láng, G.*: Lösung einiger ingenieur-geodätischer Arbeiten mit Photogrammetrie — *Bezzegh, L.*: Automatisierung in der Photogrammetrie — *Bendefy, L.*: Lage der ungarischen geodätischen und kartographischen wissenschaftlich-technikgeschichtlichen Forschung — *Hönyi, E., jun.*: Internationale Vereinheitlichung der Zeichen von Fremdenverkehrskarten — Nr. 4. *Halmfs, F., Kádár, I.* und *Karsay, F.*: Der Informationsgehalt und die Struktur der Koordinaten — *Hetényi, M.*: Über die Ausgleichung von lokalen Dreiecksnetzen — *Bartha, G., Halmai, E.* und *Orbán, A.*: Schwingungsuntersuchungen an Stativen und Kompensation — *Thury, J.*: Untersuchung des Nivelliergerätes MOM Ni-A3 aus der Sicht der Messung des Erdkrustenbewegungs-Nivellementsnetzes — *Kováts, A.*: Photogrammetrische Kartierung von Gebäudewandflächen im Falle einer allgemeinen Aufnahmenanordnung — *Bagó, L.* und *Marosi, M.*: Gegenwärtiger Stand der Lösung und Anwendung der Mikrofilmtechnik in den Daten- und Karten-

archiven des Vermessungswesens in Ungarn — *Horváth, K.*: Bewegungsuntersuchung der Donauarmbrücke von Ráckeve — *Papp-Váry, A.*: Die Kartengeschichte Mesopotamiens — *Klinghammer, I.* und *Papp-Váry, A.*: Planquadrat-Karte im Dienste der regionalen Datenspeicherung und der Planung

Geodetický a kartografický obzor, Prag 1973: Nr. 5. *Hradilek, L.* und *Loulová, A.*: Bestimmung der Refraktion aus Höhenwinkeln — *Bartík, B.*: Forschung der Anwendung des Mikrofilms bei geodätischen und kartographischen Arbeiten und ihre Realisierung — *Michalčák, S.*: Entwicklung elektronischer Tachymeter und Streckenmeßgeräte — Nr. 6. *Haverlik, I.* und *Krcho, J.*: Automatisierung der Bearbeitung von Höhenlinien- und Isogradientenkarten aus dem Gesichtspunkt primärer und sekundärer Isolinienfelder — *Diviš, K.* und *Olejník, S.*: Einige Erfahrungen aus der Messung mit dem Gradientometer GRBM-2 — *Kučera, K.*: Kriterien der Orientierungsmessung bei der Überprüfung der Lage trigonometrischer Punkte — *Gál, P.*: Perspektiven der Entwicklung der Photogrammetrie aus dem Gesichtspunkt der Beschlüsse der XII. Konferenz der IGP in Ottawa im Jahre 1972 — Nr. 7. *Žemla, E.*: Neue Organisationsstruktur des Bereiches des Slowakischen Amtes für Geodäsie und Kartographie — *Kučera, K.*: Astronomisch-geodätische Grundlagen der Wüsten-Autobahn — *Magula, V.*: Genauigkeitsanalyse der in Gruppen und Blöcke gestalteten geodätischen Messungen — *Veverka, B.*: Halbautomatisches Digitalisiergerät DIGIPOS — Nr. 8. *Michalčák, O.*: Geodätische Messung bei der Belastungsprobe und dem Betrieb der Brücke des Slowakischen Nat.-Aufstandes in Bratislava — *Hampacher, M.*: Mathematische Reduktion der zu einer allgemeinen Fläche bezogenen gemessenen Winkel und Strecken — *Vondrák, J.*: Beitrag zur Laser-Lokation des Mondes

Géomètre, Paris 1973: Nr. 4. *Charlot, P.*: Compensation pendulaire et calcul des probabilités — *Lesprit, R.*: Les sciences géographiques dans l'antiquité — Nr. 6. *Chabbert, Ch.*: Operations de triangulation et de stereopreparation dans les Alpes en 1971 et 1972 — Nr. 7. *Baronnet, A.*: Terre — Lune — Mars; dix années d'observations planétaires — *Maillard, J.*: Note sur le nouveau système des altitudes françaises I. G. N. 1969 — *Parker, A.* et *Aghuilhon, R.*: Utilisation du Distomat Wild Di 10

Anmerkung: Nr. 5 — kein Auszug (Kulturtechnik und Lokales)

Contents

Peters, Kornelius: Absolute and Relative Accuracy on Measuring.
 Brandstätter, Gerhard: The Accuracy of Direction-Finding by Pentaprisms.
 Gerstbach, Gottfried: Astronomical Position-Fixing with the Prismastrolabium.
 Zeger, Josef: Traverses with Intermediate Orientations.

