

Studienrichtung Vermessungswesen
Technische Hochschule in Wien

GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

Heft 3

Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung
Vermessungswesen 1973 — 1974

Studienrichtung Vermessungswesen
Technische Hochschule in Wien

GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

Heft 3

Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung
Vermessungswesen 1973 — 1974

Copyright : Alle Rechte bei den Verfassern.
Einband : Fa. Franz Manhardt, 1040 Wien
Offsetdruck: ÖH -Boku - Vervielfältigung, 1180 Wien

Vorwort

1970 hat Herr Professor Dr. K. Bretterbauer das Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen ins Leben gerufen. Ziel der Vorträge ist es, einander zu informieren und gleichzeitig vielleicht auch einen Beitrag zur "post graduate"-Ausbildung zu leisten, Übung im Vortrag zu bekommen und die wissenschaftlichen Arbeiten, mit denen die Assistenten befaßt sind, auch allgemein bekanntzumachen. Um alle interessierten Fachkollegen anzusprechen, auch die, die die Wiener Vortragsreihe nicht besuchen können, ist 1972 der Entschluß gefaßt worden, alle Vorträge auch gedruckt herauszubringen. Mit den "Geowissenschaftlichen Mitteilungen" sollte ein Organ der geowissenschaftlichen Institute der Technischen Hochschule Wien geschaffen werden, eine Idee, die die ganz besondere Unterstützung aller fand.

In diesem dritten Heft werden die im Rahmen des "Kolloquiums der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen" gehaltenen Vorträge des Studienjahres 1973/74 vorgelegt. Am Ende dieses Heftes ist erstmalig ein Verzeichnis der erschienenen und derzeit in Vorbereitung befindlichen Hefte angefügt.

Die Assistenten danken ihren Professoren herzlich für die Betreuung der Vorträge.

Für die Assistenten

Dr. P. Waldhäusl

INHALTSVERZEICHNIS

RÖSSLER, W.: Automatisches Zeichnen in der mittleren Datentechnik.	1
OTEPKA, G.: Blockausgleichung in Österreich ?	21
JIRESCH, E.: Über Gesetzmäßigkeiten der Generalisierung.	72
GERSTBACH, G.: Navigation und Geodäsie.	89
LECHNER, A.: Geomorphologie und Kartenbild.	113
WAGENSOMMERER, G.: Die Einschaltung der Dachpfeiler der Technischen Hochschule in das Wiener Festpunktnetz.	122
BRÜCKL, E., KORSCHINECK, E., PREGL, O., RIEHL-HERWIRSCH, G.,: Feldmethoden der Geowissenschaften.	142

Geowiss. Mitt. 3

1974, 1 - 20

AUTOMATISCHES ZEICHNEN IN DER MITTLEREN DATENTECHNIK
Grenzen und Möglichkeiten

von

W. Rössler

(Vortrag gehalten am 14. November 1973
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing. Wolfgang Rössler, Hochschulassistent am Institut für Höhere Geodäsie,
Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

ZUSAMMENFASSUNG

Kartieren und Zeichnen mittels computergesteuerten automatischen Zeichenanlagen gewinnt auch in der Geodäsie stets an Bedeutung. Der Vortrag geht nach einer prinzipiellen Erläuterung der Funktion eines Plotters speziell auf die österreichischen Verhältnisse mit einem strukturbedingten hohen Stand an MDV - Anlagen ein. Es werden Kriterien zur Beurteilung einer Maschinenkonfiguration MDV-Plotter erarbeitet und ein aufgrund dieser Kriterien erstelltes Softwarepaket vorgestellt, eine Demonstration auf der Anlage Philips P 352 - Benson - Trommelplotter 121 schloß sich dem Vortrag an.

Weiters führten die eingeladenen Firmen WANG und HEWLETT - PACKARD ihre Entwicklungen auf dem Gebiet des automatischen Zeichnens vor.

Bis vor relativ kurzer Zeit war automatisches Zeichnen an Großrechenanlagen bzw. an teure, spezielle Steuerelektroniken die z.T. nur zur Generierung von Steuerbefehlen dienen, gebunden.

In der Praxis zeigt sich jedoch, daß in den allermeisten Ingenieurbüros aus Rationalitätsgründen - 98 % der österreichischen Betriebe sind Mittel- und Kleinbetriebe - MDV - Anlagen im Einsatz stehen, wodurch sich die Frage stellt, ob auch mit einer Maschinenkonfiguration MDV - Plotter sinnvoll - in technischer und in kommerzieller Hinsicht - automatisch Zeichnungen hergestellt werden können.

Bevor allerdings auf die eigentlichen Probleme des automatischen Zeichnens eingegangen wird, erscheint es angezeigt, die Begriffe MDV und Plotter durch Definition festzulegen und abzugrenzen.

Nach Prof. HEINRICH ergibt sich die Abgrenzung einer Maschine der mittleren Datentechnik "nach unten" durch die Mindestmerkmale eines tastaturorientierten Computers, das sind:

- 1) Eine Einrichtung zur Speicherung von Arbeits- und Programmdateien zur Steuerung eines Programmablaufs.
- 2) Eine elektronische Einrichtung zur Durchführung der vier Grundrechnungsarten.
- 3) Ein Druckwerk, das Daten in horizontaler und vertikaler Gliederung drucken kann.
- 4) Programmgesteuerte Endlosformulareinrichtung.
- 5) Impulsaufnahme für den Anschluß von Geräten zur automatischen Lesung von Datenträgern.
- 6) Impulsabgabe für den Anschluß von Geräten zur automatischen Erstellung von Datenträgern.

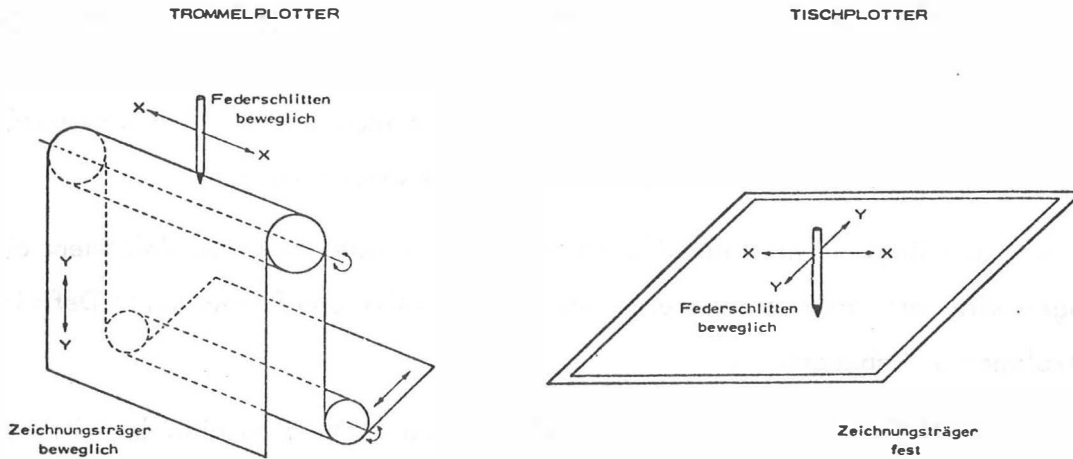
Die Abgrenzung "nach oben" ergibt sich durch die Tastaturorientierung.

Im Anschluß daran ist der Zweck einer automatischen Zeichenmaschine die graphische Darstellung der Ergebnisse der elektronischen Datenverarbeitung.

Der nun folgende kurze Überblick über die Plotter - Hardware soll erstens das auf dem Markt befindliche Angebot in seinen wesentlichsten Merkmalen charakterisieren und zweitens die Probleme der Software und Softwareerstellung besser verständlich machen.

Von der Lage des Zeichnungsträgers und der Relativbewegung Zeichnungsträger - Federschlitten her unterscheidet man Trommel- und Tischplotter. Von einigen Herstel-

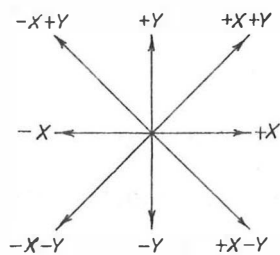
lern werden allerdings die Namen "automatische Zeichenmaschine auf Endlosformat" und "automatische Tischzeichenmaschine" vorgezogen, da mit den Bezeichnungen Trommel- und Tischplotter von früher her noch Genauigkeitsunterschiede verbunden werden, die jedoch heute keineswegs mehr vorhanden sind.



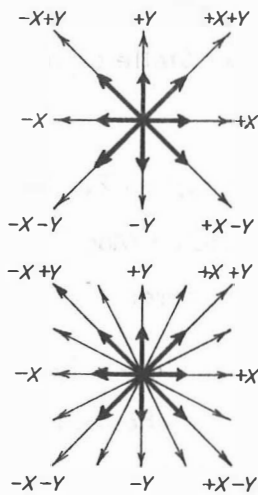
Beim Trommelplotter wird die Bewegung in der einen Koordinatenrichtung durch den Papiertransport und in der anderen durch die Bewegung des Federschlittens veranlaßt, beim Tischplotter hingegen werden - bei festem Zeichnungsträger - die Bewegungen in beiden Koordinatenrichtungen durch den Federschlitten vollzogen.

Der Antrieb von Federschlitten und Papiervorschub erfolgt durch Motoren, die ihre Befehle in Form von Impulsen erhalten. Dabei ruft ein auf einen solchen Motor wirkender Impuls eine Bewegungsgröße hervor, die mit "der Schritt" oder das "Inkrement" bezeichnet wird. Diese Größe stellt die kleinstmögliche Bewegung des Zeichengerätes dar.

Daraus resultieren unmittelbar die vier Grundbefehle $+X$, $+Y$, $-X$, $-Y$, zusätzlich ergibt sich aber auch die Möglichkeit je zwei verschiedene Grundbefehle zu kombinieren d.h. es wird sowohl der X-Motor als auch der Y-Motor mit einem Impuls beschickt.

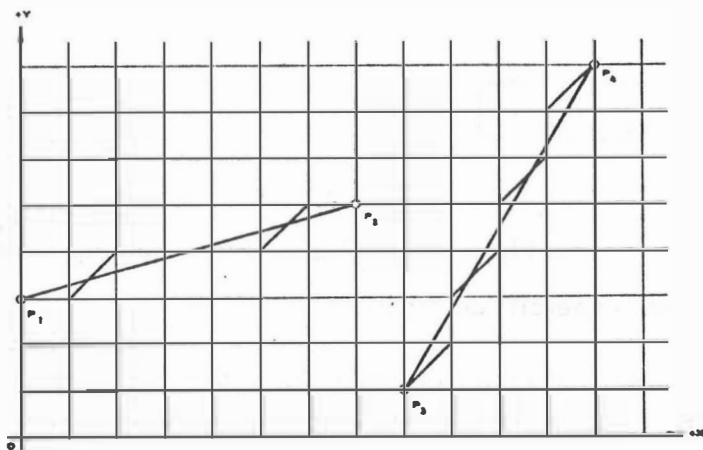


Die Länge eines kombinierten Schritts beträgt demnach das $\sqrt{2}$ -fache des Grundschrilles in den Koordinatenrichtungen.



Aufwendigere Plotter begnügen sich jedoch nicht mit acht Vektoren, sondern erreichen durch Verwendung verschiedener Schrittweiten in X- und Y-Richtung 16 bzw. 24 Vektoren. Dadurch wird zweifellos die Optik der Zeichnung verbessert, es erscheint aber fraglich, ob diese Verbesserung so wesentlich ist, daß sich für einen Geodäten diese teurere Investition lohnt.

Jede darzustellende Kurve wird sich nun aus den entsprechenden Grundschritten zusammensetzen müssen. Legt man ein System von 8 Vektoren zugrunde, so ergibt



sich für zwei beliebige Gerade folgendes Bild: (eine Einheit entspricht einem Elementarschritt). Es darf an dieser Stelle schon vorweggenommen werden, daß das Problem einen optimalen Algorithmus zur Ermittlung der Aneinanderfolge der Grundschritte zu finden, eines der wesent-

lichsten und grundlegendsten bei der Erstellung von Plottersoftware ist.

Einige Firmen waren nun bestrebt, automatische Zeichenmaschinen herzustellen, die die Zeichnung tatsächlich in kontinuierlichen Zügen ausführen.

Annähernd kontinuierliche Linienzüge werden dadurch erreicht, daß man die X- und Y-Motoren nicht mit gleichen, sondern mit Frequenzen in ganzzahligen Verhältnissen ansteuert, wodurch sich Diagramme von 100 und mehr Vektoren ergeben.

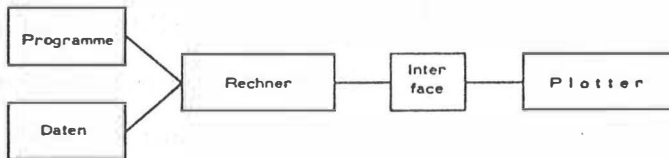
Einen tatsächlich kontinuierlichen Linienzug erhält man allerdings nur bei stetiger Geschwindigkeitsänderung des Antriebs durch X- und Y-Motor, wobei der Antrieb

selbst durch Gleichstrommotoren, die auf Kugelumlaufspindeln wirken, erfolgt. Die Preise für solche Zeichner liegen allerdings weit über dem an dieser Stelle diskutierten Bereich.

Weitere hardwaremäßige Elemente einer Einrichtung zum automatischen Zeichnen hängen von der gewünschten Betriebsart der Anlage ab. Es bieten sich 3 Möglichkeiten an: Der Betrieb On-Line, Off-Line und das Time-Sharing-Verfahren.

Die Lösung On-Line bedeutet, daß der Zeichner mit dem Rechner direkt über eine Anpassungseinheit - dem Interface - verbunden ist. Dabei ist Zeichenzeit gleich Rechenzeit, denn solange der Plotter in Betrieb ist, wird auch der Rechner, z.B. zur Interpolation von Geraden, benutzt.

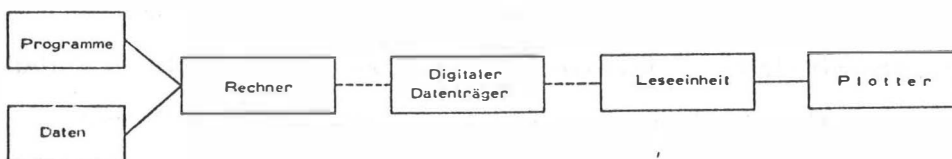
Das entscheidende Element in dieser Konfiguration ist das Interface, dessen Erzeuger entweder die plotter- oder die rechnererzeugende Firma ist. Die Herstellung einer solchen Anpassungseinheit erweist sich aber in der Praxis oft als schwierig und langwierig, z.T. sogar als unmöglich.



Es ist also empfehlenswert, bei Ankauf eines Plotters darauf zu achten, daß das Problem der Verbindungseinheit zum Rechner bereits gelöst ist.

Von der Elektronik dieses Interfaces hängt im hohen Maße der Bedienungskomfort ab, so zeigen gute Adapter dem Operator den Zustand der Zeichenmaschine an. (nicht bereit, am Endanschlag, Papiervorrat verbraucht ...)

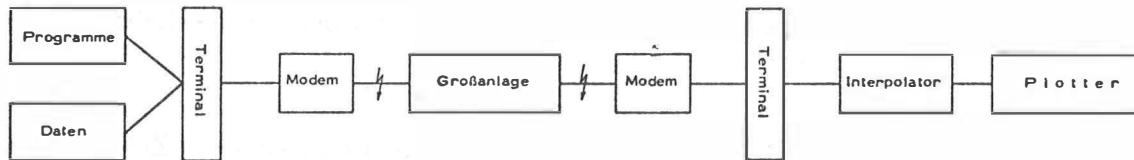
Dem gegenüber bedeutet die Betriebsart Off-Line, daß die Ausgabedaten für die Zeichnung - die Steuerinformationen - vom Rechner auf Lochstreifen, Magnetbänder, Platten usf. geschrieben werden, womit



der Computer seine Arbeit beendet hat und wieder voll zur Verfügung steht.

Diese digitalen Daten müssen dann von einem geeigneten Gerät gelesen werden, das seinerseits damit die Zeichenmaschine steuert, wodurch die hohe Zeichengeschwindigkeit besser genutzt werden kann.

Den Plotter mittels Datenfernübertragung zu betreiben ist zweifellos die aufwendigste Betriebsart.



Das Verbindungsglied zur Großrechenanlage stellt ein Terminal dar, bestehend aus Fernschreiber oder Konsolschreibmaschine. Der Modem (Modulator - Demodulator) dient zur Verwandlung der ursprünglichen Informationen in übertragbare Signale und umgekehrt.

Nahezu unerlässlich in dieser Konfiguration ist jetzt der Interpolator, denn bei Vorhandensein einer solchen Steuerlogik müssen weniger Signale übertragen werden, wodurch die im Vergleich zum Plotter geringe Fernschreibgeschwindigkeit nicht so stark zum Tragen kommt. Jedoch muß diese Steuerelektronik als Puffer ausgebildet sein, damit eine kontinuierliche Zeichnung gewährleistet werden kann, was zu einer wesentlichen Kostensteigerung führt. Weiters sind folgende Punkte ins Kalkül zu ziehen: Erstens die relativ teuren Rechnerzeiten und zweitens das Wegfallen jeglicher Eingriffsmöglichkeiten während des Zeichenvorganges.

Diese Fakten sprechen tatsächlich zu Gunsten der MDV, wobei noch zu entscheiden ist, ob dem On- oder dem Off-Line Betrieb der Vorzug gegeben werden soll. Diese Wahl hängt in jedem speziellen Fall von 2 Faktoren ab, und zwar vom Auslastungsgrad des Computers und von der Höhe der Anschaffungskosten der gewünschten Maschinenkombination. Zu bedenken ist allerdings, daß auch beim Off-Line Betrieb der direkte Eingriff in den Zeichenvorgang nicht möglich ist.

Vielfach wird diese Betriebsart in der gegenwärtigen Situation als Übergangslösung bis zur Fertigstellung des entsprechenden Interfaces gewählt, und später mit dem On-Line Betrieb abgewechselt, wodurch sich ein der jeweiligen Situation angepaßter optimaler Betrieb ergibt.

Neben diesen für die jeweilige Betriebsart unabdingbaren Hardware-elementen

gibt es noch solche, die ich als "Komfort" der Hardware bezeichnen möchte, die aber - darauf sei nachdrücklich hingewiesen - zum ersten einen großen Einfluß auf die Softwareerstellung haben und zum zweiten die Zeichenmaschine für einige Aufgaben erst geeignet machen.

Gerade aber in diesen zusätzlichen Möglichkeiten und Einrichtungen treten Unterschiede zwischen Tisch- und Trommelplottern auf, wobei generell festgestellt werden kann, daß der im allgemeinen höhere Preis für Tischplotter durch eine Reihe von Vorteilen aufgewogen wird.

Können z.B. auf einem Trommelplotter bloß Papier und Polyester als Zeichenunterlage verwendet werden, so kann beim Tischplotter jedes beliebige Zeichenmaterial benutzt werden, dazu kommt der nicht geringe Vorteil, daß beim Tischplotter stets die gesamte Zeichnung überblickt werden kann. Weiters sind die Tischplotter bei den meisten Firmen in Bezug auf Arbeitsgeräte wie Tuschefüller, Kugel- und Filzschreiber, Punktiergerät, Gravier- und Schneidewerkzeug besser ausgerüstet als die entsprechenden Trommelplotter. Dies geht sowohl auf technische als auch auf finanzielle Erwägungen zurück.

Eine spezielle und vor allem für die Kartographie wichtige Zusatzeinrichtung ist der Lichtschreibkopf. Damit können auf einer lichtempfindlichen Zeichenunterlage Linien und Symbole in einer Stärke von 0,05 - 10,00 mm erzeugt werden.

An dieser Stelle soll auf ein Extrem aus der großen Familie der Plotter eingegangen werden - auf den Plotter der südkalifornischen Firma XYNETICS. Die von diesem Zeichner erreichte Geschwindigkeit beträgt im Maximum 1,5 Meter pro Sekunde. Dabei treten Beschleunigungen bis zu 2g auf. Angegeben wird von Xynetics eine Genauigkeit von 0,01 mm. Diese Kombination von extrem hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit wird durch einen magnetfeldgesteuerten Motor erreicht, der auf einem Luftkissen unter der ferromagnetischen Antriebsebene schwebt, wodurch Verschleiß, Reibung, Spiel und Dehnung durch mechanische Elemente wegfallen.

Interessant ist vielleicht noch daß - bedingt durch die Geschwindigkeit - eigene Tuschwerkzeuge mit Druckluftfüllung entwickelt werden mußten, die aber, wie mir Augenzeugen berichteten, nicht immer einen gleichmäßigen Tuschestrich gewährleisten.

Dieses Beispiel soll vor Augen führen, daß wohl immer noch schnellere, noch genauere und mit noch mehr Zusatzgeräten versehene Maschinen erzeugt werden, diese jedoch noch schnellere und noch größere Rechner bedingen, d.h. eine 2-fache Kostensteigerung hervorrufen.

Wollen wir uns mit einem Preis von rund einer Million Schilling für die gesamte Maschinenkonfiguration begnügen, so werden wir sicher auf diese extremen Geschwindigkeiten und Genauigkeiten verzichten müssen, nichtsdestoweniger bei einem sehr günstigen Preis-Leistungsverhältnis aus geodätischer Sicht Ansprüche stellen können, die in fast allen Fällen befriedigt werden.

Welche Kriterien gelten nun aber bei der Beurteilung eines Plotters und was darf der potentielle Käufer von einer automatischen Zeichenmaschine - in sinnvollem Preisverhältnis zur MDV - verlangen?

Gehen wir als Geodäten von der Genauigkeit aus, so stellen wir fest, daß gerade auf diesem Gebiet das Angebot unseren Wünschen sehr entgegenkommt. Allerdings bestehen Differenzen in der Art der Genauigkeitsdefinitionen, sodaß es sich lohnt, näher darauf einzugehen.

Als Basis zur Angabe der Genauigkeit ist die Länge eines Elementarschrittes - die Schrittweite - zu nehmen. Sie beträgt bei der Mehrzahl der Typen 0,1 mm, was für geodätische Anwendungsbereiche vollkommen ausreichend erscheint. Besteht die Möglichkeit, die Schrittweite auf 0,05 mm zu variieren, so ist dies sicher in einigen Fällen von Vorteil.

Allerdings werden auch Geräte mit Schrittweiten bis 0,025 mm angeboten, ja noch genauere wie etwa der CALCOMP Präzisionsplotter 745, der auf einem Ausschnitt von 50 x 50 cm der Zeichenfläche bei einer "Minimalschrittweite" von $2,5\mu\text{m}$ eine Positioniergenauigkeit von $\pm 12,5\mu\text{m}$ bringt. Bei diesem Zeichner besteht die Zeichenfläche aus einem polierten Granitblock von 3 Tonnen Gewicht! Die gesamte Maschine übt einen Bodendruck von 600 kg/m^2 aus und benötigt, um sinnvoll eingesetzt zu sein, die Befehlsfolge eines Großrechners.

Daher sei nochmals betont, daß es eine Reihe von Trommel- und Tischplottern gibt, die eine Schrittweite von 0,1 mm aufweisen und in tragbarem Preisverhältnis zur MDV stehen. Diese Genauigkeit ist von der Hardware her völlig ausreichend für geodäti -

sche Belange. Alles, was darüber hinausgeht ist Luxus und muß zusätzlich bezahlt werden.

Häufig tritt in Prospekten der Ausdruck *Positioniergenauigkeit* auf. Er gibt die Abweichung des Zeichengerätes in seiner endgültigen Position von einem idealen Raster an, den man sich über die Zeichenfläche gelegt denken muß.

Das Auflösungsvermögen wird im allgemeinen nur bei extrem hohen Genauigkeiten angegeben, bedeutet dann allerdings manchmal *Schrittweite*, manchmal *Positioniergenauigkeit*.

Die reproduzierbare Genauigkeit gibt die zu erwartende Differenz bei nochmaligem Anfahren eines Punktes an.

Einem potentiellen Käufer, der natürlich außerstande ist, diese Genauigkeitsangaben nachzuprüfen - dies geschieht mit Laserinterferometern - ist anzuraten, den Plotter eine genau definierte geometrische Figur mehrmals hintereinander zeichnen zu lassen. Dabei zeigen sich deutlicher als man vielleicht glauben mag Schwächen und Unexaktheiten einer automatischen Zeichenmaschine.

Eng mit der Genauigkeit ist die *Geschwindigkeit* korreliert, denn bei kürzeren Schrittweiten und gleichbleibender Schrittzahl in der Zeiteinheit sinkt die Zeichengeschwindigkeit, die üblicherweise in cm/sec angegeben wird.

Bei Geräten in der hier zur Debatte stehenden Preisklasse dürfen Geschwindigkeiten von 3-10 cm/sec erwartet werden, was bei einer zugrundegelegten Schrittlänge von 0,05 - 0,10 mm einer Schrittzahl von 600 - 1000 pro Sekunde entspricht. Eine präzisere Aussage liefert demnach die Angabe der maximalen Schrittfolge im Zusammenhang mit der Schrittweite.

Die oben angeführten Werte verstehen sich aber insofern als Maximalwerte, als sie für gerade Linien gelten. Bei gekrümmten Linien hingegen ist in Abhängigkeit von der Krümmung eine mehr oder minder große Anzahl von Zwischenpunkten zu interpolieren, wodurch die Plottergeschwindigkeit von der Rechengeschwindigkeit gedrosselt wird.

Dieses Problem trifft ganz besonders auf die MDV mit ihren relativ großen Rechenzeiten zu und es wird daher an einer optimalen Software liegen, den Zeitverlust

durch den Rechner in vertretbaren Grenzen zu halten.

Der Preis einer automatischen Zeichenmaschine hängt aber auch noch von der Größe der Zeichenfläche ab und zwar nicht so sehr deshalb, weil bei einem größeren Format die Teile an sich größer sind, sondern weil die Genauigkeit über einen größeren Bereich aufgrund von Masse und Ausdehnung der bewegten Elemente viel schwerer zu halten ist.

Auf dem Markt sind gegenwärtig Zeichner mit Formaten zwischen A 4 und 3 x 10m (Aristo), allerdings bewegen sich auch die Preise etwa in diesen Relationen. Die Formate A 1 und A 0 werden aber von einem Großteil der Firmen in jener Preisklasse angeboten, die mir im Zusammenhang mit MDV diskutabel erscheint.

Zusammenfassend seien nochmals die entscheidenden Kriterien mit den entsprechenden Werten tabellarisch angeführt:

	GENAUIGKEIT Schrittweite	GESCHWINDIGKEIT Schritte/sec cm/sec		FORMAT mm
Erreichte Extremwerte	2,5 μ m	60 000	150	3 000 x 10 000
Für die Kombination MDV - Plotter sinnvoll erscheinende Werte	0,05 - 0,10 mm	600 - 1 000	3 - 10	A 1 bis A 0

Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, treten dazu aber noch jene Hardwareelemente, die mit "Komfort" bezeichnet wurden, die sich aber im Einzelfall - z.B. für Gravur in der Kartographie - als unerlässlich erweisen können.

Eines der wichtigsten, wenn nicht das wichtigste Kriterium bei der Entscheidung für eine automatische Zeichenmaschine ist aber die Software, und zwar was ihren Umfang, ihre Güte und ihre Kompatibilität betrifft.

Auf den ersten Blick scheint die bereits vorhandene Software ihrem Umfang und ihrer Güte nach durchaus akzeptabel, wenn auch im speziellen Fall Geodäsie Verbesserungen in beiden Richtungen möglich und wünschenswert sind (zentrierte Symbole, Linientypen, Art der Eingabe).

Problematischer ist die Situation bei der Kompatibilität und zwar insofern, als die vorhandene Software entweder in Fortran oder in Basic-Fortran geschrieben ist bzw. geschrieben wird.

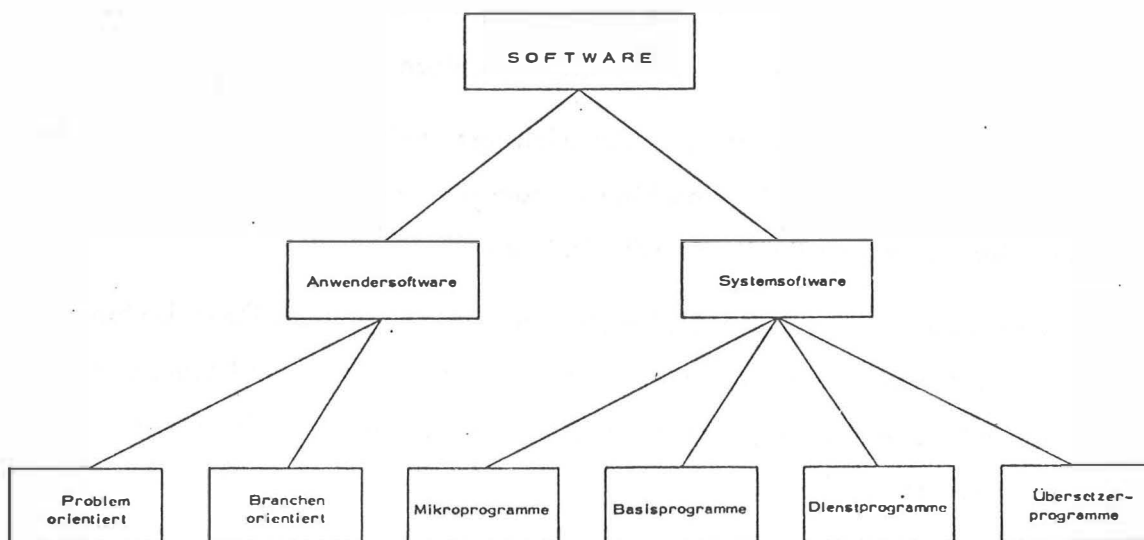
Daraus resultieren folgende mögliche Fälle: Man kauft einen Plotter samt Steuerlogik und Programme. Dies ist gleichbedeutend mit hohen Kosten. Oder aber man besitzt bereits eine fortranverständige Maschine, d.h. man hat den Compiler schon im Kaufpreis mitbezahlt und verzichtet für die Übersetzung in Maschinensprache ständig auf rund 66% des Speichers.

Falls man aber schon Besitzer eines Computers der mittleren Datentechnik ist und an automatisches Zeichnen mit der vorhandenen Software denkt, wäre man gezwungen einen Compiler, sofern dies möglich ist, zu kaufen, was aber nicht nur bezüglich des Preises, sondern auch bezüglich des Speicherraums äußerst problematisch ist.

Die optimale Lösung ist zweifellos eine spezielle Softwareentwicklung, die auf die gegebene Maschinenkonfiguration besonders abgestimmt ist und sicherlich nicht wesentlich mehr als jeder einzelne Compiler kostet.

Diese Situation war für uns der Anlaß, spezielle Geodäsie-Software zu entwickeln, und zwar für die Maschinenkombination PHILIPS P 352 - ein echter MDV - Computer der uns im interfakultären Rechenzentrum zur Verfügung steht - und einem automatischen Zeichner auf Endlosformat vom Typ BENSON 121, der uns von der Firma R.u. A. ROST freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde.

Diesem Abschnitt möchte ich noch eine allgemeine Einteilung der Software (nach Prof. HEINRICH) voranstellen:



(nach Prof. HEINRICH)

- Anwenderorientierte Software: Programme und Teilprogramme, die direkt für die vom Anwender zu lösenden Datenverarbeitungsprobleme verwendet werden können.
- problemorientiert: lösen Probleme, die in verschiedenen Fachgebieten auftreten können.
- branchenorientiert: Individualprogramme, spezielle Probleme einer Fachgruppe oder eines Anwenders.
- Systemorientierte Software: erfüllt zwei Hauptaufgaben
- 1) optimale Ausnutzung der Hardware
- 2) Hilfe für die Entwicklung der Anwendersoftware
- Mikrosoftware: Programme zur Realisierung der Maschinenbefehle, bestimmt den Befehlsvorrat der Hardware
- Basissoftware: erleichtert den Job auf der Anlage und überwacht und unterstützt den Ablauf des Anwenderprogrammes
- Lösch- und Laderoutinen, E/A Routinen.
- Dienstprogramme: optimale Ausnutzung, Duplizierprogramme, Konvertierprogramme, Testprogramme
- Übersetzerprogramme: Assembler übersetzen in maschinenorientierten Assemblersprachen geschriebene Programme (MDV)
- Compiler übersetzen in problemorientierten Sprachen geschriebene Programme.

Für den Anwender ist nun einzig und allein die anwenderorientierte Software von Bedeutung, um diese jedoch herstellen zu können mußte sehr wohl auch systemorientierte Software (z.B. Testprogramme) entwickelt werden.

Zur Verwirklichung unserer Ideen und Vorstellungen von Geodäsie-Software wurde folgender Stufenplan erstellt:

AUSBAUSTUFE I	AUSBAUSTUFE II	AUSBAUSTUFE III
Maßstab	Kreis	Quer- und Längsprofile
Gerade	Kurven 2. Ordnung	Schichtenlinienprogramm ?
Gerade strichliert, strichpunktliert	Bellebige Kurven	Adaptierung der Ausbaustufe III für die Magnetbandkassette
Zentrierte Symbole	Rotation der Beschriftung	
Beschriftung	Adaptierung der Ausbaustufen I und II für die Magnetbandkassette - vollautom. Zeichnung	
Rotation		
Hektarnetz		
Einzelpunktkartierung		
Automatisches Kartierprogramm		

Die erste Ausbaustufe enthält vorwiegend Grundsoftware, die nicht nur Endzweck sein soll, sondern die auch in anderen Programmen in Form von Subroutinen enthalten ist.

Die Stufen II und III sind zum Teil Ausbau, Vervollkommnung und Kombination der Programme der Grundstufe, zum Teil beinhalten sie eigenständige Programmentwicklungen.

Sämtlichen Ausführungen über die Software sei immer vorangestellt, daß es unser Ziel sein mußte, die Anwahl jedes Programms und Unterprogramms für den Operator möglichst einfach zu gestalten, ferner aber auch die notwendigen Eingaben wie z.B. Punktnummer, Strichrhythmus etc. den bisherigen Gepflogenheiten auf der P 352 gleich oder zumindest ähnlich zu machen.

Ein weiteres entscheidendes Kriterium war ferner die Überlegung, zumindest die Ausbaustufe I für eine 600-Wort Maschine ohne Magnetbandkassette zu adaptieren.

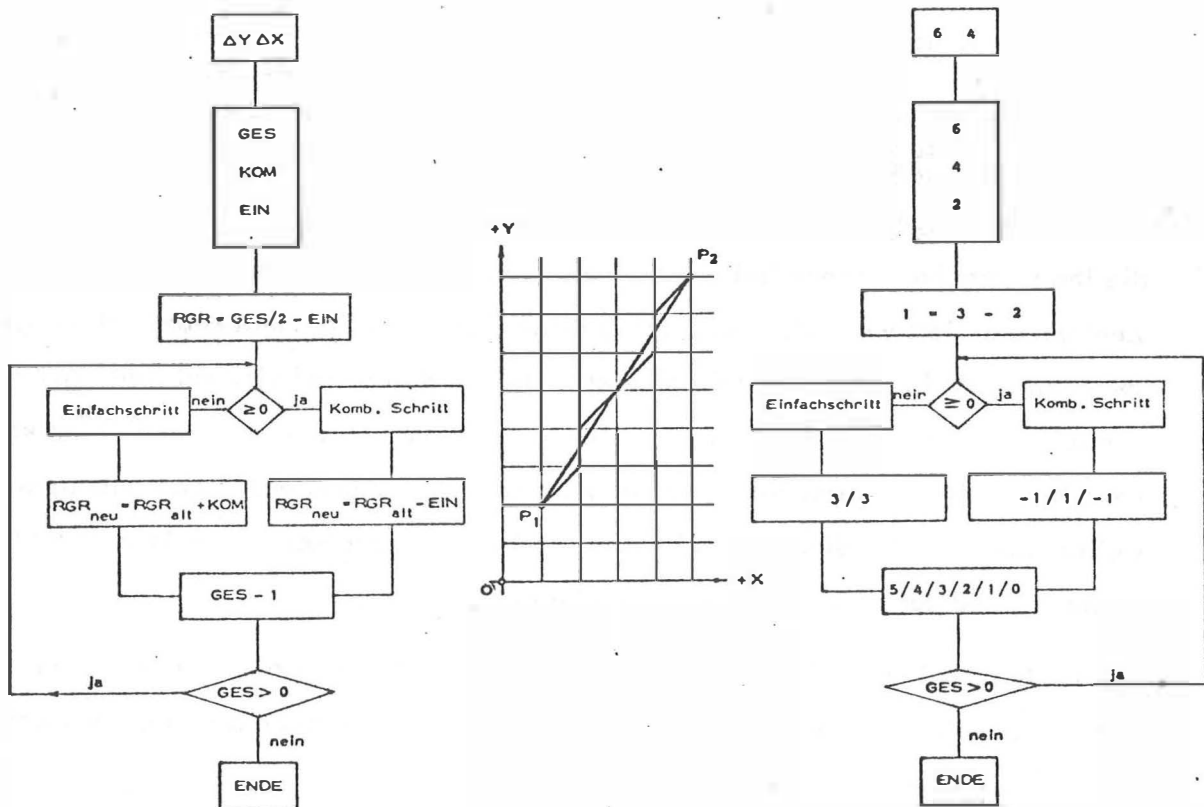
Eingehend auf die einzelnen Routinen muß grundsätzlich beliebige Maßstabswahl gefordert werden und zwar sowohl was die "unrunden" Maßstabsverhältnisse betrifft als auch die Möglichkeit zwischen Vergrößerungen und Verkleinerungen zu wählen. Weiters muß an Probleme des Straßenbaues gedacht werden die für die x- und y-Achse unabhängige Maßstabsdefinition erfordern (z.B. Trassenlängsschnitte).

Etwas näher sei auf das Problem der Geradendarstellung eingegangen. Unter der Voraussetzung einer Maschine mit acht Bewegungsfreiheitsgraden ist ein Algorithmus

gesucht, der aus den Koordinatendifferenzen zweier Punkte jene Befehlsfolge ermittelt, die den Plotter mit einem Minimum an Abweichung zur geradlinigen Verbindung steuert.

Dieser Algorithmus hat folgendes Aussehen:

Gegeben sind die Koordinatendifferenzen in X und Y vom Start- zum Zielpunkt. Daraus resultiert sofort die Gesamtschrittzahl GES die größer oder gleich ΔX oder ΔY ist. Nachdem aber auch die Einschränkung gilt, daß eine Gerade je nach ihrer Lage nur durch zwei Arten von Vektoren (z.B. nur X und XY oder nur Y und XY) dargestellt wird, folgt aus der kleineren der Koordinatendifferenzen die Anzahl der kombiniert auszuführenden Schritte und daraus als Differenz zur Gesamtschrittzahl GES die Zahl der Einzelschritte, deren Richtung aber bereits aus der Lage der Geraden - wie oben erwähnt - festliegt.



Damit ist nur mehr die Aufeinanderfolge von kombinierten und einfachen Schritten unbekannt. Diese läßt sich jedoch mit Hilfe einer Rechengröße RGR ermitteln, wobei RGR zu Beginn des Algorithmus und nach jedem durchgeführten Schritt den "Überhang" von kombinierten oder Einzelschritten angibt. Das bedeutet folgendes: vor Beginn der Geradendarstellung wird errechnet, von welcher Schrittart mehr auszuführen sind und

danach richtet sich sofort der erste Befehl, in unserem Beispiel also ein Befehl zu einem kombinierten Schritt, da weniger als die Hälfte Einzelschritte auszuführen sind. Dieses Verfahren setzt sich nun - in leicht modifizierter Form - nach jedem Schritt fort, bis der Zielpunkt erreicht ist, d.h. bis die Gesamtschrittzahl GES mit der Zahl der tatsächlich durchgeführten Schritte übereinstimmt.

Da die Variation der Strichstärke meiner Meinung nach nur hardwaremäßig sinnvoll zu lösen ist - sei es durch einen Zeichenkopf mit mehreren Werkzeughaltern, sei es durch einfaches Auswechseln der Federn - bleibt im Zusammenhang mit der Geradendarstellung nur noch das Problem des Strichrhythmus zu lösen. Unter Bedachtnahme auf den Speicherplatzbedarf einerseits und das möglichst einfache Handling andererseits entschlossen wir uns zur Möglichkeit der Eingabe eines Vierer-Rhythmus, der neben strichlierten und punktierten Linien auch die Ausführung von strichpunktierten Linien jeglichen Zwischenraums und jeglicher Strichlänge gestattet.

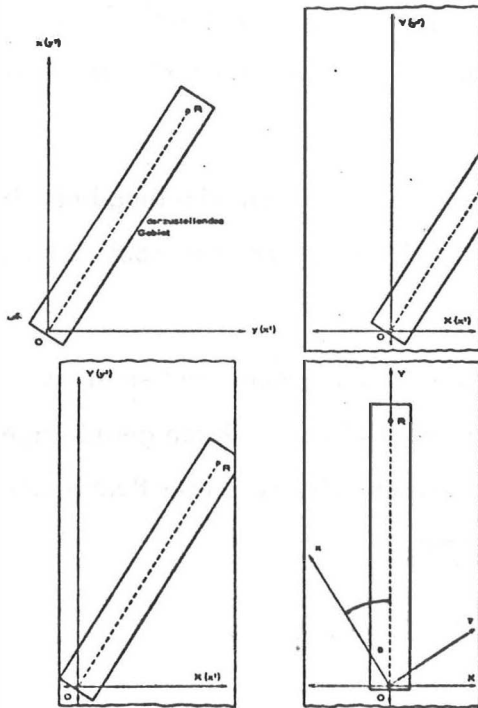
Neben der Geradendarstellung und ihren verschiedenen Variationen ist es für den Geodäten aber auch wichtig, verschiedene Formen der Punktdarstellung zur Verfügung zu haben. Man nennt sie zentrierte Symbole und versteht darunter Zeichen, die ihrer Form nach genau festgelegt sind und von denen ein bestimmter Punkt als Zentrum definiert wird, d.h. daß genau dieser Punkt des Zeichens koordinativ angesprochen wird. In der Grundstufe unseres Softwarepaketes sind die drei Zeichen Kreis, Kreuz und Punkt vorgesehen, die vom Operator wahlweise angesprochen werden können. Das Angebot an solchen Symbolen kann aber in Zukunft praktisch beliebig erweitert werden, allerdings erscheint dies nur bei Vorhandensein einer Magnetbandkassette - und damit von genügend Speicherraum - sinnvoll.

Gerade oder Kurven die mit zentrierten Symbolen beginnen oder enden werden selbstverständlich erst am Rande des Zeichens gestartet und auch am Rande des Zeichens abgebrochen.

Zur Beschriftung darf erwähnt werden, daß die Schriftgröße von 0,7 mm aufwärts durch Faktorenangabe stufenweise variabel ist (0,7; 1,4; 2,1; .. mm). Dies gilt ebenso für die zentrierten Symbole. Die Beschriftung kann weiters durch die Angabe eines Winkels zwischen 0 und 400^g gedreht werden.

Mit diesem Angebot an Software wäre nun bereits die Ausführung und Beschriftung einfacher Zeichnungen möglich, nicht aber die planliche Darstellung eines in seiner

Lage willkürlichen, größeren Vermessungsgebietes, denn auch wenn es sehr schmal sein sollte wird es in den seltensten Fällen genau in jener Koordinatenrichtung erstreckt sein in der der Plotter seine größte Ausdehnung hat. Oft wird daran auch eine Verschiebung des Plotterkoordinatenursprungs nichts ändern. Dieser Umstand macht eine Rotation - nach einer Umformung die die beiden Koordinatensysteme gleichdrehend macht - notwendig.



Über die Art der Festlegung dieser Rotation läßt sich natürlich diskutieren, was sich auch an der Vielfalt der bereits bestehenden Lösungen zeigt. Uns erschien es am günstigsten, sie durch die Angabe eines Punktes festzulegen, der in die Plotter-Y-Achse fallen soll, ausgehend von der Annahme, daß in fast allen Fällen dem Geodäten eine Übersicht-Katastermappe, alte Aufnahme, photogrammetrische Auswertung etc. - seines Vermessungsgebietes zur Verfügung

steht und er daraus ohne Schwierigkeiten die Haupterstreckung der planlichen Darstellung und damit auch die Lage jenes Punktes, der die Rotation angibt entnehmen kann.