Adressen der Autoren

Peters, Kornelius, Dipl.-Ing., Dr. techn., Oberassistent,
 Institut für Landesvermessung an der Technischen Hochschule Wien,
 A-1040 Wien, Gußhausstraße 25–29

Brandstätter, Gerhard, Dipl.-Ing., Dr. techn., Hochschuldozent,
 A-8010 Graz Glacisstraße 33

Gerstbach, Gottfried, Dipl.-Ing., Dr. techn., Hochschulassistent,
 Institut für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien,
 A-1040 Wien, Gußhausstraße 25–29

Zeger, Josef, Dipl.-Ing., Oberrat,
 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen,
 A-1080 Wien, Friedrich-Schmidt-Platz 3

Günstig abzugeben!

- 1 Planplattenmikrometer WILD GPM 1, Nr. 14360, für 10 mm-Tlg. WILD-Invarlatten, in Lederetui (neuwertig)
- 1 Präz.-Nivellierlatte WILD GPLE 3, 3 m lang, aufrecht beziffert, mit Dosenlibelle (gebraucht)
- 1 Lattenuntersatz WILD (gebraucht)

Auskunft erteilt: Fa. Insond Ges. m. b. H.

Herr Zajic, Telefon 8235 88, 8224 28

HUNDERTJAHRFEIER der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung

23. bis 25. Oktober 1963
Sonderheft 24 der ÖZV, Wien 1964

125 Seiten mit 12 Bildtafeln (Präsidenten der ÖKIE seit 1871), 11 Figuren und 7 Tabellen, Preis S 120,— oder DM 20,—

Aus dem Inhalt:

Festprogramm

Organisation und Verlauf der Hundertjahrfeier der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung von F. Hauer
Die Neubegründung der Theorie der sphäroidischen Gleichgewichtsfiguren und das Normalsphäroid der Erde von K. Ledersteger
Herausgeber: Österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung. Verleger: Österreichischer Verein für Vermessungswesen
Zu beziehen vom Österreichischen Verein für Vermessungswesen:
Schopenhauerstraße 32, A 1180 Wien 18

COMPTE RENDU OFFICIEL
DU
DIXIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL
DES GÉOMÈTRES

Wien

24. August bis 1. September 1962

188 Seiten mit 19 Abbildungen, 19,8×25,7 cm, broschiert S 120,—

- 25 Seiten Organisation der FIG und die Delegierten der Mitgliedstaaten
16 Seiten Liste der Teilnehmer am X. Kongreß und deren Anschriften
49 Seiten Organisation, Programm, Ausstellung und Ansprachen beim X. Kongreß
79 Seiten Bericht des Generalsekretärs der FIG über die Zeit vom 1. Jänner 1960 bis 31. Dezember 1963
Bericht über die 4 Sitzungen des Comité Permanent
Erste und zweite Generalversammlung der FIG am 25. 8. und 1. 9. 1962
Alle Berichte in Deutsch, Englisch und Französisch abgefaßt
19 Seiten Verzeichnis der National-, Präsidial- und Spezialberichte
Verzeichnis der Autoren dieser Berichte

Zu beziehen durch den Österreichischen Verein für Vermessungswesen und
Photogrammetrie, Friedrich-Schmidt-Platz 3, A 1082 Wien

S O N D E R H E F T 25

der Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen
PROCEEDINGS

of the International Symposium
Figure of the Earth and Refraction
Vienna, March 14th — 17th 1967

By Order of the Austrian Geodetic Commission published by
Karl Ledersteger

Under the Joint Sponsorship of Gimrada, AfcrI
and Geodetic Institute, Uppsala University