Aus dem Ursprung - der in jedem Fall definiert werden muß - und diesem zweiten Punkt werden anschließend vom Computer die Transformationselemente errechnet und auf diese Weise das geodätische System in optimale Lage zur Zeichenfläche des Plotters gebracht.

Falls die Zeichnung eines Hektarnetzes erfolgen soll, geschieht dies vollautomatisch aufgrund der Angabe des Gitterabstandes.

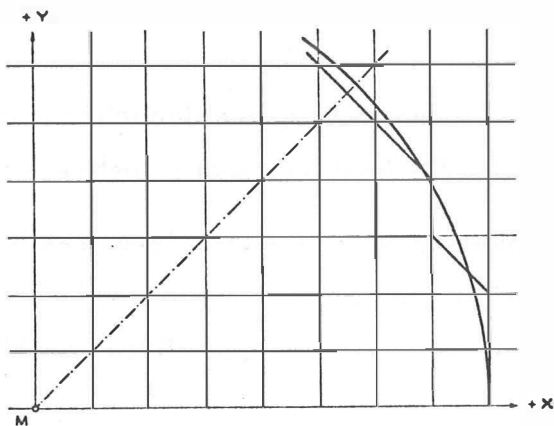
Selbstverständlich ist die Maschine in der Lage, von Hand aus eingegebene Punkte anzusteuern und mittels eines zentrierten Symbols zu kartieren. Darüber hinaus jedoch gestattet die entwickelte Software "Automatisches Kartieren" die vollautomatische Kartierung von im Speicher des Computers befindlichen Punkten innerhalb eines festzulegenden Bereichs durch ein wählbares Symbol und unter Beschriftung durch die Punktnummer. Dieses Programm inkludiert dabei die oben erwähnten Routinen wie Maßstabswahl, Rotation, Hektarnetz usw.

Übergehend auf die zum jetzigen Zeitpunkt zum Teil noch in Entwicklung befindlichen Programme der Stufe II ist festzustellen, daß als grundlegendste Routine wohl die Darstellung eines Kreises zu gelten hat.

Dabei geht es im wesentlichen darum, aus irgendwelchen Angabestücken eines Kreises eine solche Zahl von Peripheriepunkten zu ermitteln, daß deren geradlinige Verbindung den Kreis möglichst gut approximiert. Zur Errechnung dieser Punkte können nun verschiedene Methoden herangezogen werden.

Theoretisch die Einfachste wäre, nach der Formel

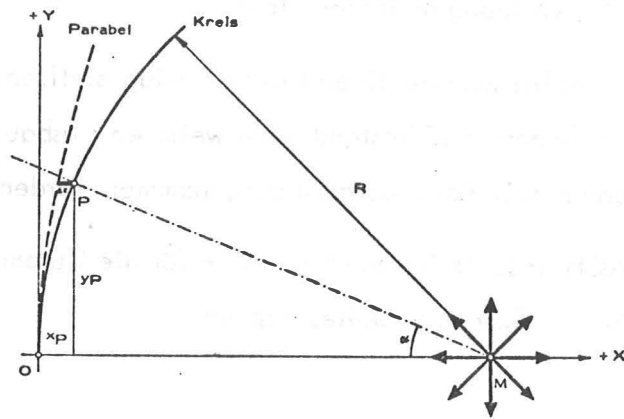
$$X^2 = R^2 - Y^2$$



Punkte zu rechnen, die in der Projektion auf die y-Achse einen Abstand von einem Elementarschritt haben und diese Punkte durch den jeweils nächstliegenden "plotfähigen" Punkt zu ersetzen. Diese Methode würde zweifellos sehr gute Ergebnisse bezüglich Genauigkeit und optischen Eindruck erbringen, jedoch vor allem bei größeren Radien einen ungeheuren Rechenaufwand erfordern, selbst wenn

man sich die Symmetrieeigenschaften des Kreises zunutze macht.

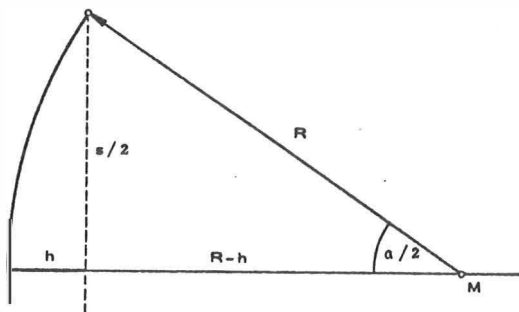
Um nun einerseits einen zeichnergerechten Algorithmus zu finden und andererseits den Rechenaufwand durch Vermeidung der Reihenentwicklung für die Wurzel zu ver-



mindern, versuchte ich, den Kreis stückweise durch eine Parabel zu ersetzen, was aber bei einem Achtkektorenplotter aufgrund der Länge des zu approximierenden Stückes zu große Ungenauigkeiten bringt. Vorausgesetzt - dies sei nochmals betont - man will aus den Parabelkoordinaten unmittelbar die Plotterschritte erhalten.

Vielfach wurde nun versucht, diesen Schwierigkeiten - die natürlich ganz besonders für die MDV zutreffen, bei Großrechenanlagen wäre auch die Berechnung weiterer Reihenglieder bei Entwicklung obiger Formel zeitlich durchaus möglich - dadurch auszuweichen, daß man den Kreis durch ein geschlossenes Polygon konstanter Seitenlänge ersetzt. Diese Methode hat aber den großen Nachteil, daß bei kleiner werdenden Radien nicht nur die Abweichungen Bogen-Sehne immer größer werden, sondern dadurch auch die Optik empfindlich gestört wird.

Um ein besseres Ergebnis zu erzielen, versuchte ich mir folgende Eigenschaften der Beziehungen Bogen-Radius-Sehne zunutze zu machen:



$$h = \frac{2R \sin^2 a/4}{a}$$

$$h = \frac{s^2}{8R} + \frac{h^2}{2R}$$

Dies bedeutet einerseits, daß bei konstantem Zentriewinkel die Abweichung Bogen-Sehne bei steigendem Radius steigt und andererseits sinkt, wenn die Sehnenlänge bei steigendem Radius konstant gehalten wird.

Durch Verbindung dieser beiden Erkenntnisse konnte ich - nachdem durch eine einfache Abschätzung die Grenze für die Anwendung der beiden Methoden gefunden war - tatsächlich eine für Achtkektorenplotter optimale Annäherung des Kreises durch ein Polygon erzielen. Weiters hat diese Methode den Vorteil, daß sie sich mit einigen

Modifikationen auch auf Kurven zweiter Ordnung ausdehnen läßt.

Damit wäre die Vorstellung der von uns bis zum heutigen Datum fertiggestellten Software beendet, es erübrigt sich zu betonen, daß beständig am weiteren Ausbau gearbeitet wird und etwaige Verbesserungen in das Programm aufgenommen werden.

Meinem Kollegen Dipl.Ing.H. PLACH möchte ich noch herzlich für die Zusammenarbeit bei der Erstellung des erwähnten Softwarepaketes danken.

Geowiss. Mitt. 3
1974, 21 - 71

BLOCKAUSGLEICHUNG IN ÖSTERREICH ?

von

G. Otepka

(Vortrag gehalten am 12. Dezember 1973
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing. Gottfried Otepka, Hochschulassistent am Institut für Photogrammetrie,
Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

ZUSAMMENFASSUNG

Österreich leistete in einer Reihe von Teilgebieten der Photogrammetrie bisher echte Pionierarbeit. Für den praktischen Einsatz der Blockausgleichungen trifft dies jedoch nicht zu. Da aber nun mit der Installation zweier Großrechenanlagen die Möglichkeiten für praktische Arbeiten gegeben sind, soll der vorliegende Artikel für alle österreichischen photogrammetrischen Produktionsstellen ein Anlaß sein, den möglichen Einsatz dieses Verfahrens für ihre Aufgaben zu überdenken.

Im ersten Teil wird das Problem der Projektplanung beleuchtet, da die Blockausgleichung sinnvoll nur als Teilprozeß innerhalb eines Gesamtprojektes gesehen werden kann.

Daran schließt eine Übersicht der technischen Anforderungen, die für die Blockausgleichung notwendig sind, sowie die Darstellung der mathematischen Formulierungsmöglichkeiten dieses Verfahrens.

Zentralproblem so einer Ausgleichung ist die Auflösung zum Teil sehr großer Gleichungssysteme. Ohne den Einsatz von Rechenanlagen kann diese Aufgabe analytisch nicht gelöst werden. An Hand von drei Beispielen wird gezeigt, daß für so eine Ausgleichung echte Probleme hinsichtlich Rechenzeit und ihrer numerischen Auflösung vorkommen.

Den Abschluß bildet ein Bericht über eigene praktische Blockausgleichungen. Die dabei erzielten Genauigkeiten sind durchaus äquivalent den Ergebnissen, die derzeit mit anderen Methoden aber weit höherem Aufwand in Österreich erreicht werden. Während die Einsparungen bei der Paßpunktmessung aufgezeigt werden, ist ein endgültiger Wirtschaftlichkeitsvergleich einer nachfolgenden Arbeit vorbehalten.

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Artikel kann die Fragestellung des Titels nicht beantworten. Die Ausführenden sollen vielmehr Anlaß zu Überlegungen bei den verschiedenen photogrammetrischen Produktionsstellen Österreichs geben, ob nicht auch für ihre Arbeiten der numerischen Photogrammetrie die Blockausgleichung einzusetzen wäre. Neben der Darstellung der theoretischen Blockausgleichungsmöglichkeiten soll durch das Aufzeigen einiger Schwierigkeiten und Probleme dieser Methodik einerseits und Ergebnissen praktischer Arbeiten des Autors auf der anderen Seite, mitgeholfen werden eine realistischere Diskussion der Methode Blockausgleichung anzuregen.

Die Existenz der photogrammetrischen Universalauswertegeräte in Mitteleuropa dürfte viele Photogrammeter derart stark beeinflusst haben, daß räumliche Aerotriangulation für sie ident mit Streifen-triangulation war. Die ersten echten Erfolge der räumlichen Blockausgleichung gab es bekanntlich erst nach Einführung von eigens dafür konstruierten Analogrechnern Mitte der Fünfziger Jahre. Von diesen Vorrichtungen seien nur der Analogrechner des Instituts Géographique National, Paris (IGN) für den Höhenausgleich und der in Österreich gut bekannte ITC-Jerie Analog-Computer für Lage- und Höhenausgleichung erwähnt. Obwohl gerade mit letzterem eine Reihe praktischer Arbeiten durchgeführt wurden (z. B. JERIE 1958, WALD-HÄUSL 1959) sind diese Analogrechner eigentlich zu spät erfunden worden, da nahezu parallel damit die ersten analytischen Verfahren der Blockausgleichung entwickelt und eingesetzt wurden (z.B. BERVOETS 1958 und 1960, SCHUT 1963).

Allerdings sollte es bis etwa 1970 dauern, bis es in Europa allgemeine, ausgetestete und für den Routinebetrieb geeignete Blockausgleichungsprogramme gab. Wenn aber heute (1973) Institutionen und Betriebe bei ihren numerischen photogrammetrischen Arbeiten die Möglichkeiten der Blockausgleichung nicht nutzen, so ist es, nach Meinung des Autors, an der Zeit zu prüfen, ob nicht auch ihnen die Verwendung dieser Methode Vorteile bringt.

Vor einer Umstellung von derzeit verwendeten Methoden auf photogrammetrische Blockausgleichung muß selbstverständlich gewährleistet

sein, daß dieser neue Teilprozeß innerhalb eines vermessungstechnischen Gesamtprojektes gerechtfertigt ist.

Folgende 3 Kriterien sind dafür zu erfüllen:

1. die derzeit erzielte und als notwendig angesehene Genauigkeit muß mindestens erreicht werden
2. die Kostenersparnisse müssen so groß sein, daß dadurch eine echte Verbilligung der Produktionskosten gegeben ist und/oder ein möglicher Personalmangel damit behoben werden kann
3. die bisherige Arbeitsdauer für ein Projekt darf keinesfalls überschritten werden.

Da diese 3 Kriterien bei Blockausgleichungen ab einer gewissen Operatsgröße normalerweise erfüllt sind, können nur übergeordnete Tatsachen oder das Fehler einer entsprechenden Rechenanlage der Anlaß dafür sein, daß man sich dieser Methode nicht bedient.

Aus der Vielzahl der Anwendungsgebiete für die eine Blockausgleichung nach internationalen Erfahrungen sinnvoll einzusetzen ist, wurden 2 Beispiele herausgegriffen, die laut Vermessungsgesetz (Bundesgesetzblatt Nr. 306, 1968) Aufgaben der staatlichen Vermessungsstellen sind und durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BAfEuV) durchgeführt werden müssen (Vermessungsgesetz, §2, Z2, 1968). Dabei handelt es sich einmal um die Paßpunkterstellung für eine Kartierung des Bundesgebietes mit der topographischen Karte (ÖK) 1:50 000 (Vermessungsgesetz §1, Z6, 1968) und zum zweiten, um die Netzverdichtung der Triangulierung fünfter Ordnung (Vermessungsgesetz §1, Z1.lit.a, 1968). Diese Festpunkte werden in Österreich als Einschaltpunkte (EP) bezeichnet und stellen neben den Triangulierungspunkten die Grundlagen aller numerischen Katastervermessungen dar.

Für beide Aufgaben wird seit Jahren in Österreich mit großem Erfolg numerische Photogrammetrie (HALWAX 1962, KOVARIK 1971, LEEB 1968), nicht jedoch analytische Blockausgleichung eingesetzt. In Kapitel 5 dieses Artikels kann über Ergebnisse praktischer Arbeiten

des Autors für beide Aufgaben berichtet werden. Beide Beispiele sollen Subprozesse eines ("pilot-project") innerhalb eines photogrammetrischen Projektes darstellen. Nach Wunsch von Herrn Professor NEUMAIER, der diese Arbeit initiierte und ermöglichte, soll es als ein Zusammenwirken einer Forschungsstelle und allen österreichischen Produktionsstellen verstanden werden, wobei bei entsprechenden Ergebnissen eine Rückkoppelung auf die Produktionsmethoden zu erwarten wäre.

2. PHOTOGRAMMETRISCHE PROJEKTPLANUNG

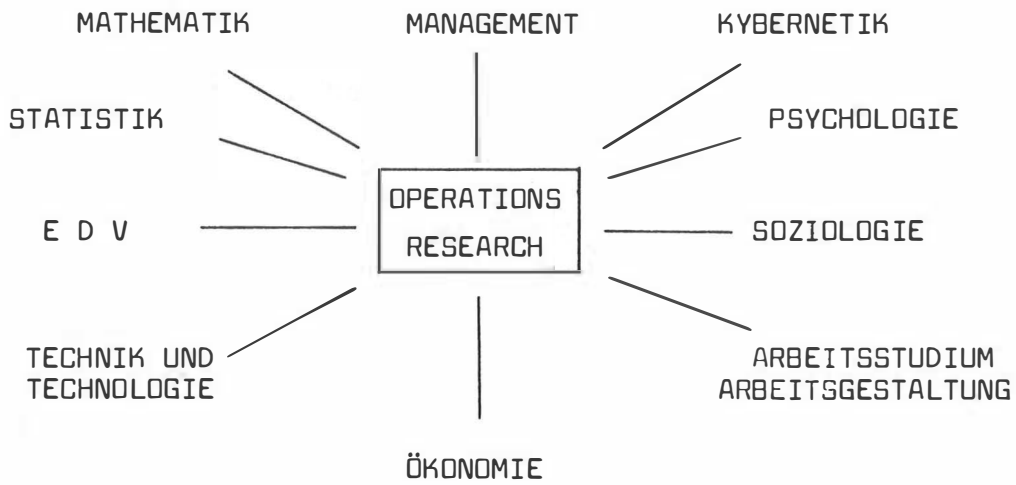
Die nachfolgende Definition der Aufgaben einer photogrammetrischen Projektplanung gab Professor JERIE 1968, anlässlich einer Vorlesung über dieses Thema: Aus der großen Anzahl von technischen Möglichkeiten, gegeben durch die Kombination verschiedener Teilmethoden, Geräte und Ausrüstung (d.h. der qualitativen Parameter) und möglicher Variationen der quantitativen Parameter (z.B. Bildmaßstab, Überbrückungsdistanz bei der Aerotriangulation usw.) ist unter Beachtung der zwischen verschiedenen Teilmethoden bestehenden Interrelationen und weiterhin unter Beachtung der durch die Umgebungsfaktoren der ausführenden Organisation gegebenen Bedingungen und Beschränkungen, diejenige Methode auszuwählen, die bei Erfüllung der gegebenen Spezifikationen den Mindestaufwand und Kosten und/oder Zeit erfordert (JERIE 1968).

Aus dieser Definition geht klar hervor, daß eine Projektplanung ein meist recht kompliziertes Zusammenwirken von Menschen, Maschinen und Systemen verschiedenster Art darstellt. Für diese Beziehungen einen optimalen Lösungsweg zu finden, ist die Aufgabe des Operations Research (OR).

Die vorliegende Arbeit will und kann auch gar nicht eine Behandlung des OR geben. Einige grundlegende Tatsachen erscheinen jedoch erwähnenswert, da für die Frage des Einsatzes der Blockausgleichung, der nur einen Teilprozeß innerhalb eines Projektes darstellt, ähnliche Überlegungen und Beziehungen gelten.

Die Abb. 1 zeigt die Beziehung des OR zu anderen selbständigen Disziplinen, wobei die Darstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

ABBILDUNG 1



Allgemein ist OR nicht an eine Rechenanlage gebunden. Ein Techniker, der jedoch eine Vielzahl von Kombinationen innerhalb der gestellten Optimierungsaufgabe betrachtet, wird sich der EDV als Hilfsmittel bedienen. Die wesentlichsten Merkmale des OR zeigt Abbildung 2.

ABBILDUNG 2

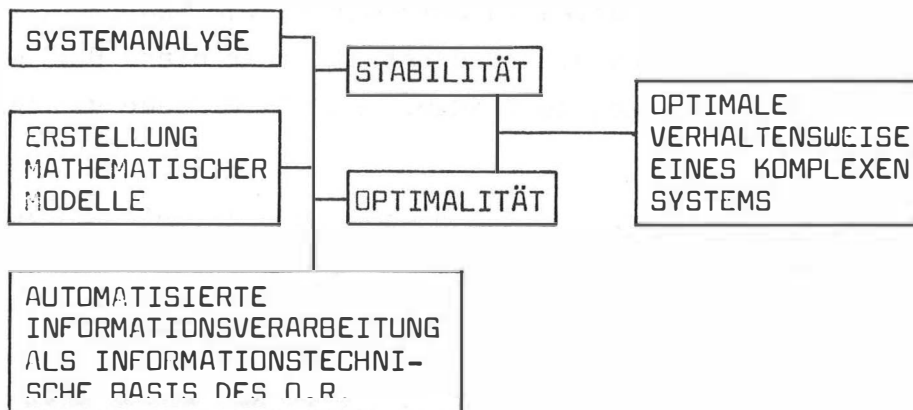


ABBILDUNG 3*)

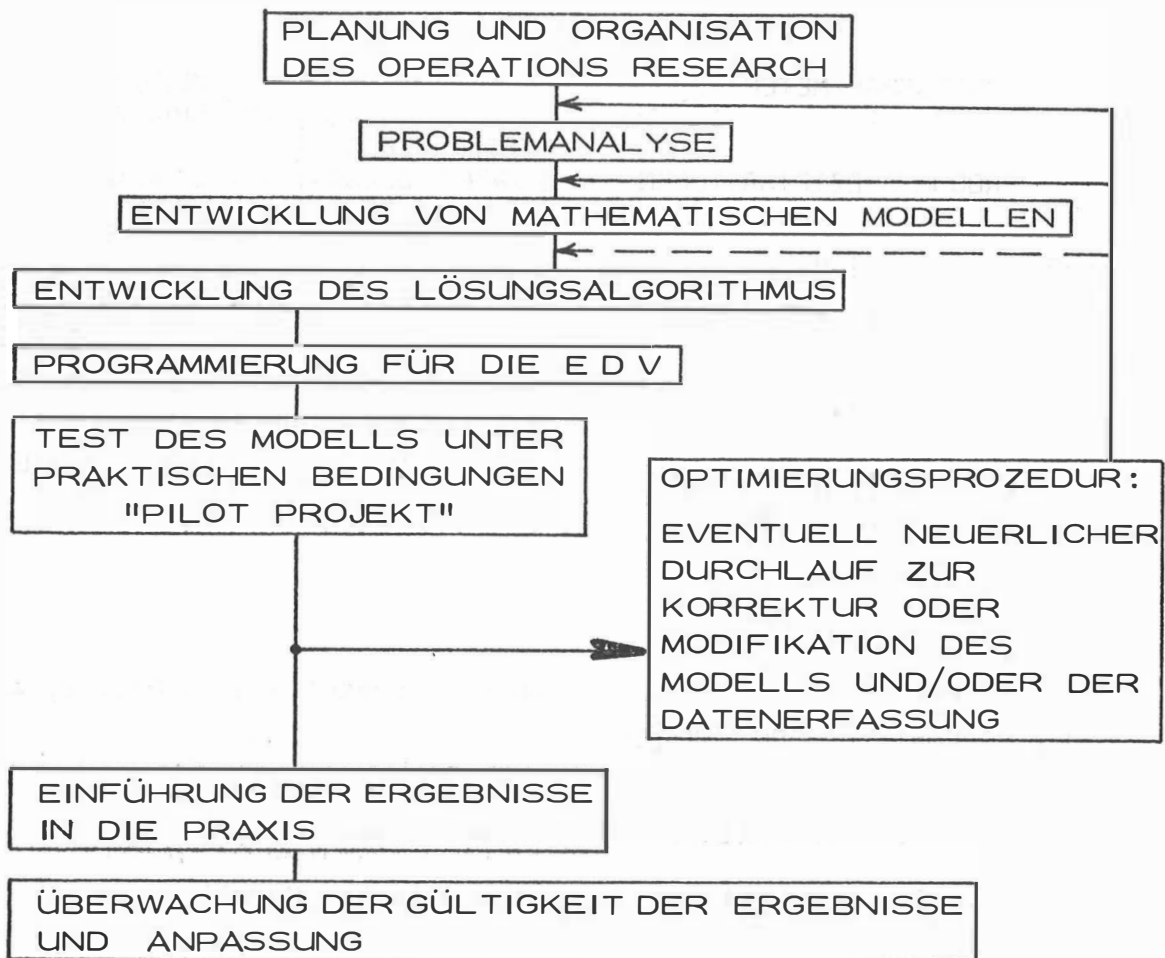
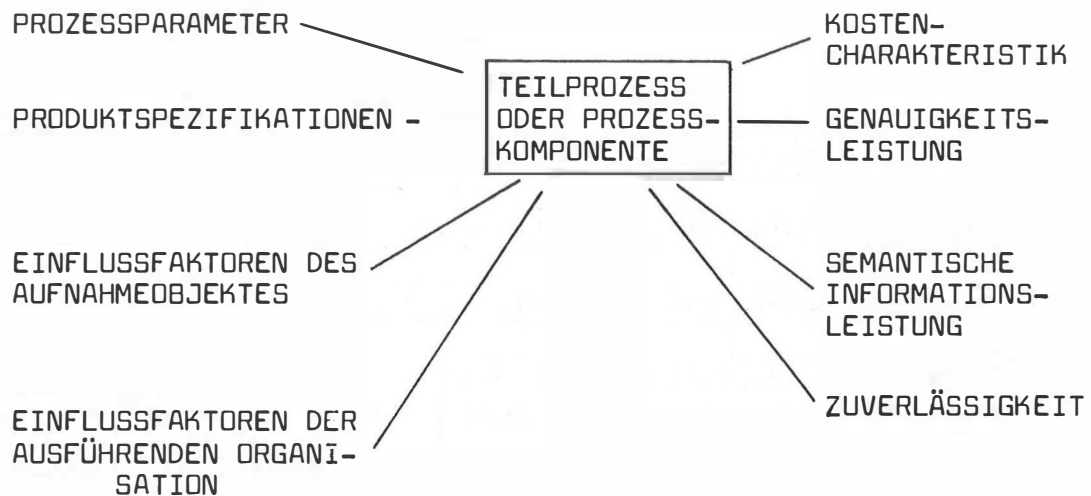


Abb. 3 schließlich zeigt ein Ablaufdiagramm der Arbeitsetappen für die Bearbeitung von Aufgaben mit Hilfe des OR. Erwähnt sei, daß für jeden Teilprozeß eine ähnliche Prozedur zu durchlaufen ist.

Die Faktoren, die jeden Teilprozeß innerhalb eines photogrammetrischen Projektes beeinflussen und die Auswirkung der einzelnen Prozeßkomponenten oder Teilprozesse auf das Gesamtprojekt wurden in Abb. 4 dargestellt.

*) Die Abbildung 1 - 3 wurden modifiziert aus GÖTTNER (1970) übernommen.

ABBILDUNG 4 (aus JERIE 1973)



Die Abb. 4 zeigt, entsprechend der Darstellung in Abb. 2, zwei der Merkmale des OR, nämlich

1. die Faktoren der Systemanalyse
2. die Faktoren der mathematischen Modelle

für Teilprozesse einer photogrammetrischen Projektplanung.

Während JERIE in seinen Arbeiten (1972 und 1973) die Systemanalyse ausführlich behandelt, gibt er für die mathematischen Modelle nur eine sehr vereinfachte Version an, die bei einer manuellen Planung quasi als check-Liste eingesetzt werden kann.

In den beiden oben zitierten Arbeiten meint JERIE, daß viele, der in einem OR Programm auftretenden funktionalen Beziehungen sowohl theoretisch als auch praktisch noch nicht ausreichend bearbeitet wurden. Vor allem fehlen für statistische Aussagemöglichkeiten entsprechende Datenmengen, um gesicherte Einflüsse angeben zu können. Der Autor hofft für den Teilprozeß Blockausgleichung unter österreichischen Bedingungen mit einer umfassenden Arbeit (OTEPKA 1974), Beiträge in dieser Richtung liefern zu können.

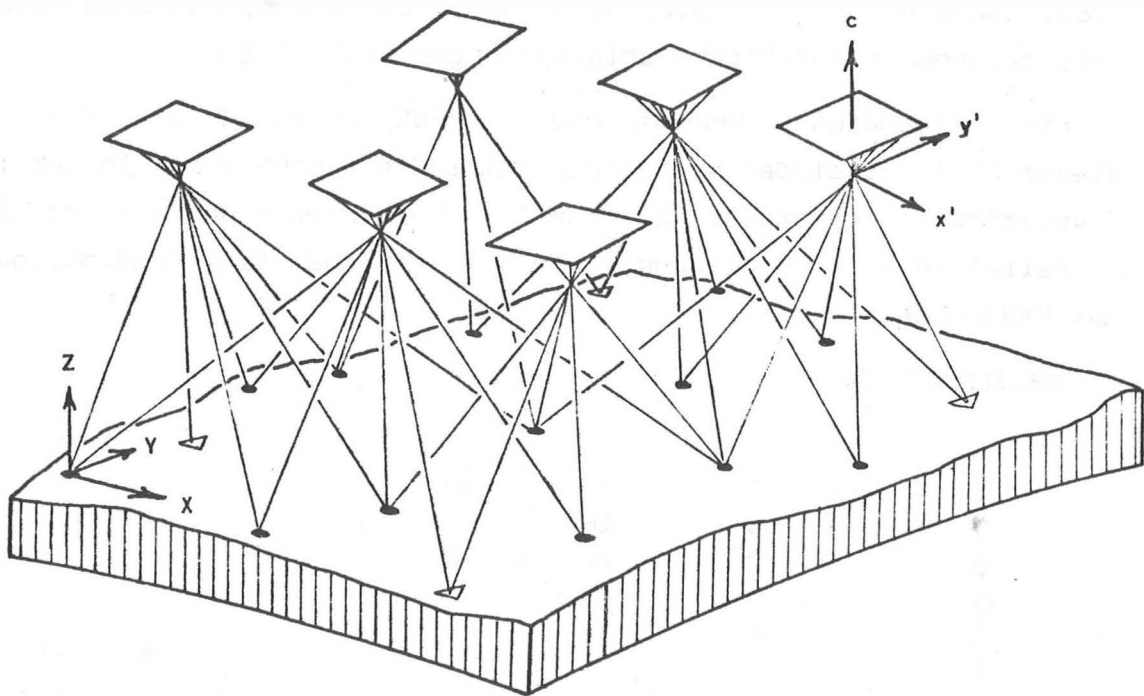
3. SUBPROZESS "ANALYTISCHE BLOCKTRIANGULIERUNG"

Der nachfolgende Abschnitt soll einen Überblick über die Blocktriangulierung in technischer Hinsicht geben.

3.1 DEFINITIONEN UND ALLGEMEINE MERKMALE

Die Blocktriangulation ist der allgemeinste Fall der räumlichen Aerotriangulation, die laut JORDAN, EGGERT, KNEISSL (1972), Seite 1629, alle diejenigen Meß- und Rechenverfahren zusammenfaßt mit deren Hilfe von Luftaufnahmen räumliche Koordinaten von Objektpunkten, d.h. Geländepunkten bestimmt werden können. Einschränkend zu dieser Definition wird in der vorliegenden Arbeit unter Luftaufnahme ausschließlich ein, mit Hilfe der Photographie entstandenes Bild einer photogrammetrischen Meßkammer verstanden. Ausgangsinformationen, die mit Hilfe anderer Sensoren gewonnen wurden, können beim heutigen Stand der Technik (1973), für Blockausgleichungen entsprechend der gestellten Aufgaben noch keine Verwendung finden.

ABBILDUNG 5



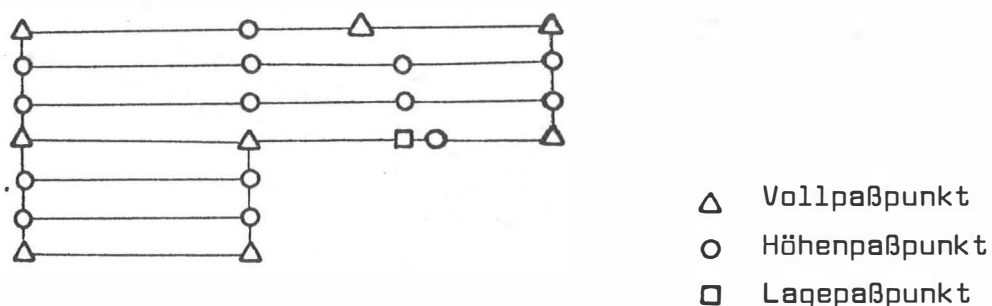
An Hand der in Abbildung 5 dargestellten Aufnahmesituation eines photogrammetrischen Blockes ist dessen Definition und die Aufgabenstellung klar ersichtlich. Formuliert man die Aufgabe, so sind aus einer Reihe meist paralleler Bildstreifen ($n \leq 2$), die eine Querüberdeckung von mindestens 20 % besitzen, simultan alle unbekanntenen Koordinaten und Orientierungsgrößen unter Beachtung aller durch die Überdeckung und Punktidentität bestehenden Beziehungen, zu bestimmen (JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1972, Seite 1799).

Selbstverständlich ist ein photogrammetrischer Block nicht an die oben angegebene schematische Anordnung gebunden. Aus physikalischen Gründen ist eine gleichzeitige Belichtung aller beteiligter Bilder unmöglich. Trotzdem wird die Gleichzeitigkeit aller Bilder postuliert, was eine zeitliche Unveränderung, der für die Blockausgleichung notwendigen Bilddetails, während der Befliegung voraussetzt. Eine zusätzliche Anforderung an das Bildmaterial ist durch die ausreichende Identifizierbarkeit bzw. Definierbarkeit der Triangulierungspunkte gegeben.

Die absolute Punktgenauigkeit der Neupunkte hängt bei vorgegebenen Bildern, Auswertegeräten und Methoden hauptsächlich vom Überdeckungsverhältnis, der Überbrückungsdistanz und der Verknüpfung ab. Diesbezüglich sei auf die Arbeiten von ACKERMANN (1966a, 1966b, 1967, 1968) und EBNER (1970, 1971, 1973) verwiesen, in denen über entsprechende theoretische Untersuchungen berichtet wird.

Eine allgemeine Bemerkung über die Paßpunktanordnung sei an dieser Stelle trotzdem gestattet, damit die Ausführungen in Kapitel 5 verständlicher werden. Für eine 20 % Querüberdeckung und parallele Bildstreifen zeigt Abbildung 6 die schematische "Standardanordnung" der Paßpunkte.

ABBILDUNG 6



Diese Abbildung zeigt, daß die Anforderungen an die Anzahl und Anordnung der Lage- und Höhenpaßpunkte in einem Block sehr verschieden sind.

- a) Lagepaßpunkte: der Rand des Blockes ist mit Punkten zu besetzen, wobei der Abstand zwischen ihnen wenige Basislängen betragen soll. Das Blockinnere kann völlig paßpunktfrei sein.
- b) Höhenpaßpunkte: der Block ist mit mindestens 3 Punktketten quer zur Streifenrichtung so zu bestücken, daß die beiden Stirnseiten der Einzelstriefen bestimmt werden. Die 3. Kette soll über die Blockmitte gehen, damit dadurch systematische Höhenfehler erfaßbar sind. Die einzelnen Ketten sind so dicht anzuordnen, daß die Querneigung jedes einzelnen Streifens kontrolliert ist (JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1972, S. 1806).

Die relativ große Anzahl von terrestrisch bestimmten Höhenpaßpunkten kann durch eine 60 % Querüberdeckung oder durch die Mitverwendung zusätzlicher Höheninformationen aus Hilfsdaten stark reduziert werden.

H.H. SCHMID hatte bereits 1956 bzw. 1958 den allgemeinsten Fall der Blockausgleichung angegeben. Trotzdem dauerte es, wie schon angedeutet, bis zu Beginn der Siebziger Jahre bis universelle Programme für die Blockausgleichung verfügbar waren. ACKERMANN (1970) begründet diese Tatsache damit, daß nicht die Formulierung, sondern die Bewältigung und Beherrschung des numerischen Prozesses dafür ausschlaggebend war.

3.2 EINTEILUNG DER BLOCKAUSGLEICHUNGSVERFAHREN

Üblicherweise teilt man die möglichen Verfahren nach den Einheiten aus denen ein Block gebildet wird ein.

Diese Einheiten sind:

- a) Strahlenbündel
- b) Einzelmodelle
- c) Einzelstreifen

Ausgehend von der Datenerfassung und den Ausgleichungsmöglichkeiten entsprechend obiger Einteilung, sind die einzelnen Phasen sowie die gängigsten Übergangsmöglichkeiten zwischen ihnen in Abb. 7 dargestellt.

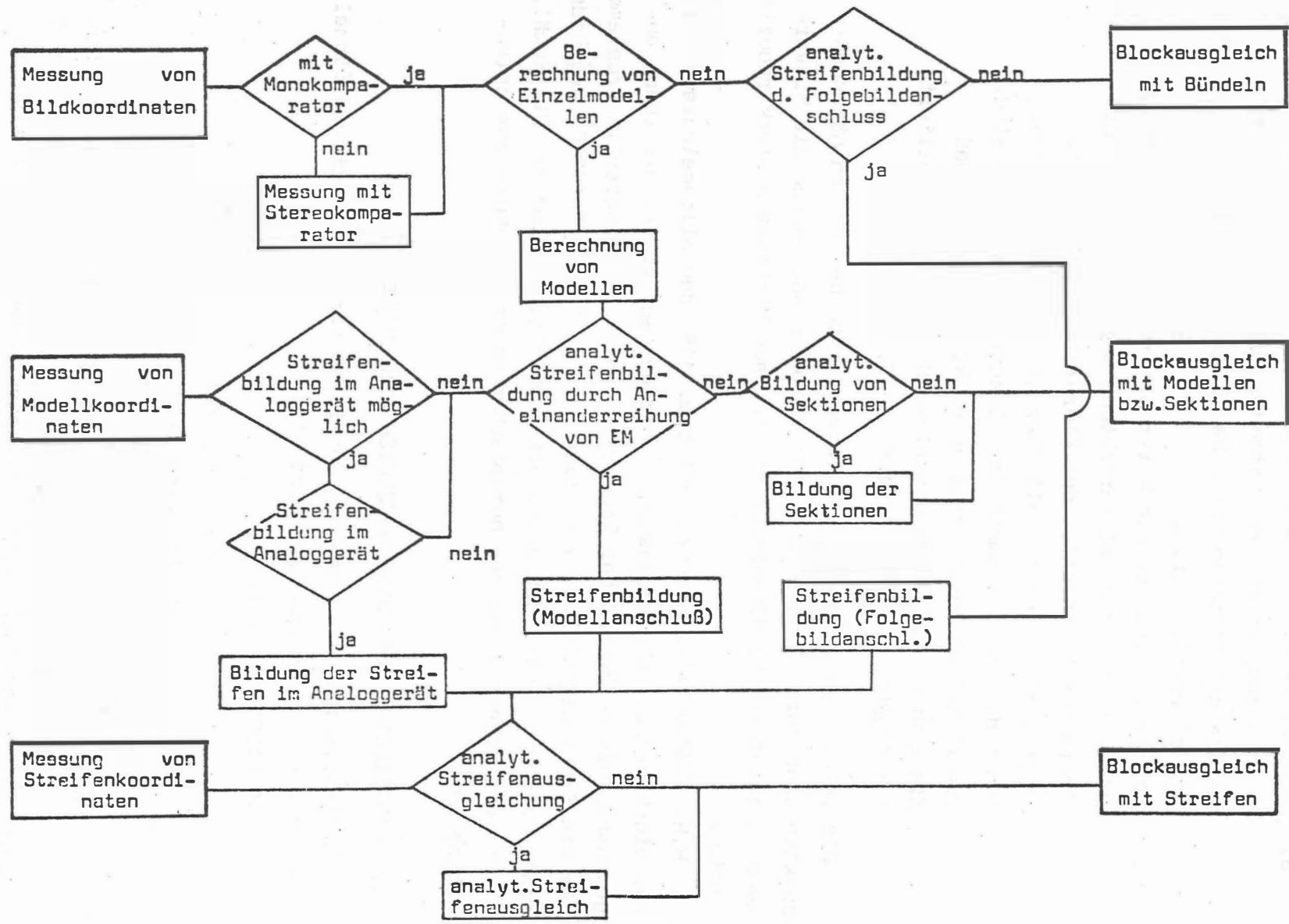


ABBILDUNG 7

3.2.1 BÜNDELBLOCKAUSGLEICH

Wenn bei einem Einzelbild zusätzlich noch die Elemente der inneren Orientierung bekannt sind, so wird dadurch ein Strahlenbündel aufgespannt. Aufgabe des Ausgleichsproblems ist eine simultane, rechnerische Orientierung aller Bündel relativ zueinander und in bezug auf vorgegebene Paßpunkte. Weiters sind die Koordinaten aller Triangulierungspunkte zu bestimmen (s. Abb. 5). Die mathematische Formulierung dafür lautet:

$$x' + v_{x'} = \frac{1}{c} \frac{a_1(X-X_0) + a_2(Y-Y_0) + a_3(Z-Z_0)}{a_7(X-X_0) + a_8(Y-Y_0) + a_9(Z-Z_0)} \quad (1)$$
$$y' + v_{y'} = \frac{1}{c} \frac{a_4(X-X_0) + a_5(Y-Y_0) + a_6(Z-Z_0)}{a_7(X-X_0) + a_8(Y-Y_0) + a_9(Z-Z_0)}$$

In den Gleichungen (1) bedeuten:

- x'_{ij}, y'_{ij} = die auf den Hauptpunkt reduzierten und korrigierten Bildkoordinaten des Geländepunktes i im Bild j
- c_j = die Kammerkonstante des Bildes j
- X_i, Y_i, Z_i = die Geländekoordinaten des Punktes i im Blockkoordinatensystem
- X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j} = die Geländekoordinaten des Projektionszentrums j im Blockkoordinatensystem
- a_{1j}, \dots, a_{9j} = die Elemente einer orthogonalen Drehmatrix R_j mit den Parametern $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$, die die Drehungen des Bildkoordinatensystems x_j, y_j, c_j gegenüber den Blockkoordinaten X, Y, Z für das Bildbündel j angibt
- $v'_{x'ij}, v'_{y'ij}$ = Verbesserungen der Bildkoordinaten des Geländepunktes i im Bild j , die bei dem Ausgleichsverfahren so zu bestimmen sind, daß $[vv]$ ein Minimum wird.

In diesen Gleichungen (1) sind auf jeden Fall die Bildkoordinaten x'_{ij} und y'_{ij} bekannt und die Geländekoordinaten X_i , Y_i und/oder Z_i falls es sich bei dem Punkt i um einen Lage- und/oder Höhenpaßpunkt handelt. Unbekannt sind die Parameter α_j , β_j und γ_j , sowie die Koordinaten der Projektionszentren X_{0j} , Y_{0j} und Z_{0j} aller Bilder j und die Geländekoordinaten aller Verknüpfungspunkte, die nicht Paßpunkte sind.

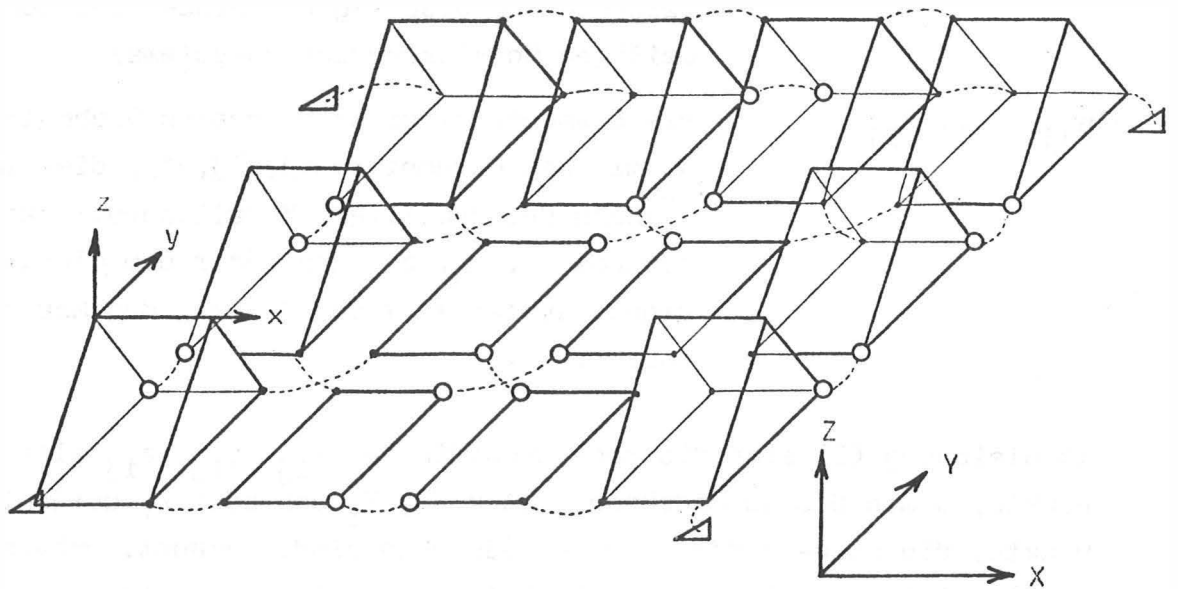
Da die Gleichungen (1) nicht linear sind, müssen sie linearisiert werden und die Bestimmung der Unbekannten ist nur in einem Iterationsprozeß möglich. Das Aussehen der linearisierten Fehlergleichungen ist von der Definition und Wahl der verwendeten Orientierungsparameter der Drehmatrix R_j abhängig.

So trivial die mathematische Formulierung des Ausgleichsproblems laut Gleichung (1) aussieht, gibt es neben den numerischen Schwierigkeiten noch eine Reihe anderer Probleme, wie z. B. Wahl der Drehmatrix, Korrektur der gemessenen Bildkoordinaten, Gewinnung von Näherungswerten für die Linearisierung, Erdkrümmung, Projektionsverzerrung der Paßpunktskoordinaten und die Bestimmung der Neupunkte, zu lösen.