First Conference (SSG 16): The Normal Spheroid and the Figure of the Earth

Part I: The Normal Spheroid and the Regularization of the Earth's Crust

Part II: The Figure of the Earth and the External Gravity Field

Part III: Gravity Anomalies, Deviations of the Vertical,
Observations (Methods and Results)

**Second Conference (SSG 23): Recent Research on Atmospherical
Refraction for Geodetic Purposes**

Part I: Problems of Atmospherical Refractive Index and its Influence upon Electro-
optical Distance Measurements

A: Refraction Effect on Optical Distance Measurements

B: Refraction Effect on Distance Measurements, Using Radio Wave Propa-
gation

Part II: Refraction Effect on the Determination of Directions

A: Use of Relationships Between Different Effects of Refractive Index

B: Errors and Sources of Errors

C: Refraction in Connection with Spatial Geodesy

Part III: Elimination of Refraction from Geodetic Angular Measurements Nivellitic
Refraction. Conformal Theory of Refraction

Insgesamt 55 Referate; Umfang 342 Seiten mit Abbildungen und Tabellen.

Preis öS 370,— bzw. DM 64,—.

Herausgeber: Österreichische Kommission für Internationale Erdmessung
Verleger: Österreichischer Verein für Vermessungswesen

Österreichische Staatskartenwerke

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

A-1080 Wien, Krotenthallergasse 3 Tel. 42 75 46

Österreichische Karte 1:25 000 (nicht fortgeführt)	13,—
Österreichische Karte 1:50 000 mit Wegmarkierung (Wanderkarte)	25,—
Österreichische Karte 1:50 000 mit Straßenaufdruck	22,—
Österreichische Karte 1:50 000 ohne Aufdruck	20,—
Prov. Ausgabe der Österr. Karte 1:50 000 mit Wegmarkierung (Wanderkarte)	16,—
Prov. Ausgabe der Österr. Karte 1:50 000 ohne Wegmarkierung .	10,—
Österreichische Karte 1:200 000 mit Straßenaufdruck	23,—
Österreichische Karte 1:200 000 ohne Straßenaufdruck	20,—
Alte Österreichische Landesaufnahme 1:25 000	10,—
Generalkarte von Mitteleuropa 1:200 000	
Blätter mit Straßenaufdruck (nur für das österr. Staatsgebiet vorgesehen)	15,—
Blätter ohne Straßenaufdruck	12,—
Gebiets- und Sonderkarten	
Übersichtskarte von Österreich 1:500 000, mit Namensverzeichnis, gefaltet .	59,—
Übersichtskarte von Österreich 1:500 000, ohne Namensverzeichnis, flach .	39,—
Namensverzeichnis allein	16,—
Übersichtskarte von Österreich 1:500 000, Politische Ausgabe mit Namensverzeichnis, gefaltet	53,—
Übersichtskarte von Österreich 1:500 000, Politische Ausgabe ohne Namensverzeichnis, flach	33,—

Neuerscheinungen

Katalog über Planungsunterlagen	S 200,—
Einzelblatt	S 10,—
Kulturgüterschutzkarten:	
Österreichische Karte 1:50 000 je Kartenblatt	S 67,—
Burgenland 1:200 000	S 87,—

Österreichische Karte 1:50000

11 Drasenhofen	69 Großraming	85 Vils
34 Perg	70 Waidhofen/Ybbs	114 Holzgau
54 Melk	84 Jungholz	147 Axams

Österreichische Karte 1:200 000:

Blatt 47/15 Graz	48/12 Kufstein	48/16 Wien
Blatt 47/15 Graz u. orohydr. Ausgabe		

Umgebungs- und Sonderkarten:

Hochschwab 1:50 000	Umgebungskarte Mayrhofen (Zillertal) 1:50 000
Burgenland 1:200 000	Hohe Wand und Umgebung 1:50 000

In letzter Zeit berichtigte Ausgaben der Österreichischen Karte 1:50000

55 Obergrafendorf	96 Bad Ischl	144 Landeck
62 Preßburg	102 Aflenz Kurort	171 Nauders
76 Wr. Neustadt	143 St. Anton am	179 Lienz
80 Ung. Altenburg	Arlberg	199 Hermagor

Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie

Friedrich-Schmidt-Platz 3, 1082 Wien

Sonderhefte zur Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen

- Sonderheft 1: *Festschrift Eduard Doležal. Zum 70. Geburtstag.* 198 Seiten, Neuauflage, 1948. Preis S 18,—. (Vergriffen.)
- Sonderheft 2: Lego (Herausgeber), *Die Zentralisierung des Vermessungswesens in ihrer Bedeutung für die topographische Landesaufnahme.* 40 Seiten, 1935. Preis S 24,—. (Vergriffen.)
- Sonderheft 3: Ledersteger, *Der schrittweise Aufbau des europäischen Lotabweichungssystems und sein bestanschließendes Ellipsoid.* 140 Seiten, 1948. Preis S 25,—. (Vergriffen.)
- Sonderheft 4: Zaar, *Zweimedienphotogrammetrie.* 40 Seiten, 1948. Preis S 18,—.
- Sonderheft 5: Rinner, *Abbildungsgesetz und Orientierungsaufgaben in der Zweimedienphotogrammetrie.* 45 Seiten, 1948. Preis S 18,—.
- Sonderheft 6: Hauer, *Entwicklung von Formeln zur praktischen Anwendung der flächentreuen Abbildung kleiner Bereiche des Rotationsellipsoids in die Ebene.* 31 Seiten, 1949. (Vergriffen.)
- Sonderh. 7/8: Ledersteger, *Numerische Untersuchungen über die Perioden der Polbewegung. Zur Analyse der Laplace'schen Widersprüche.* 59+22 Seiten, 1949. Preis S 25,—. (Vergriffen.)
- Sonderheft 9: *Die Entwicklung und Organisation des Vermessungswesens in Österreich.* 56 Seiten, 1949. Preis S 22,—.
- Sonderheft 11: Mader, *Das Newton'sche Raumpotential prismatischer Körper und seine Ableitungen bis zur dritten Ordnung.* 74 Seiten, 1951. Preis S 25,—.
- Sonderheft 12: Ledersteger, *Die Bestimmung des mittleren Erdellipsoides und der absoluten Lage der Landestriangulationen.* 140 Seiten, 1951. Preis S 35,—.
- Sonderheft 13: Hubeny, *Isotherme Koordinatensysteme und konforme Abbildungen des Rotationsellipsoides.* 208 Seiten, 1953. (vergriffen)
- Sonderheft 14: *Festschrift Eduard Doležal. Zum 90. Geburtstag.* 764 Seiten und viele Abbildungen. 1952. Preis S 120,—.
- Sonderheft 15: Mader, *Die orthometrische Schwerekorrektur des Präzisions-Nivellements in den Hohen Tauern.* 26 Seiten und 12 Tabellen. 1954. Preis S 28,—.
- Sonderheft 16: *Theodor Scheimpflug — Festschrift.* Zum 150jährigen Bestand des staatlichen Vermessungswesens in Österreich. 90 Seiten mit 46 Abbildungen und XIV Tafeln. Preis S 60,—.
- Sonderheft 17: Ulbrich, *Geodätische Deformationsmessungen an österreichischen Staumauern und Großbauwerken.* 72 Seiten mit 30 Abbildungen und einer Luftkarten-Beilage. Preis S 48,—.
- Sonderheft 18: Brandstätter, *Exakte Schichtlinien und topographische Geländedarstellung.* 94 Seiten mit 49 Abb. und Karten und 2 Kartenbeilagen, 1957. Preis S 80,— (DM 14,—).
- Sonderheft 19: *Vorträge aus Anlaß der 150-Jahr-Feier des staatlichen Vermessungswesens in Österreich, 4. bis 9. Juni 1956.*
- Teil 1: *Über das staatliche Vermessungswesen,* 24 Seiten, 1957. Preis S 28,—.
- Teil 2: *Über Höhere Geodäsie,* 28 Seiten, 1957. Preis S 34,—.
- Teil 3: *Vermessungsarbeiten anderer Behörden,* 22 Seiten, 1957. Preis S 28,—.
- Teil 4: *Der Sachverständige — Das k. u. k. Militärgeographische Institut.* 18 Seiten, 1958. Preis S 20,—.
- Teil 5: *Über besondere photogrammetrische Arbeiten.* 38 Seiten, 1958. Preis S 40,—.
- Teil 6: *Markscheidewesen und Probleme der Angewandten Geodäsie.* 42 Seiten, 1958. Preis S 42,—.