3.2.2 BLOCKAUSGLEICHUNG MIT EINZELMODELLEN

Hier wird der Block als die Gesamtheit aller zu verknüpfenden Einzelmodelle aufgefaßt. Das intern nicht mehr zu deformierende räumliche Modell bildet die Einheit. Beim Ausgleichsverfahren werden mit allen Einzelmodellen (oder Sektionen) räumliche Transformationen - meist Ähnlichkeitstransformationen - so durchgeführt, daß die Widersprüche an den Paß- bzw. Verknüpfungspunkten ein Minimum werden. Abbildung 8 zeigt einen schematisch angeordneten Block. Aus der Abbildung geht klar hervor, daß die Projektionszentren für Modellverknüpfung in Streifenrichtung mitverwendet werden.

ABBILDUNG 8



- Δ Vollpaßpunkt
- \circ Höhenpaßpunkt
- \bullet Verknüpfungspunkt

Die Verbesserungsgleichungen einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation lauten:

$$\begin{aligned} X + v_x &= m(a_1x + a_2y + a_3z) + \Delta X \\ Y + v_y &= m(a_4x + a_5y + a_6z) + \Delta Y \\ Z + v_z &= m(a_7x + a_8y + a_9z) + \Delta Z \end{aligned} \quad (2)$$

In den Gleichungen (2) bedeuten:

- x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} = die Modellkoordinaten des Punktes i im Modell j
- X_i, Y_i, Z_i = die Geländekoordinaten des Punktes i im Blockkoordinatensystem
- m_j = der Maßstabsfaktor des Modells j

- $\Delta X_j, \Delta Y_j, \Delta Z_j$ = die Translationen des Modelles j (Differenz zwischen dem Ursprung des Block- und des jeweiligen Modellkoordinatensystems)
- a_{1j}, \dots, a_{9j} = die Elemente einer orthogonalen Drehmatrix R_j mit den Parametern $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$, die die Drehung des jeweiligen Modellkoordinatensystems x_j, y_j, z_j gegenüber dem Blockkoordinatensystem X, Y und Z für jedes Modell angibt.

In Gleichung (2) sind die Modellkoordinaten x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} aller Punkte, sowie die Geländekoordinaten X_i, Y_i und/oder Z_i derjenigen Punkte, die Lage- und/oder Höhenpaßpunkte sind, bekannt. Unbekannte des Ausgleichsproblems sind die 7 Transformationsparameter $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, m_j, \Delta X_j, \Delta Y_j$ und ΔZ_j aller Modelle j und die Geländekoordinaten aller Verknüpfungspunkte die nicht Paßpunkte sind. Die Koordinaten jener Punkte, die weder Paß- noch Verknüpfungspunkte sind, sind selbstverständlich auch unbekannt, doch gehen sie nicht in das Ausgleichsproblem ein. Die Anwendung der jeweiligen Transformationsparameter auf diese Punkte, liefert deren Blockkoordinaten.

So wie beim Bündelblockausgleich sind die Gleichungen (2) nicht linear. Die Linearisierung erfolgt normalerweise durch Reihenentwicklungen um die Näherungswerte $\alpha_j = \beta_j = \gamma_j = 0$ und $m_j = 1$.

Beim Blockausgleich mit Einzelmodellen ist die Trennung des nicht-linearen Problems durch Zerlegung in 2 lineare Transformationen möglich. Dabei werden ähnlich dem Vorgang bei einer empirischen, absoluten Orientierung an einem Auswertegerät, einmal die 4 Lageunbekannten $\gamma, m, \Delta X, \Delta Y$ und dann die 3 Höhenparameter α, β und ΔZ bestimmt. Durch einen Wechsel von Lage- und Höhenausgleichung wird das Problem iterativ gelöst.

Im Zusammenhang mit Abb. 8 wurde schon erwähnt, daß die Kenntnis der Koordinaten der Projektionszentren aller beteiligter Modelle für die Blockausgleichung notwendig ist. Während bei einem Bündelausgleich bzw. bei analytischen bestimmten Modellen die Projektionszentren direkt erhalten werden, müssen diese bei Auswertungen in Analoggeräten erst bestimmt werden.

Je nach verwendetem Gerät und geforderter Genauigkeit gibt es dafür 4 prinzipielle Möglichkeiten:

1. durch räumliche Vorwärtsschnitte
2. durch räumliche Rückwärtsschnitte
3. mit Hilfe eigener Einrichtungen
4. durch Annahme fiktiver Werte.

Wegen ausführlicher Behandlung dieser Frage wird auf entsprechende Literatur verwiesen (z.B. LIGTERINK 1970, STEWARDSON 1972).

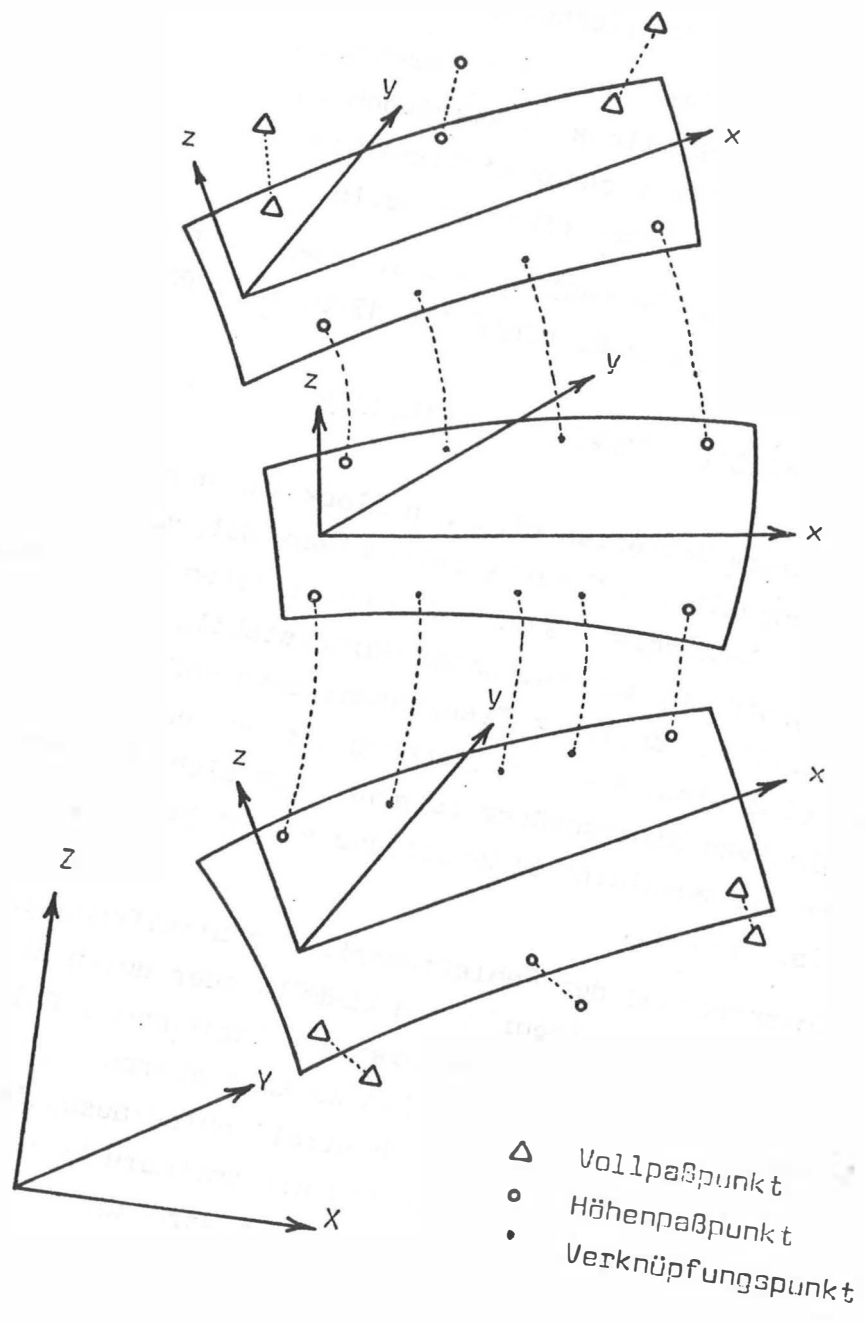
3.2.3 BLOCKAUSGLEICHUNG MIT STREIFEN

Bei diesem Verfahren wird ein Block aus analogen oder analytisch triangulierten Einzelstreifen gebildet, die eventuell schon einem Streifenausgleichsverfahren unterworfen sind. Aufgabe der Blockausgleichung ist es, unter Berücksichtigung der für einen Einzelstreifen möglichen Transformationen und Deformationskorrekturen, eine simultane Streifenausgleichung durchzuführen, wobei die relativen Widersprüche zwischen den sich überdeckenden Streifen und die absoluten Widersprüche an den Paßpunkten zu minimieren sind (s. Abb. 9).

Entsprechend der Fehlertheorie zur Streifenausgleichung kann entweder nach der Theorie von VERMEIR oder durch die Verwendung mehr oder weniger fehlertheoretisch begründeter Polynome versucht werden die Streifendeformation zu korrigieren. Die folgenden Formeln behandeln ausschließlich Streifenblockausgleiche mit Polynomen, da die fehlertheoretisch allgemeinere Methode den numerischen Vorteil, der in der reinen Bandstruktur der Normalgleichungsmatrix liegt nicht bietet und außerdem laut JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1972, S. 1816, diese Methodik in einem einzigen Höhenblockprogramm realisiert wurde.

Bei den Polynomverfahren wird für jeden Streifen i für jede Koordinatenkorrektur $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ein Polynom angesetzt. Wegen des Aussehens dieser Polynome bzw. wegen der Interrelationen sei auf WALDHÄUSL (1973) verwiesen.

ABBILDUNG 9



Allgemein lauten die Polynome für die Koordinatenkorrekturen

$$\Delta_i = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} (\text{Pol } x) \\ (\text{Pol } y) \\ (\text{Pol } z) \end{bmatrix}_i = (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots)_i = (\text{Pol})_i \quad (3)$$

Jeder in einem Streifen i vorkommende Paßpunkt t liefert einen absoluten Widerspruch Δ_i^t zwischen seinem Soll-Wert X^t im Blockkoordinatensystem und seinem Ist-Wert X_i^t im Streifen i .

$$X^t - X_i^t = \Delta_i^t = (\text{Pol})_i^t \quad (4)$$

Jeder in den Streifen i und $i+1$ vorkommende Streifenverknüpfungspunkt liefert einen relativen Widerspruch $d_{i,i+1}^r$ zwischen seinen im gemeinsamen Blockkoordinatensystem erhaltenen Ist-Werten X_i^r und X_{i+1}^r , was zu den Fehlergleichungen

$$X_{i+1}^r - X_i^r = d_{i,i+1}^r = (\text{Pol})_i^r - (\text{Pol})_{i+1}^r \quad (5)$$

führt. Die Gleichungen (4) und (5) liefern die Ansätze für das Ausgleichsproblem. Unbekannte sind dabei die Polynomparameter jedes Streifens. Nach Lösung dieser relativ kleinen Normalgleichungssysteme, die bei parallelen Streifen zusätzlich reine Bandstruktur haben, wird jeder Streifen für sich ausgeglichen. Die verbleibenden relativen Widersprüche werden durch Mittelbildung beseitigt.

4. PROZESSPARAMETER "PROGRAMM" UND EINFLUSSFAKTOR "RECHENANLAGE"

An Hand von 3 Beispielen soll gezeigt werden, daß es nicht gleichgültig ist an welcher Rechenanlage man Blockausgleichungen rechnet, und daß numerisch ungünstige Verfahren selbst bei optimaler Programmierung schlechte oder auch gar keine Ergebnisse liefern können.

ALBERTZ (1966) hatte für seine Arbeit über Blocktriangulation mit Einzelbildern nur eine ZUSE Z 23 zur Verfügung. Zur Erprobung seiner theoretischen Arbeiten wurde von ihm ein Block berechnet, der aus 50 Bildern bestand, wobei pro Bild maximal 15 Punkte vorkommen durften. Für den gesamten Block ergaben sich somit 840 Unbekannte. Das Normalgleichungssystem wurde mit einem Iterationsverfahren (Blockweises Jakobiverfahren) berechnet, wobei für eine Iteration 4 Stunden Rechenzeit benötigt wurden. Trotz Verwendung von Überrelaxationsfaktoren bei den Iterationen, benötigte er eine Gesamtrechenzeit von 85 Stunden. Es ist klar, daß unter solchen Bedingungen ein Verfahren nicht in der Praxis eingesetzt werden kann.

Das zweite und dritte Beispiel zeigt den Unterschied zwischen zwei verschiedenen Verfahren zur Auflösung von Gleichungen und wurde der Arbeit von BREUER (1969) und dem Buch von STÖER (1972) über numerische Mathematik entnommen.

Gegeben ist ein Verbesserungsgleichungssystem 75×50 mit einer Konditionszahl $\kappa = 24\,977^{*)}$. Einmal wurde aus den Verbesserungsgleichungen das entsprechende Normalgleichungssystem gebildet und dieses mit Hilfe des Gauß-Algorithmus aufgelöst und einmal wurden die Verbesserungsgleichungen mit einem Orthogonalisierungsverfahren (siehe z. B. BREYER 1972) direkt gelöst. Tabelle 1 zeigt die dabei erhaltenen mittleren Abweichungen der Unbekannten.

*) die Konditionszahl $\kappa = \|A^{-1}\| \cdot \|A\|$

TABELLE 1

Orthogonalisierungsverfahren	$5 \cdot 10^3$
Gauß-Algorithmus	$5 \cdot 10^7$

mittlerer Fehler der Ergebnisse aus zweifacher Auflösung in Einheiten der 12. Nachkommastelle

Im vorliegenden Fall wurde ein Computer zur Lösung der beiden Systeme verwendet, der auf 12 numerische Stellen rechnet. Bei der Lösung nach Gauß über die Normalgleichungen bewirkten die Rundungsfehler in der Maschine (s. Tabelle 1), daß nur die ersten 4 Dezimalstellen des Ergebnisses fehlerfrei sind. Bei dem Weg ohne Normalgleichungen über das Orthogonalisierungsverfahren sind immerhin noch 8 Stellen richtig. Steht nun für die Lösung so eines eher kleinen Gleichungssystems eine Anlage zur Verfügung die nur achtstellig rechnen kann, so können, wie im vorliegenden Fall, alle Stellen des Ergebnisses falsch sein. Die oben angeführte Konditionszahl kann dabei als Indikator der geometrischen Verhältnisse aufgefaßt werden. Da κ beliebig groß werden kann, ist bei zunehmender Blockgröße und unter extrem schlechter Paßpunktverteilung, sowie geringer Querüberdeckung mit solchen Ungenauigkeiten zu rechnen (SCHENK 1972).

Während bei dem vorherigen numerischen Beispiel über das Gauß-Eliminationsverfahren immerhin noch Ergebnisse erwartet werden konnten, ist in dem bekannten Beispiel, das von LÄUCHLI konstruiert wurde, zu ersehen, daß der Weg über die Normalgleichungen zu einem unlösbaren Gleichungssystem führt.

Gegeben ist eine 6×5 Matrix folgenden Aussehens

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \varepsilon & & & & \\ & \varepsilon & & & \\ & & \varepsilon & & \\ & & & \varepsilon & \\ & & & & \varepsilon \end{pmatrix}$$

die dazugehörige Normalgleichung lautet

$$A^T A = \begin{pmatrix} 1+\varepsilon^2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1+\varepsilon^2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1+\varepsilon^2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1+\varepsilon^2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1+\varepsilon^2 \end{pmatrix}$$

wenn nun ε sehr klein ist z. B.: $\varepsilon = 0,5 \times 10^{-5}$, so ist

$$\varepsilon^2 = 0,15 \times 10^{-10}.$$

Bei Berechnung mit 10 Dezimalstellen lautet $A^T A$ in dieser Rechenanlage

$$\text{gl } (A^T A) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Dieses Normalgleichungssystem kann nicht gelöst werden, während das Orthogonalisierungsverfahren nach wie vor anwendbar ist.

An Hand der obigen Ausführungen sieht man, daß die im Kapitel 3 wiedergegebene Behauptung ACKERMANN'S (1970), die Beherrschung des numerischen Problems sei die Hauptschwierigkeit der Blockausgleichung, berechtigt ist.

Nachdem bereits jetzt (Dezember 1973) im Bundesrechenamt und zu Beginn des Jahres 1974 an der Technischen Hochschule Wien zwei Großrechenanlagen (ein Doppelsystem IBM 370/158 und eine CDC Cyber 74) zur Verfügung stehen werden, könnten dort allgemeinste Blockprogramme installiert werden.

Programme dieser Dimensionen, die doch einen erheblichen Entwicklungs- und Arbeitsaufwand darstellen - so gibt z. B. EBNER (1971) einen Zeitaufwand von 6 Mann-Jahren für das Programm-Paket PAT-M an - sollten so allgemein konzipiert sein, daß sie maximalen Rechen- und Bedienungskomfort und maximale Wirtschaftlichkeit für den Benutzer bieten.

Zentralproblem aller Blockausgleichungsprogramme ist ein optimales Programm zur Lösung linearer Gleichungen. Das Gauß-Verfahren, das hinsichtlich der Rechenoperationen optimal ist, erfordert bei n Unbekannten bereits $\frac{n^3}{3}$ Operationen. Bei extrem großen Blöcken können aber 10^4 Unbekannte auftreten, sodaß genau zu überlegen ist, ob man Iterationsverfahren einsetzt, die hinsichtlich der Rechenschärfe weniger Schwierigkeiten bieten als direkte Verfahren, dafür aber größere Rechenzeiten benötigen, oder ob man bei den direkten Verfahren auf die Normalgleichungen verzichten kann, oder wenn man über die Normalgleichungen geht, ob man dann nicht die Bandstruktur dieser Matrizen ausnützen sollte. Die Entscheidung in diesen Fragen wird sicherlich von dem Computer abhängen, für den primär programmiert wird. Die Entscheidungskriterien dabei sind die Kapazität des Kernspeichers, die Rechengeschwindigkeit im Kern, die Transportgeschwindigkeit zwischen Zentraleinheit und den Externspeichern und schließlich die arithmetische Genauigkeit dieser Anlage.

Neben dem Problem "Lösung von linearen Gleichungen" ist ein optimales Such- und Organisationsprogramm zu erstellen, das ebenfalls die Rechenzeiten wesentlich beeinflussen kann. So erhält man z.B. bei einer Numerierung quer zur Flugrichtung solange eine günstigere Bandbreite in der Normalgleichungsmatrix, solange die Anzahl der Streifen kleiner bleibt, als die doppelte Bildanzahl pro Streifen (SCHENK 1972).

5. PRAKTISCHE BEISPIELE VON BLOCKAUSGLEICHUNGEN

Bevor über technische Daten und Ergebnisse berichtet wird, möchte sich der Autor bei allen jenen Herren und Institutionen bedanken, die es ermöglichten diese praktischen Arbeiten durchzuführen bzw. die ihm bei der Durchführung derselben geholfen haben:

Durch das Entgegenkommen des Präsidenten des BAFEuV, Herrn Dipl.-Ing. F. Eidherr, konnte vom Vorstand der Abteilung L1 (Photogrammetrie), Herrn Wirkl.Hofrat Dr. J. Bernhard, die technischen Unterlagen zweier Bundesoperare zur Verfügung gestellt werden. Die Herren dieser Abteilung waren stets bereit, bei notwendigen Rückfragen Auskunft zu erteilen. Der Vorstand der Abteilung K5 (elektronische Datenverarbeitung), Herr SR Dipl.-Ing. E. Zimmermann, ermöglichte

die Fehlerdarstellung auf der automatischen Zeichenanlage CORAGRAPH des BAFEuV. Die Messung des EP-Operates erfolgte durch Herrn J. Tschannerl am Stereokomparator WILD STK-1 des Instituts für Photogrammetrie an der TH Wien. Die Modellberechnung dazu wurde an der IBM 1130 des Rechenzentrums der Hochschule für Welthandel in Wien durchgeführt. Alle übrigen Berechnungen außer der Blockberechnung erfolgten an der IBM 7040 des Rechenzentrums der Technischen Hochschule Wien.

Ganz besonderer Dank gilt den Herren Prof. Dr.-Ing. F. ACKERMANN und Privatdozent Dr.-Ing. H. EBNER, Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Stuttgart, die die Blockberechnung an der CDC 6600 des Regionalen Rechenzentrums in Stuttgart-Vaihingen mit dem Programm-Paket PAT-M 43 (ACKERMANN, EBNER, KLEIN 1970) ermöglichen.

5.1 BLOCK ÖK - 161

Das Kartenblatt Nr. 161, Knittelfeld, der Österreichischen Karte 1:50 000, wurde aus zwei Gründen gewählt:

1. vom Gelände her (Geländehöhen von ca. 600 - 2200 m) kann es als typisch für Österreich gelten
2. die Messung und Ausgleichung der Aerotriangulation durch das BAFEuV erfolgte in jüngster Zeit

5.1.1 TECHNISCHE DATEN DES FLUGES, GELÄNDEVERHÄLTNISSE, FLUG- und PASSPUNKTÜBERSICHT

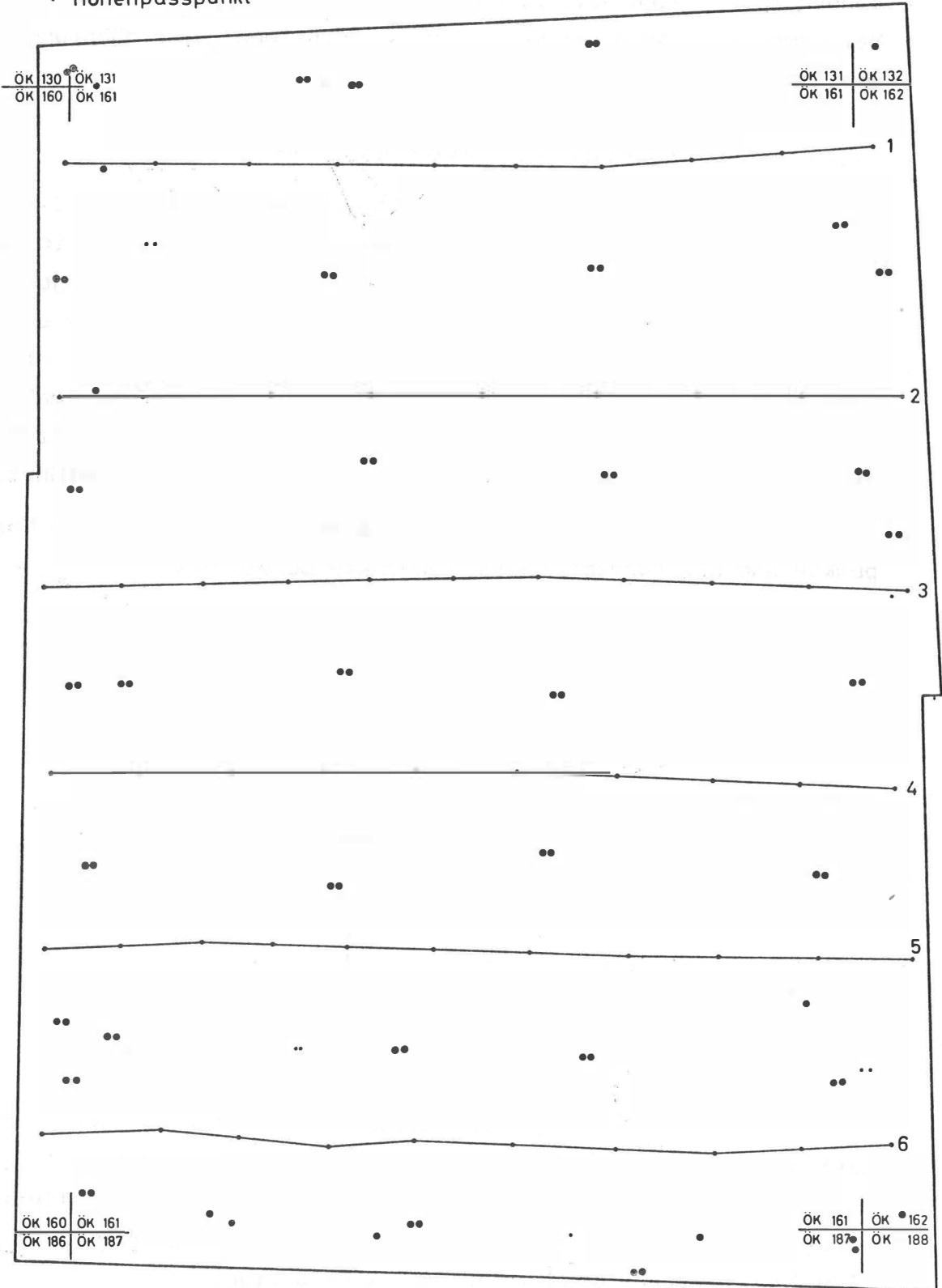
Flugdatum:	Juli und September 1969
Kamera:	Wild RC 8, Ag, f = 15 cm
Bildmaßstab:	1 : 20 100 - 31 800
Längsüberdeckung:	geplant 60 %
Querüberdeckung:	8 - 37 %
Anzahl der Streifen:	6
Anzahl der Modelle	55
Gesamtfläche:	~ 527 km ²
Geländehöhen:	600 - 2200 m

Flug- und Paßpunktübersicht s. Abbildung 10.

ABBILDUNG 10

Gesamtübersicht des Blockes ÖK 161

- Vollpasspunkt
 - Höhenpasspunkt
- bestehend aus 55 Modellen (Streifen 1-6)



5.1.2 MESSUNG DER MODELLE

Die Streifen wurden im BAFEuV an einem Universal-Autograph WILD A7 in einem Modellmaßstab 1:12 500 trianguliert. Alle vorkommenden Punkte sind Naturpunkte. Jeder Punkt wurde pro Modell zwei Mal gemessen. Das erste Modell jedes Streifens wurde näherungsweise absolut orientiert.

5.1.3 BLOCKBERECHNUNG MIT PAT-M 43

Die Blockberechnung erfolgte mit dem Programm-Paket PAT-M 43 der Technischen Universität Stuttgart. Der Modellanschluß in Streifen erfolgte im Regelfall über 3 Geländepunkte und die Projektionszentren. Diese waren nicht bestimmt worden. Es wurde daher entsprechend 3.2.2 fiktive Werte dafür eingeführt. Dazu wurde für die Höhenkoordinate die Flughöhe jedes Streifens in den Modellmaßstab umgerechnet. Als Lagekoordinaten wurden die x, y - Werte der Maßstabsübertragungspunkte in der Nähe der Nadirpunkte eingeführt.

Die Gewichtsmatrizen aller photogrammetrisch gemessener Modellpunkte und der terrestrischen Paßpunkte wurden mit

$$\begin{pmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

angenommen.

Als Gewichtsmatrix der Projektionszentren wurde

$$\begin{pmatrix} 0,25 & & \\ & 0,25 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

eingeführt.

Bei der Ausgleichung wurde alternierend ein Lage- und Höhenausgleich durchgeführt. Insgesamt wurden je 3 Lage- und Höheniterationen durchlaufen, wobei für die vorliegende Aufgabe je 2 Iterationsschritte genügt hätten, da die maximalen Änderungen zwischen der 2. und 3. Iteration in der Lage 9 und in der Höhe 2 cm betrug.

Da die Modelle vor der Blockberechnung weder wegen Erdkrümmung noch wegen Refraktion korrigiert worden waren, wurde diese Korrektur nach der ersten Lage-Höheniteration durchgeführt.

Über die Genauigkeit der Paßpunkte liegen keine Angaben vor.

5.1.31 VERSION a.)

Dabei wurden alle 76 Lage- und 83 Höhenpaßpunkte des BAFEuV als Paßpunkte mitverwendet; diese Tatsache und die Gewichtswahl (s. 5.1.3) in der die photogrammetrische und die terrestrische Messung gleichgewichtig eingeführt wurden, liefern eine Aussage über die Genauigkeit der terrestrischen Werte. Abb. 11 zeigt die Lage der Paßpunkte innerhalb des Blockes und ihre Fehlervektoren. Wegen der Ergebnisse der Blockberechnung siehe auch 5.1.4 (Tabelle 2).

5.1.32 VERSION b.)

Hier wurden nur 4 Vollpaßpunkte in den Blockecken und zusätzlich je 5 Höhenpaßpunkte an den beiden Längsseiten und je 1 Höhenpaßpunkt an den beiden Schmalseiten des Blockes eingeführt (s. Abb. 12). Zusätzlich sind dort auch die 72 Lage- und die 67 Höhencheck-points mit ihren Fehlervektoren dargestellt. Wegen der Ergebnisse sei wieder auf 5.1.4 (Tabelle 2) verwiesen.

5.1.4 ERGEBNISSE DER BLOCKBERECHNUNG

Die Ergebnisse der beiden Blockausgleichungen sind in Tabelle 2 angegeben. Außerdem sind in den Abbildungen 11 und 12 die Ergebnisse graphisch dargestellt. σ_0 ist bekanntlich der mittlere Fehler der Gewichtseinheit. Da für die photogrammetrisch gemessenen Modellpunkte die Einheitsmatrix als Gewichtsmatrix angenommen worden ist (s. 5.1.3), repräsentieren die Werte von σ_0 direkt die mittleren Fehler einer Modellkoordinate in x oder y bzw. in z.



Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

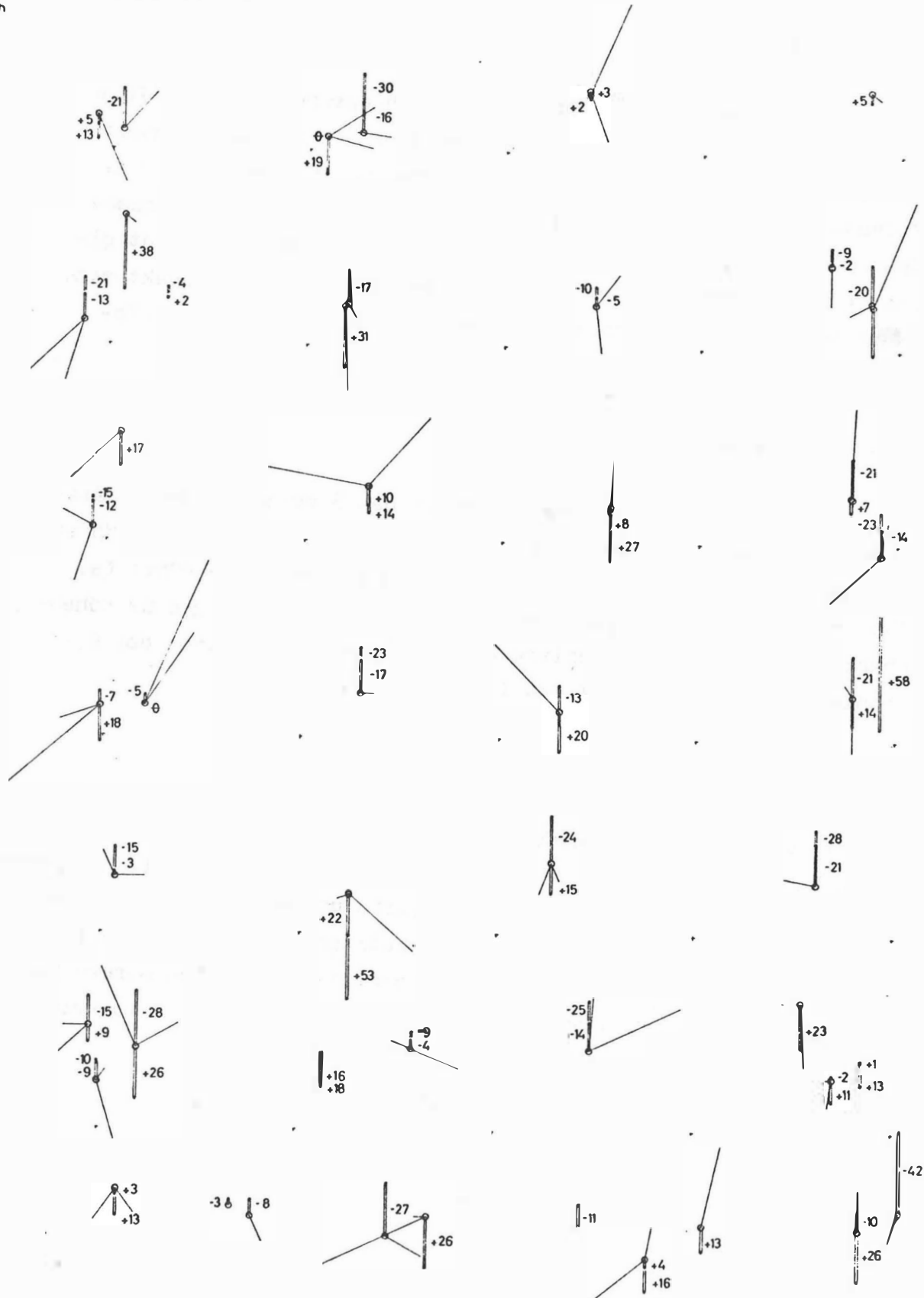
Zeichenerklärung:

- Vollpaßpunkt mit Fehlervektor
- Höhenpaßpunkt mit Fehlervektor
- Lagekontrollpunkt mit Fehlervektor
- Höhenkontrollpunkt mit Fehlervektor

$\begin{matrix} 0 & 10 & 20\text{cm} \\ 0 & 1 & 2\text{m} \end{matrix}$ Maßstäbe der Fehlervektoren für $\begin{cases} \text{Paßpunkte} \\ \text{Kontrollpunkte} \end{cases}$

$\begin{matrix} \uparrow +vx \\ \rightarrow +vy \\ \downarrow +vh \end{matrix}$ Koordinatensystem der Vektoren ($vx=vy=vh=\text{Soll-Ist}$)

Y: 90 000
x: 235 000



Y: 90 000
x: 205 000

x: 205 000

ÖK 161

Version b)



-49-

ABBILDUNG 12

Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Zeichenerklärung:

- Vollpaßpunkt mit Fehlervektor
- Höhenpaßpunkt mit Fehlervektor
- Lagekontrollpunkt mit Fehlervektor
- Höhenkontrollpunkt mit Fehlervektor

$\begin{matrix} 0 & 10 & 20\text{cm} \\ 0 & 1 & 2\text{m} \end{matrix}$ Maßstäbe der Fehlervektoren für $\begin{cases} \text{Paßpunkte} \\ \text{Kontrollpunkte} \end{cases}$

$\begin{matrix} \uparrow +vx \\ \rightarrow +vy \\ \downarrow +vh \end{matrix}$ Koordinatensystem der Vektoren (vx=vy=vh=Soll-Ist)

000006-A
x=235 000

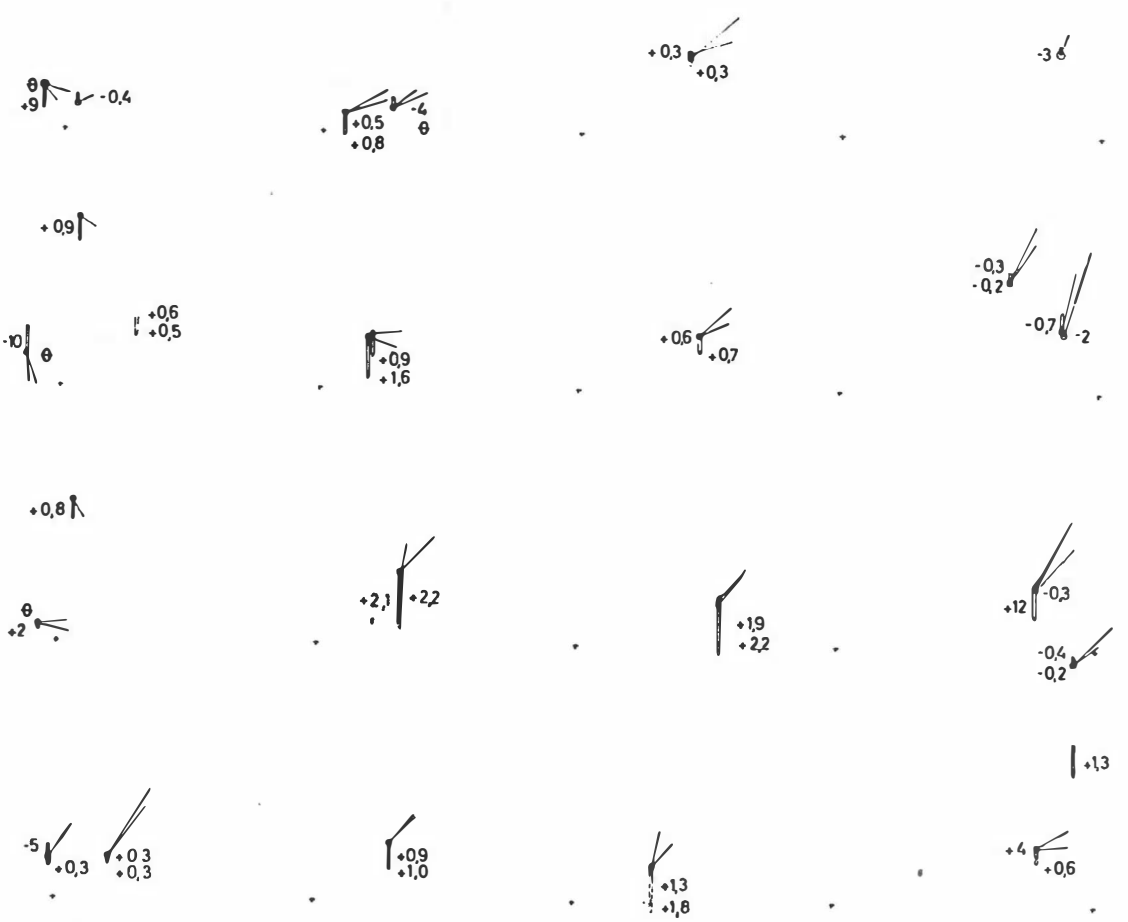


TABELLE 2

	Version a 5.1.31	Version b 5.1.32
Beobachtungen für Lageblock	1148	954
Unbekannte für Lageblock	652	602
Renundanz für Lageblock	496	352
Beobachtungen für Höhenblock	877	786
Unbekannte für Höhenblock	530	506
Renundanz für Höhenblock	347	280
Anzahl der Lagepaßpunkte	76	4
Anzahl der Höhenpaßpunkte	83	16
QMV MP X	0,176	0,163
QMV MP Y	0,217	0,193
QMV MP Z	0,240	0,232
QMV PZ X	0,503	0,444
QMV PZ Y	0,632	0,612
QMV PZ Z	0,258	0,242
QMV PP X	0,182	0,077
QMV PP Y	0,236	0,112
QMV PP Z	0,190	0,130
QMV PPP X	0,193	0,077
QMV PPP Y	0,213	0,112
QMV PPP Z	0,220	0,204
σ_0 für Lageblock	0,304	0,293
σ_0 für Höhenblock	0,396	0,404
Anzahl der Lage-check-points	-	72
Anzahl der Höhen-check-points	-	67
\bar{m}_X \bar{m}_Y (Streifenrichtung) \bar{m}_Z	- - -	1,180 0,984 1,104
$\bar{m}_{max.X}$ $\bar{m}_{max.Y}$ (Streifenrichtung) $\bar{m}_{max.Z}$	- - -	3,313 1,802 3,318
\bar{m}_X/σ_0 \bar{m}_Y/σ_0 (Streifenrichtung) \bar{m}_Z/σ_0	- - -	4,0 3,3 2,7

Erläuterungen zur Tabelle 2 und 3

QMV	MP X	Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen der X,Y,Z - Koordinaten der photogrammetrischen Modellpunkte (in Meter)
QMV	MP Y	
QMV	MP Z	
		Die MP enthalten die Punktarten: Lage- und Höhen-Verknüpfungspunkt Lage- und Höhen-Paßpunkt Lagepaßpunkt und Höhenverknüpfungspunkt Höhenpaßpunkt und Lageverknüpfungspunkt
QMV	PZ X	Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen der X, Y, Z - Koordinaten der Projektionszentren (in Meter)
QMV	PZ Y	
QMV	PZ Z	
QMV	PP X	Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen der Paßpunkt-Koordinaten X,Y, Z (in Meter)
QMV	PP Y	
QMV	PP Z	
QMV	PPP X	Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen der photogrammetrischen Modellkoordinaten X,Y Z der Paßpunkte (in Meter)
QMV	PPP Y	
QMV	PPP Z	
		Die PPP sind eine Untergruppe der MP und enthalten in X, Y nur die Lage- und Höhenpaßpunkte, sowie die Lagepaß- und Höhenverknüpfungspunkte und in Z nur die Lage- und Höhenpaßpunkte, sowie die Höhenpaß- und Lageverknüpfungspunkte.
\bar{m}_X		Quadratischer Mittelwert der "wahren" Fehler in den Koordinaten X, Y, Z der check-points (in Meter)
\bar{m}_Y		
\bar{m}_Z		
$\bar{m}_{max.X}$		Beträge der maximalen Fehler in den Koordinaten X,Y, Z der check-points (in Meter)
$\bar{m}_{max.Y}$		
$\bar{m}_{max.Z}$		
$\bar{m}_{X,Y}$		Mittel aus m_X und m_Y (in Meter)
$\tilde{\sigma}_0$		mittlerer Fehler der Gewichtseinheit

Auf eine detaillierte Behandlung der Ergebnisse in Tabelle 2 muß leider verzichtet werden, doch dürfte die Qualität der Ergebnisse (ACKERMANN 1973, S.16) für sich sprechen. Erwähnt sei nur, daß das σ_{\square} des Lageblockes einen Wert von 11μ im Bild und das σ_{\square} einer Höhenmessung $0,07 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ von hg entspricht. Die quadratischen Mittelwerte der "wahren" Fehler in den check-points bzw. die großen Werte für die Verhältnisse \bar{m}/σ_{\square} (s. Tabelle 2) zeigen, daß im vorliegenden Fall die 3. Höhenpaßpunktkette (s. 3.1) fehlt. Man sieht, daß durch das σ_{\square} alleine, die absolute Genauigkeit nur unvollkommen beschrieben wird (s. SCHENK 1972, S.117).

Die scheinbar großen Abweichungen ($\bar{m}_{\text{max.}}$) der Kontrollpunkte liegen jedoch unter den internen Fehlergrenzen des BAFEuV für mehrfach bestimmte Koordinaten des vorliegenden Aerotriangulationsoperates. Laut STICKLER (1971) wurden die Schranken für die Endmittelbildung mit $m_x = m_y \leq \pm 4,0 \text{ m}$ und $m_z \leq \pm 3,0 \text{ m}$ festgelegt, was für eine graphische Kartierung, die im Endmaßstab 1:50 000 beträgt, ausreichend ist.

5.2 BLOCK EP REV. ALTENFELDEN/1970

Für die Auswahl dieses Operates waren folgende Gründe ausschlaggebend:

- 1) das Operat sollte aus ca. 100 Modellen bestehen
- 2) die Bearbeitung durch das BAFEuV sollte erst vor kurzer Zeit abgeschlossen worden sein
- 3) das Operat sollte eine geschlossene Gestalt haben
- 4) das Gelände sollte typisch für österreichische EP-Operate sein d. h. hügeliges Gelände
- 5) der Bildmaßstab sollte möglichst groß sein und es sollte sich um keine Doppelbefliegung handeln
- 6) das Operat sollte nicht zu weit von Wien weg sein, um eventuelle terrestrische Nachmessungen leichter durchführen zu können.

Um den Blockrand durch terrestrische Paßpunkte abgesichert zu haben, und um einen geschlossenen Block zu erhalten, wurde das Ope-

rat EP Rev. Altenfelden durch 7 Modelle des Operates EP Neufelden/1968 und einem Modell des Operates EP Rohrbach/1966 ergänzt.