Österreichischer Verein für Vermessungswesen

A 1180 Wien XVIII, Schopenhauerstraße 32

Sonderhefte zur Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen

- Sonderheft 20: H. G. Jerie, *Weitere Analogien zwischen Aufgaben der Mechanik und der Ausgleichsrechnung*. 24 Seiten mit 14 Abbildungen, 1960. Preis S 32,— (DM 5,50).
- Sonderheft 21: Mader, *Die zweiten Ableitungen des Newton'schen Potentials eines Kugelsegments — Topographisch berechnete partielle Geoidhebungen. — Tabellen zur Berechnung der Gravitation unendlicher, plattenförmiger, prismatischer Körper*. 36 Seiten mit 11 Abbildungen, 1960. Preis S 42,— (DM 7,50).
- Sonderheft 22: Moritz, *Fehlertheorie der Graphisch-Mechanischen Integration — Grundzüge einer allgemeinen Fehlertheorie im Funktionenraum*. 53 Seiten mit 6 Abbildungen, 1961. Preis S 52,— (DM 9,—)
- Sonderheft 23: Rinner, *Studien über eine allgemeine, voraussetzungslose Lösung des Folgebildanschlusses*. 44 Seiten, 1960. Preis S 48,— (DM 8,—)
- Sonderheft 24: *Hundertjahrfeier der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung 23. bis 25. Oktober 1963*. 125 Seiten mit 12 Abbildungen, 1964. Preis S 120,— (DM 20,—)
- Sonderheft 25: *Proceedings of the International Symposium Figure of the Earth and Refraction; Vienna, March 14th—17th, 1967*. 342 Seiten mit 150 Abbildungen, 1967. Preis S 370,— (DM 64,—).
- Sonderheft 26: Waldhäusl, *Funktionale Modelle der Streifen- und Streifenblockausgleichung mit einfachen und Spline-Polynomen für beliebiges Gelände*. 106 Seiten, 1973. Preis S 100,— (DM 15,—).
- Sonderheft 27: Meyer, *Über die transalpine Ölleitung*, 26 Seiten, 1974. Preis S 70,— (DM 10,—)

OEEPE, Sonderveröffentlichungen

- Nr. 1: Rinner, *Analytisch-photogrammetrische Triangulation eines Teststreifens der OEEPE*. 31 Seiten, 1962. Preis S 42,—.
- Nr. 2: Neumaier und Kasper, *Untersuchungen zur Aerotriangulation von Überweitwinkelaufnahmen*, 4 Seiten, 2 Seiten Abbildungen, 1965. Preis S 10,—.
- Nr. 3: Stickler und Waldhäusl, *Interpretation der vorläufigen Ergebnisse der Versuche der Kommission C der OEEPE aus der Sicht des Zentrums Wien*, 4 Seiten, 8 Tabellen, 1967. Preis S 20,—.

Alte Jahrgänge der Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen liegen in der Bibliothek des Österreichischen Vereines für Vermessungswesen auf und können beim Österreichischen Verein für Vermessungswesen bestellt werden.

Unkomplette Jahrgänge:

à 20,— S; Ausland 4,— sfr bzw. DM u. Porto

Jg. 1 bis 5 1903 bis 1907
7 bis 12 1909 bis 1914
17 1919
19 1921

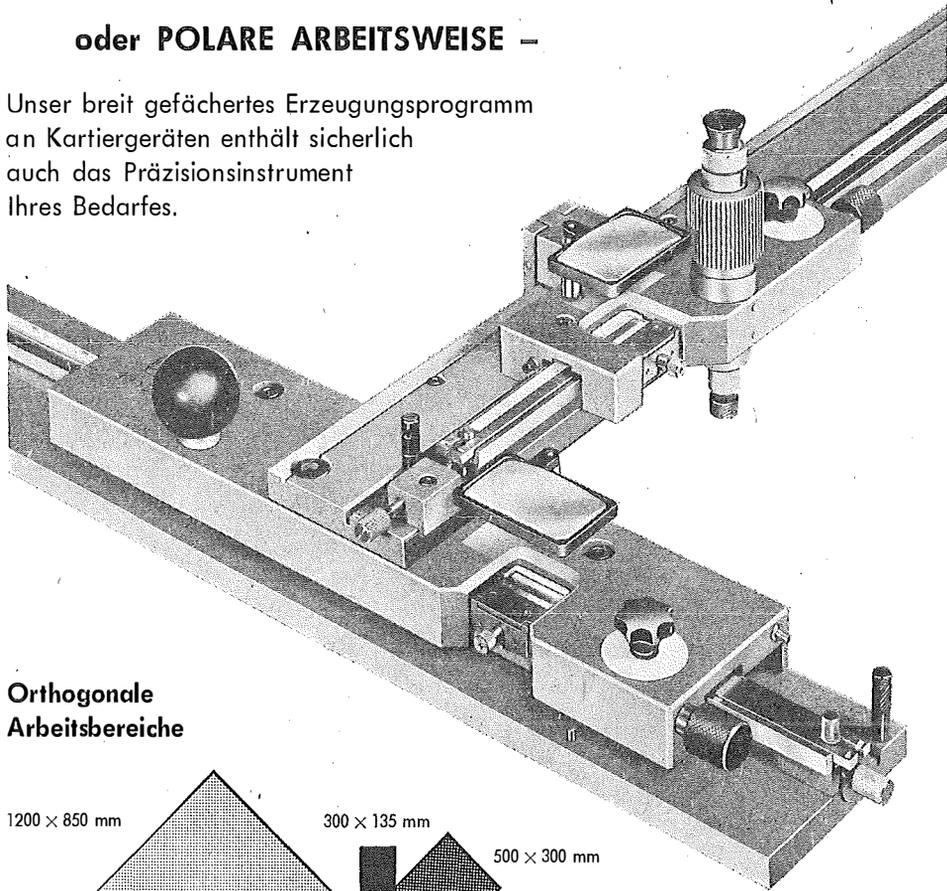
Komplette Jahrgänge:

à 40,— S; Ausland 8,— sfr bzw. DM u. Porto
Jg. 6 1908
13 bis 16 1915 bis 1918
18 1920
20 bis 35 1922 bis 1937
36 bis 39 1948 bis 1951
à 72,— S; Ausland 15,— sfr bzw. DM u. Porto
Jg. 40 bis 49 1952 bis 1961
à 100,— S; Ausland 20,— sfr bzw. DM u. Porto
Jg. 50 bis 53 1962 bis 1965
à 130,— S; Ausland 28,— sfr bzw. DM u. Porto
Jg. 54 bis 59 1966 bis 1971
à 160,— S; Ausland 210,— S oder 30,— DM
bzw. 35,— sfr u. Porto
Jg. 60 und 61 1972 und 1973

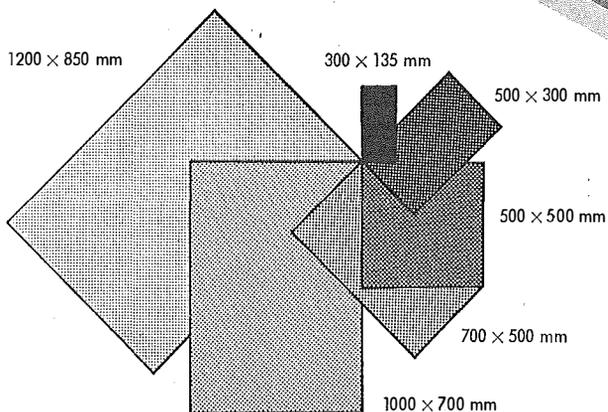
KOORDINATOGRAPHEN

Ob für ORTHOGONALE
oder POLARE ARBEITSWEISE –

Unser breit gefächertes Erzeugungsprogramm
an Kartiergeräten enthält sicherlich
auch das Präzisionsinstrument
Ihres Bedarfes.

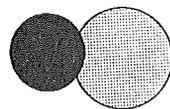


Orthogonale Arbeitsbereiche



Polare Arbeitsbereiche

300 mm ϕ 400 mm ϕ



Angebote und Prospekte direkt vom Erzeuger:

r-a rost

A-1151 WIEN · MÄRZSTR. 7 · TELEX: 1-3791 · TEL. 0222/92 32 31