5.2.1 TECHNISCHE DATEN DER FLÜGE UND ÜBERSICHT

5.2.11 EP Rev. Altenfelden/1970

Flugdatum: Juli 1970
Kamera: Wild RC 8, UAg, f = 15 cm
Bildmaßstab: 1 : 6200 - 8400
Längsüberdeckung: Punktflug
Querüberdeckung: 20 - 48 %
Geländehöhen: 335 - 620 m
Anzahl der Streifen: 17
Anzahl der Modelle: 97
Gesamtfläche: ca. 9 x 8 km²

5.2.12 EP Neufelden/1968

Flugdatum: August, September 1968
Kamera: Wild RC UAg, f = 15 cm (wie bei 5.2.11)
Bildmaßstab: 1 : 8800 - 10 900
Längsüberdeckung: Punktflug
Anzahl der verwendeten Modelle: 7

5.2.13 EP Rohrbach/1966

Flugdatum: Mai, Juni 1966
Kamera: Wild RC 8, Ag, f = 15 cm
Bildmaßstab: 1 : 10 500
Längsüberdeckung: Punktflug
Anzahl der verwendeten Modelle: 1

Die Gesamtzahl aller Modelle: 105
Anzahl der terrestrisch bestimmten Lagepunkte: 127
Anzahl der terrestrisch bestimmten Höhenpunkte: 126

Die Flug- und Paßpunktübersicht ist in Abb. 13 zusammengestellt.

Der Unterschied in der Anzahl der Lage- und Höhenpaßpunkte ergibt sich daher, daß ein exzentrisch signalisierter TP einen offensichtlichen Höhenfehler hatte.

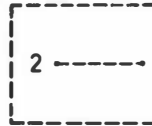
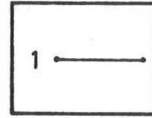
Gesamtübersicht des Blockes EP Rev. Altenfelden

bestehend aus :

1) 97 Modellen des Fluges EP Rev. Altenfelden / 70
(Streifen 1 - 17)

2) 7 Modellen des Fluges EP Neufelden / 68
(Streifen 2,4,8,9,10,11)

3) 1 Modell des Fluges EP Rohrbach / 66
(Streifen 12)



Streifennummer,
Streifenachse mit den
Bildhauptpunkten und
der Modellbegrenzung

△ Triangulierungspunkt (TP)

○ terrestrisch bestimmter EP

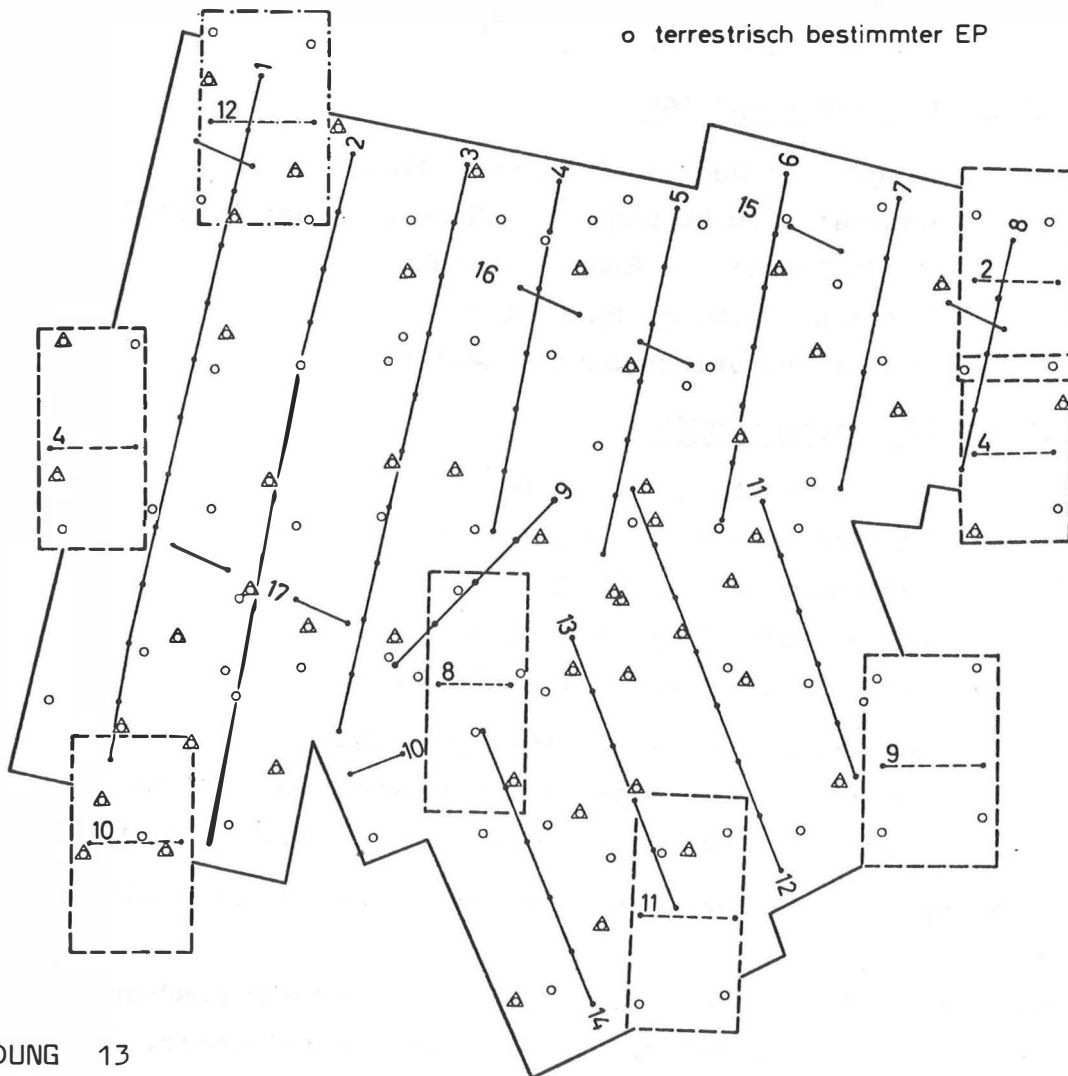


ABBILDUNG 13

5.2.2 MESSUNG DER MODELLE

Die Modelle wurden an einem Stereokomparator Wild STK-1 gemessen. Alle Punkte (einschließlich der Rahmenmarken) wurden durch Einmalmessungen bestimmt. Einschaltpunkte (EP) und Triangulierungspunkte (TP) waren vor dem Flug signalisiert worden. Die Meßdauer pro Modell betrug ≤ 1 Stunde.

5.2.3 MODELLBERECHNUNG

Die Modellberechnung wurde mit dem modifizierten IBM-Programm zur Auswertung von Meßdaten des Stereokomparators PSK von Zeiss (GEKELER 1969, OTEPKA, SEMTURS und WALDHÄUSL 1970) durchgeführt. Dabei wurden die Bildkoordinaten mittels Ähnlichkeitstransformation über die Soll- und Istwerte der Rahmenmarken transformiert. Die so transformierten Bildkoordinaten wurden durch die radialsymmetrische Verzeichnungskurve, der die Werte zufolge der Erdkrümmung und Refraktion überlagert wurden, korrigiert.

Für die gegenseitige Orientierung wurden jeweils 6 Punkte verwendet. 9 Modelle mußten nochmals gemessen werden, da die Modellberechnung nicht konvergierte.

5.2.4 BLOCKBERECHNUNG MIT PAT-M 43

Die Blockberechnung erfolgte bei verschiedenen Paßpunktanordnungen mit dem Programm PAT-M 43. Die Ergebnisse aller angegebenen Versionen sowie deren graphische Darstellung erfolgt in 5.2.5 (Tabelle 3 und Abbildungen 14 bis 19).

5.2.41 VERSION a 1.)

Dazu wurden alle durch das BAFEuV terrestrisch gemessenen bzw. durch die Abteilung Photogrammetrie bestimmten Punkte als Lage- und Höhenpaßpunkte eingeführt. Als Gewichtsmatrizen für die photogrammetrisch gemessenen Punkte und für die Paßpunkte wurde die Einheitsmatrix und für die Projektionszentren

$$\begin{pmatrix} 0,25 & & \\ & 0,25 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

eingeführt.

Diese Ausgleichsversion sollte eine durchgreifende Kontrolle der Ergebnisse der terrestrischen Werte, der photogrammetrischen Messungen und Modellberechnungen durch die TH Wien und zusätzlich der Methodik des BAFEuV sein.

5.2.42 VERSION b 2.) (mit allen terrestrischen Punkten)

Für die Blockberechnung wurden sämtliche 127 Lage- und 126 Höhenpaßpunkte, die für die Einzelmodellauswertung verwendet wurden und durch das BAFEuV gemessen worden sind, mitverwendet. Da es sich bei den Paßpunkten nur um TP's und terrestrisch bestimmten EP's handelt, deren Koordinaten durch den Ausgleich nicht verändert werden dürfen, wurden für die Paßpunkte die Gewichtsmatrix

$$\begin{pmatrix} \infty & & \\ & \infty & \\ & & \infty \end{pmatrix}$$

eingeführt.

Für die photogrammetrischen Koordinaten wurde die Einheitsmatrix und für die Projektionszentren

$$\begin{pmatrix} 0,25 & & \\ & 0,25 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

als Gewichtsmatrix gewählt. Bei allen folgenden Versionen werden dieselben Gewichtsmatrizen verwendet. Für diese Version gibt es in 5.2.5 keine Darstellungen, da dabei ja bloß alle Paßpunkte ohne Fehlervektoren kartiert worden wären.

5.2.43 VERSION c 2.) (mit dichtem Paßpunktrand)

Neben den über das Gebiet verstreuten 57 TP's wurden noch 32 terrestrisch bestimmte EP's, die am Blockrand lagen, als Paßpunkte eingeführt. Dadurch wurden 89 Lage- und 88 Höhenpaßpunkte zur Ausgleichung verwendet.

5.2.44 VERSION d 2.) (mit lockerem Paßpunktrand)

Neben den TP's wurden nur 8 terrestrisch bestimmte EP's an offenen Blockstellen als Paßpunkte verwendet. Dadurch wurden 65 Lage- und 64 Höhenpaßpunkte verwendet, was eine Reduktion von 62 Paßpunkten gegenüber der Einzelmodellauswertung bedeutet. Bei ausreichender Genauigkeit, die man nach den Werten in Tabelle 3 (5.2.5) beurteilen kann, wäre diese Paßpunktverteilung und Blockausgleichung für EP-Operate in der Praxis einzusetzen.

5.2.45 VERSION e 2.) (nur mit TP's)

Bei dieser Berechnungsvariante wurden nur mehr die TP's als Paßpunkte verwendet. Diese Version ist natürlich nur als sinnvolle Vorarbeit zur Version e 2.) (5.2.46) zu verstehen. Aus den Untersuchungen über die Genauigkeit der Blockausgleichungen (wegen Literaturangaben siehe 3.1) weiß man, daß die größten Fehler bei Blöcken mit offenen Rändern in den Randmodellen auftreten. Version e 2.) ist so ein Fall. Da die Genauigkeit im Blockgebiet, nach Streichung der Randmodelle, praktisch konstant ist, kann das Fehlen von Randpaßpunkten durch dieses Streichen kompensiert werden. In der Praxis hieße das umgekehrt, daß das Interessengebiet in allen Richtungen um 1 Modell bei der Befliegung, Auswertung und Berechnung zu vergrößern wäre und die Werte dieses Randstreifens nach der Ausgleichung verworfen werden müßten.

5.2.46 VERSION e 2.) (nur mit TP's, nach Streichung der Randmodelle)

Version e 2.) stellt keine eigene Blockberechnungsvariante dar. Vielmehr wurde entsprechend den Ausführungen in 5.2.45 von den ursprünglichen 105 Modellen 49 Randmodelle gestrichen.

Neben der in Version d 2.) (5.2.44) angedeuteten Schließung des offenen Randes durch wenige Paßpunkte, wäre das Vergrößern des Blockgebietes mit anschließender Streichung eine weitere wirtschaftlich vertretbare Möglichkeit für die Praxis unter Beibehaltung der geforderten Genauigkeit.

5.2.5 ERGEBNISSE DER BLOCKBERECHNUNG UND IHRE DARSTELLUNGEN

Tabelle 3 beinhaltet die numerischen Aussagen der verschiedenen Blockausgleichungsversionen. Wegen der notwendigen Erklärungen sei auf die Erläuterungen zur Tabelle 2 in 5.1.4 hingewiesen.

Die Abbildungen 14 bis 19 sollen graphisch die Ergebnisse der Tabelle 3 unterstreichen. Auch hier muß auf eine detaillierte Behandlung der Ergebnisse verzichtet werden. Aus dem Verhältnis der QMV MP und QMV PP bei der Version a 1.) (5.2.41) geht klar hervor, daß in den terrestrisch gemessenen Punkten keine systematischen Fehler auftreten und das Festpunktnetz (TP - und terrestrisch bestimmte EP) als sehr genau angesehen werden kann (mittlerer Koordinatenfehler $\pm 2,5$ cm). Umgekehrt liefert die Punktbestimmung durch die Blockausgleichung für die Neupunkte Genauigkeiten derselben Größenordnung. Eine Überprüfung solcher photogrammetrischer Ergebnisse, unter Vernachlässigung der Fehler der terrestrischen Messungen erscheint daher nicht gerechtfertigt, da hier unter den vorliegenden Umständen bereits 2 gleichwertige, sich ergänzende Verfahren vorliegen. Auf Grund der Blockberechnungen mit verschiedensten Paßpunkt- und Gewichtsversionen, konnten "Fehler" in den terrestrischen Koordinaten, die zwischen dem 3 und 6 fachen mittleren Koordinatenfehler (7,5 bis 15 cm) lagen, eindeutig lokalisiert werden.

Auch hier muß auf eine detailliertere Behandlung der Ergebnisse verzichtet werden. Entsprechend den Ausführungen in 5.1.4 sollen auch hier nur die Werte von σ_{\square} bzw. \bar{m}/σ_{\square} stellvertretend für alle anderen Aussagemöglichkeiten angegeben werden, wodurch die Güte der Ergebnisse unterstrichen wird. Den Werten σ_{\square} entspricht bei einem mittleren Bildmaßstab von 1 : 9000 für die Lage ein Wert von 4μ im Bild für eine Koordinate und in der Höhe 0,05 \square /oo von hg. Die Werte für den Quotienten \bar{m}/σ_{\square} , der bei allen sinnvollen Versionen, d.h. ohne Version e 2.) (5.2.45), zwischen 1,0 und 1,5 liegt, geben darüber Auskunft, daß die geometrischen Verhältnisse dieser Blockversionen sehr gut sind.

TABELLE 3

	VERSION a 1 5.2.41	VERSION b 2 5.2.42	VERSION c 2 5.2.43	VERSION d 2 5.2.44	VERSION e 2 5.2.45	VERSION e 2 5.2.46
Beobachtgn. f.Lageblock	4084	3078	2996	2924	2896	Keine eigene Blockberechnung! Wurde aus Version e 2 (5.2.45) durch Streichung der Randmodelle erhalten.
Unbekannte f.Lageblock	1594	1468	1460	1436	1424	
Redundanz f.Lageblock	2490	1610	1536	1488	1472	
Beobachtgn. f.Höhenblock	2473	1970	1929	1893	1893	
Unbekannte f.Höhenblock	1118	1055	1051	1039	1033	
Redundanz f.Höhenblock	1355	915	878	854	846	
Anzahl d. Lagepaßpunkte	568	127	89	65	57	
Anzahl d. Höhenpaßpkte.	567	126	88	64	56	
QMV MP X	0,026	0,027	0,026	0,024	0,023	
MP Y	0,029	0,031	0,029	0,028	0,028	
MP Z	0,047	0,050	0,048	0,047	0,047	
QMV PZ X	0,105	0,109	0,107	0,110	0,111	
PZ Y	0,080	0,081	0,081	0,079	0,079	
PZ Z	0,029	0,022	0,023	0,022	0,023	
QMV PP X	0,027	-	-	-	-	
PP Y	0,022	-	-	-	-	
PP Z	0,042	-	-	-	-	
QMV PPP X	0,026	0,035	0,036	0,033	0,030	
PPP Y	0,029	0,038	0,036	0,035	0,035	
PPP Z	0,047	0,061	0,059	0,056	0,056	
σ_0 für Lageblock	0,034	0,038	0,037	0,037	0,036	
σ_0 für Höhenblock	0,061	0,070	0,069	0,069	0,069	
Anz.d.Lage-check-points			37	61	69	34
Anz.d.Höhen-check-p.			37	61	69	34
\bar{m}_X			0,041	0,054	0,095	0,044
\bar{m}_Y			0,042	0,055	0,079	0,045
\bar{m}_Z			0,072	0,091	0,105	0,082
$\bar{m}_{max.X}$			0,098	0,188	0,426	0,102
$\bar{m}_{max.Y}$			0,149	0,142	0,401	0,138
$\bar{m}_{max.Z}$			0,221	0,228	0,296	0,222
\bar{m}_{XY}/σ_0			1,1	1,5	2,5	1,3*
\bar{m}_Z/σ_0			1,0	1,3	1,5	1,2

* mit σ_0 aus der Version e₂ (5.2.45)

Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

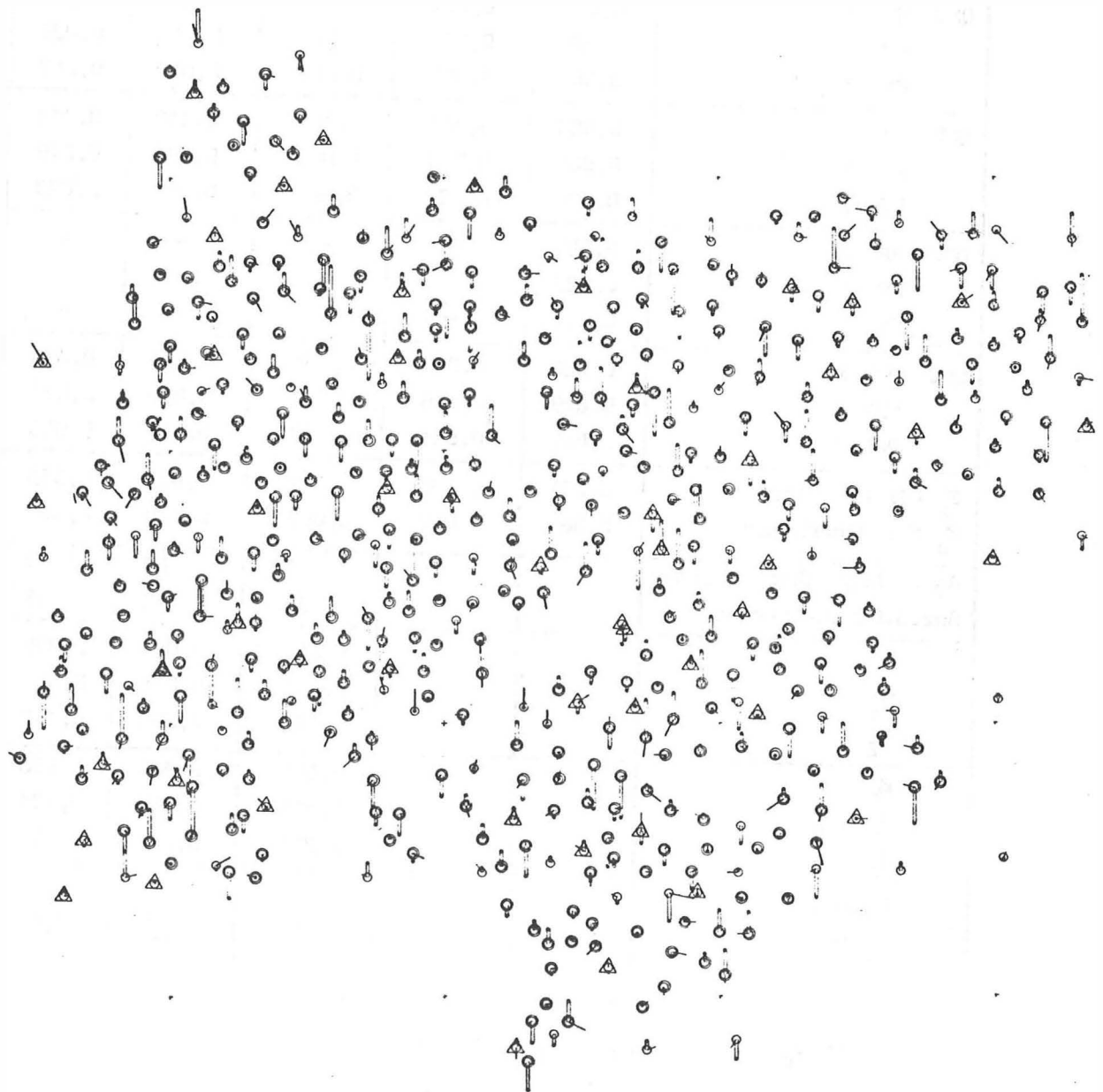
Zeichenerklärung:

- \triangle TP
- \circ terr. bestimmter EP } Lagepaßpunkt mit Fehlervektor
- \triangle TP
- \circ terr. bestimmter EP } Vollpaßpunkt mit Fehlervektor
- \circ durch BAfEV (L1)
- \circ phot. bestimmter EP

0 10cm Maßstab der Fehlervektoren in der Natur

$\begin{matrix} \uparrow +vx \\ \rightarrow +vy \\ \downarrow +vh \end{matrix}$ Koordinatensystem der Vektoren ($vx=vy=vh=Soll-Ist$)

y = 42 500
x = 375 000



y = 42 500
x = 365 000

y = 52 500
x = 365 000

EP Rev. Altenfelden Version c 2

Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} \infty & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & \infty \end{pmatrix}$

Zeichenerklärung:

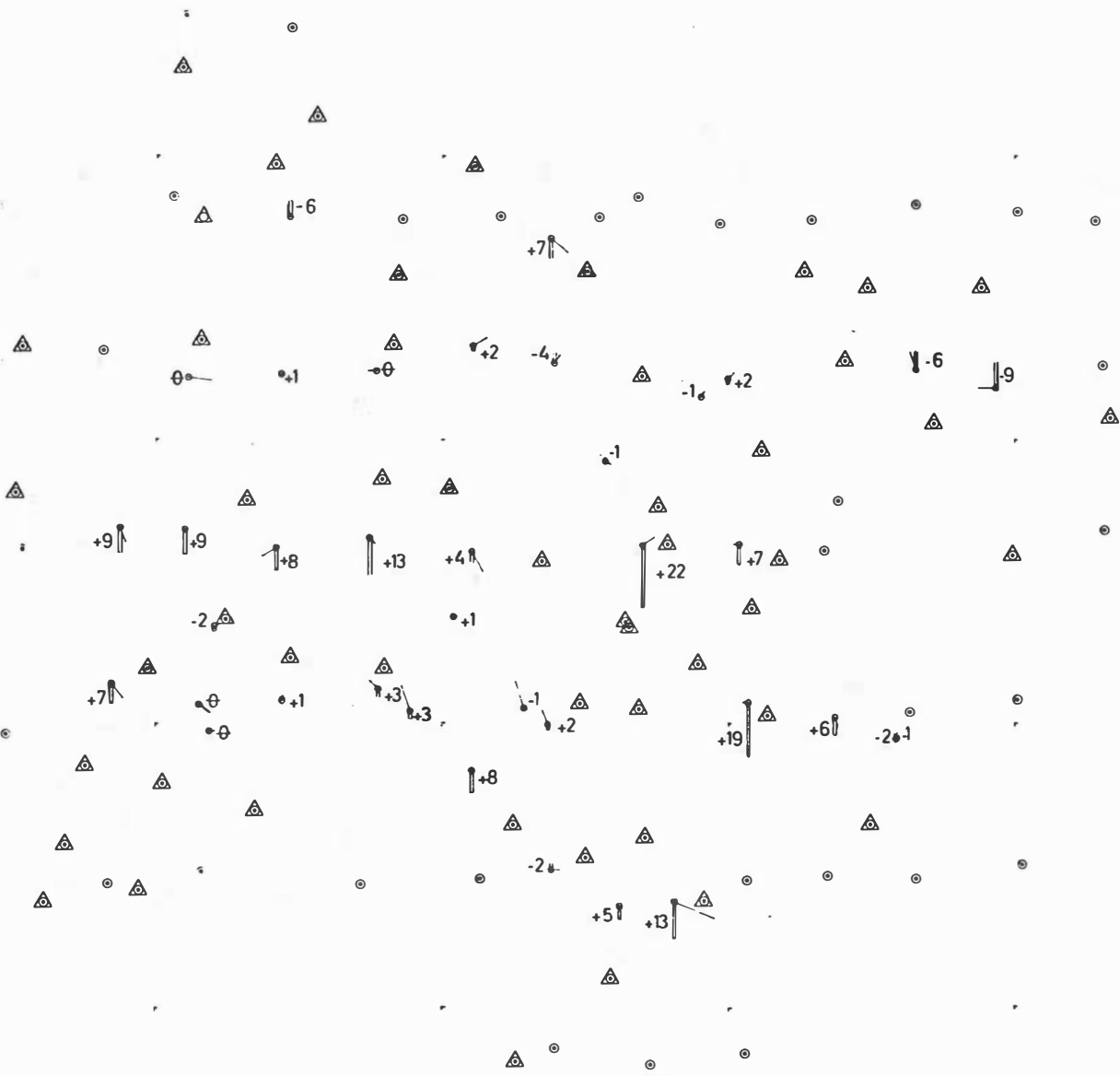
- △ TP
- terr. bestimmter EP } Lagepaßpunkt
- △ TP
- terr. bestimmter EP } Vollpaßpunkt

- ✓ Lage-Kontrollpunkt mit Fehlervektor
 - ↓ Höhen-Kontrollpunkt mit Fehlervektor
- Maßstab der Fehlervektoren in der Natur

0 10cm

↑ +vx
→ +vy
↓ +vh
Koordinatensystem der Vektoren (vx·vy·vh·Soll-Ist)

y = 425 500
x = 375 000



y = 425 500
x = 365 000

y = 52 500
x = 365 000

EP Rev. Altenfelden Version d 2



Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} \infty & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & \infty \end{pmatrix}$

ABBILDUNG 16

Zeichenerklärung:

- △ TP
- terr. bestimmter EP } Lagepaßpunkt
- ▲ TP
- ⊙ terr. bestimmter EP } Vollpaßpunkt
- ✓ Lage-Kontrollpunkt mit Fehlervektor
- ↓ Höhen-Kontrollpunkt mit Fehlervektor

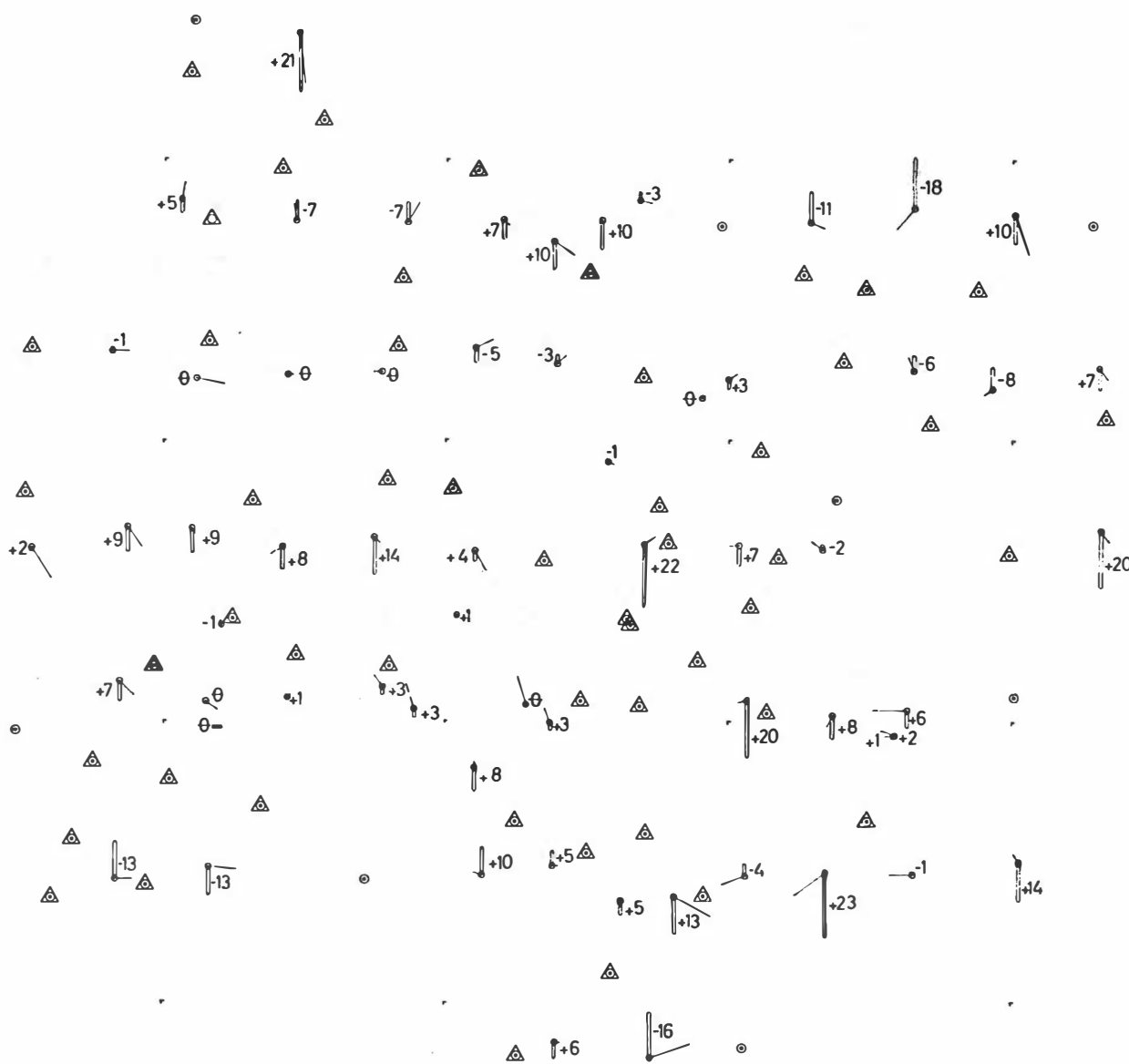
0 10cm

Maßstab der Fehlervektoren in der Natur



Koordinatensystem der Vektoren (vx·vy·vh·Soll-Ist)

y=42 500
x= 375 000



y= 42 500
x= 365 000

y=52 500
x= 365 000

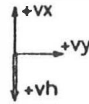
EP Rev. Altenfelden Version e2

Gewichtsmatrix der Paßpunkte $\begin{pmatrix} \infty & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & \infty \end{pmatrix}$

Zeichenerklärung:

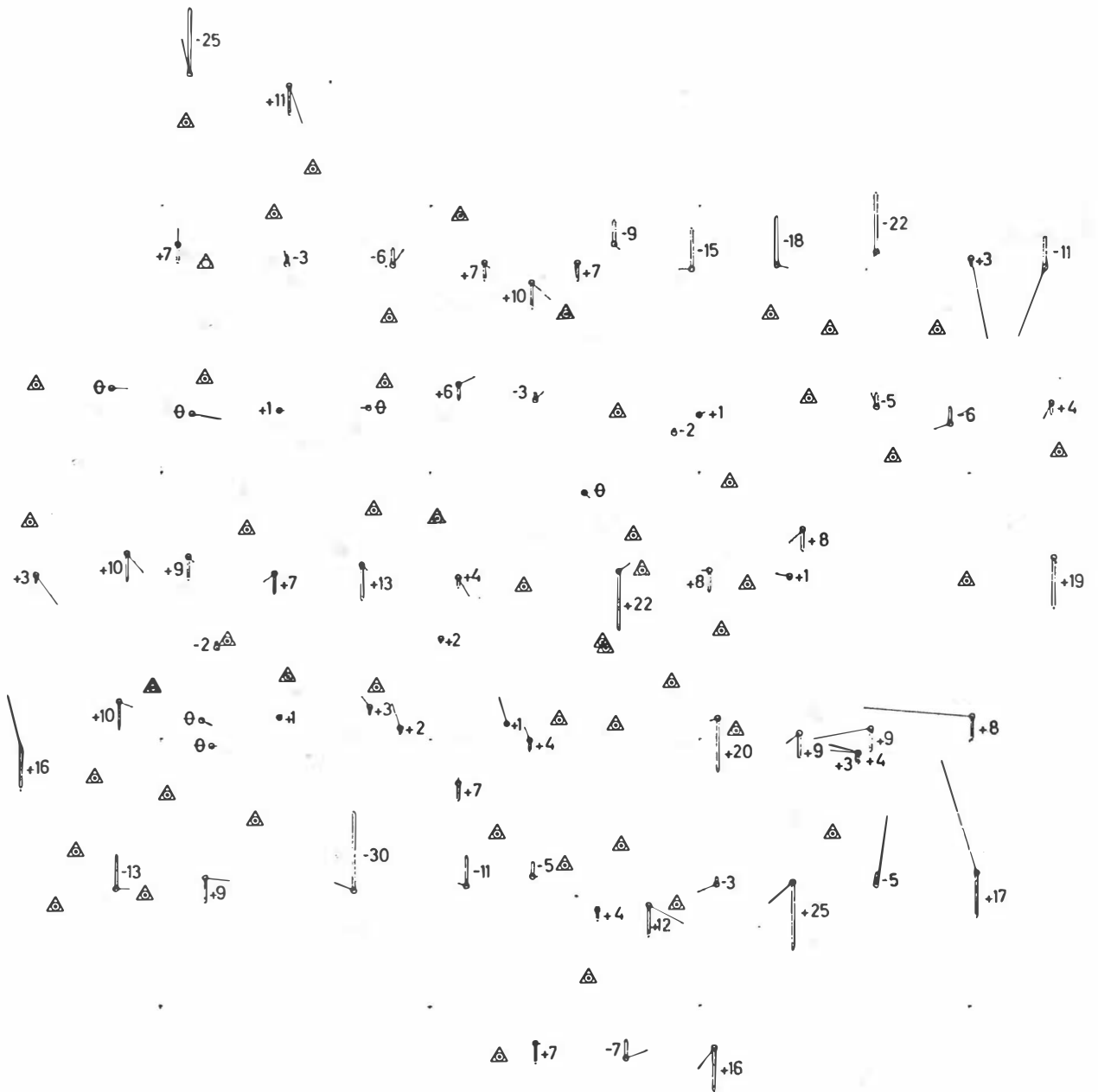
- \triangle TP
- \circ terr. bestimmter EP } Lagepaßpunkt
- \triangle TP
- \circ terr. bestimmter EP } Vollpaßpunkt
- \checkmark Lage-Kontrollpunkt mit Fehlervektor
- \downarrow Höhen-Kontrollpunkt mit Fehlervektor

0 10cm



Maßstab der Fehlervektoren in der Natur
Koordinatensystem der Vektoren (vx, vy, vh, Soll-Ist)

y = 42 500
x = 375 000



y = 42 500
x = 365 000

y = 52 500
x = 365 000

6. SCHLUSS UND FOLGERUNGEN

Es ist klar, daß in einem Lande wie Österreich auch für das Vermessungswesen und die Photogrammetrie andere Dimensionen gelten als in Ländern mit 10- bzw. 100-facher Fläche. Trotzdem sieht der Autor folgende sinnvolle Anwendungsbereiche für Blockausgleichungen in Österreich:

- 1) Paßpunkterstellung für die Österreichische Karte 1 : 50 000.
- 2) Bestimmung von Einschaltpunkten und numerische Katasterphotogrammetrie.
- 3) Paßpunkterstellung für die neue Orthophotokarte 1 : 10 000 in jenen Gebieten, wo keine Festpunkte vorliegen.
- 4) Paßpunkterstellung für großmaßstäbliche Kartierungen.
- 5) Punktbestimmung für verschiedenste technische Arbeiten.

Zu diesen Arbeiten könnte noch im Rahmen von Entwicklungshilfe Österreich entsprechende Aerotriangulierungsarbeiten durchführen.

Zusammenfassend kann berichtet werden, daß die praktischen Beispiele die geforderten Genauigkeiten voll erfüllen. Über die Wirtschaftlichkeit dieser Methodik kann nichts Endgültiges ausgesagt werden.

Tabelle 4 und 5 sollen jedoch die Paßpunkteinsparung in den beiden Testoperaten zeigen, die bei dem Einsatz der Blockausgleichung gegenüber den derzeit praktizierten Methoden des BAfEuV auftreten.

Aus den Ergebnissen dieser beiden Tabellen kann ersehen werden, daß allein die Kostenersparnis wegen der geringeren Paßpunktmessungen bei wenigen Operaten der Größenordnung des Blockes EP Rev. Altenfelden oder Blättern der ÖK 1:50 000, so hoch sind, daß damit

TABELLE 4

	Methodik BAfEV (Streifenausgleich)	räumliche Blockausgleichung, Version b (5.1.32)
Gesamtanzahl der Punkte, die zu bestimmen sind (Summe aller terrestrisch bestimmter Punkte und durch die Photogrammetrie zu bestimmenden Punkte)	229	229
Anzahl der terrestrisch bestimmten Lagepaßpunkte	(76)* 27	4
Anzahl der terr. bestimmten Höhenpaßpunkte	(83)* 30	16
Verhältnis der terr. bestimmten Lagepaßpunkte/ Gesamtanzahl	1/8,5	1/57,3
Verhältnis der terr. bestimmten Höhenpaßpunkte/ Gesamtanzahl	1/7,6	1/14,3
Ersparnis an terr. Lagepaßpunkten in %	0 %	85,2 %
Ersparnis an terr. Höhenpaßpunkten in %	0 %	46,7 %

Operat ÖK 161

Verhältnisse der terrestrischen Paßpunktmessung zu den photogrammetrisch bestimmten Punkten zwischen der Methode des BAfEV und einer räumlichen Blockausgleichung und die dabei auftretenden Einsparungen an terrestrischen Punktbestimmungen.

* bei den 76 Lagepaßpunkten handelt es sich im Normalfall um Paßpunktzwillinge. In diesen 76 Punkten sind auch 23 Paßpunkte alter Operate enthalten, die für die Ausgleichung selbstverständlich mitverwendet wurden. Tatsächlich waren für das Operat des BAfEV 27 Lage- und 30 Höhenpaßpunkte geplant. Für den Vergleich der beiden Methoden können selbstverständlich nur die geplanten Anzahlen verwendet werden.

der Ankauf und die Installation z. B. des Programmpaketes PAT-M 43 möglich wäre. Dadurch könnte praktisch sofort die Blockausgleichung statt der beiden anderen Methoden angewendet werden, womit die Kostenersparnisse bei allen neuen Operaten zum Tragen kämen.

TABELLE 5

	Methodik BAfEV Einzelmodell- auswertung	räumliche Blockausgleichung		
		VERSION c 2 5.2.43	VERSION d 2 5.2.44	VERSION e 2 5.2.46
Gesamtzahl der Punkte, die zu bestimmen sind (Summe aller TP's, aller terrestrisch bestimmter EP's und aller durch die Photogrammetrie zu bestimmenden Punkte)	568	568	568	285
Anzahl der terr. Lagepaßpunkte (TP's + terr. bestimmte EP's)	127 (=57+ <u>70</u>)	89 (=57+ <u>32</u>)	65 (=57+ <u>8</u>)	57 (=57+ <u>0</u>)
Anzahl der terr. Höhenpaßpunkte (TP's + terr. bestimmte EP's)	126 (=56+ <u>70</u>)	88 (=56+ <u>32</u>)	64 (=56+ <u>8</u>)	56 (=56+ <u>0</u>)
Verhältnis der terr. bestimmten EP's zu der Gesamtpunkteanzahl	1/8,1	1/17,8	1/71	1/∞ *)
Ersparnis an terr. EP - Messung in %	0 %	54,3 %	88,6 %	100 %

Operat EP Rev. Altenfelden

Verhältnis der terrestrischen EP-Messung zu den photogrammetrisch bestimmten Punkten zwischen der Methode des BAfEV und einer räumlichen Blockausgleichung und die dabei auftretenden Einsparungen an terrestrischen EP-Bestimmungen.

*) in diesem Fall wird ja kein einziger EP terrestrisch bestimmt.

L I T E R A T U R

- ACKERMANN F. (1966):
Photogrammetrische Lagegenauigkeit streifenartiger Modellverbände. - Bildmessung und Luftbildwesen, 3, S. 119 - 124 und 4, S. 178 - 184, 1966
- ACKERMANN, F. (1966):
On the theoretical accuracy of plainmetric block triangulation. - Photogrammetria, 21, S. 134 - 170, 1966
- ACKERMANN F. (1967):
Theoretische Beispiele zur Lagegenauigkeit ausgeglichener Blöcke. - Bildmessung und Luftbildwesen, 3, S. 114 - 122, 1967
- ACKERMANN F. (1968):
Gesetzmäßigkeiten der absoluten Lagegenauigkeit von Blöcken. Bildmessung und Luftbildwesen, 1, S. 3 - 15, 1968
- ACKERMANN F. (1970):
Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen. Bildmessung und Luftbildwesen, 4, S. 198 - 206, 1970
- ACKERMANN F. (1973):
Numerische Photogrammetrie - Zwischenbilanz einer intensiven Entwicklung.
Vortrag bei dem Lehrgang "Numerische Photogrammetrie", Esslingen 1973
- ACKERMANN F., EBNER H., KLEIN H (1970):
Ein Programm-Paket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen. Bildmessung und Luftbildwesen, 4, S. 218 - 224, 1970
- ALBERTZ J. (1966):
Blocktriangulation mit Einzelbildern. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 92, 1966
- BREUER P. (1969):
Rundungsfehler bei direkter Auflösung geodätischer Gleichungssysteme. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 135, 1969
- BUNDESGESETZBLATT NR. 306 (1968):
Bundesgesetzblatt der Republik Österreich vom 3. 7. 1968, BGBl. Nr. 306, über die Landesvermessung und den Grenzkataster. ("Vermessungsgesetz 1968")

BERVOETS S. G. (1958):
Block adjustment
Cartography 2 (1958), 4.

BERVOETS S. G. (1960):
Block adjustment - developments and experiments
Part 1., Cartography 3 (1960), 3.

BREYER E. (1972):
Ausgleichung photogrammetrischer Streifen
Diplomarbeit an der Technischen Hochschule Wien, 1972

BUNDESGESETZBLATT NR. 53 (1969):
Verordnung des Bundesministeriums für Bauten u. Technik vom
19. 12. 1968, BGBl. Nr. 53/1969, mit der die näheren Vor-
schriften über die Vermessungen und die Pläne erlassen werden
"Vermessungsverordnung".

EBNER H. (1970):
Die theoretische Lageblockgenauigkeit ausgeglichener Blöcke
mit bis zu 10 000 unabhängigen Modellen
Bildmessung und Luftbildwesen, 38, S. 225 - 230, 1970

EBNER H. (1970):
Genauigkeitserwartungen photogrammetrischer Blöcke mit
großen Punktmengen.
Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I,
Heft Nr. 53, S. 51 - 70, 1971

EBNER H. (1971):
Das Programm-Paket PAT-M für die räumliche Aerotriangulation
mit unabhängigen Modellen.
Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I,
Heft Nr. 53, S. 37 - 49, 1971

EBNER H. (1973):
Die theoretische Genauigkeitsleistung der räumlichen
Blockausgleichung.
Vortrag beim Lehrgang "Numerische Photogrammetrie",
22 Seiten, Esslingen 1973

GEKELER G. (1969):
Rechenprogramme der IBM Deutschland auf dem Gebiet der
Photogrammetrie
Bildmessung und Luftbildwesen, 5, S. 235 - 240, 1969
Programm 1: Auswertung von Meßdaten des Stereokomparators PSK
von Zeiss

GÜTTNER R. (1970):
Was ist - was soll Operationsforschung?
Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin, 1970

- HALWAX F. (1962):
Eine Methode für die rechnerische Ausgleichung von Aero-
triangulationen - Österr. Zeitung für Vermessungswesen, 3,
S. 81 - 96, 1962
- JERIE H. G. (1958):
Analoge computer for block adjustment
Photogrammetrie, 4, 1957/58
- JERIE H. G. (1968):
Probleme der Photogrammetrischen Projektplanung
Skriptum zu einer Vorlesung an der TH Wien, 1968
- JERIE H. G. (1972):
Planning of Photogrammetric Projects
International Society for Photogrammetry, Ottawa, 1972
- JERIE H. G. (1973):
PPP - An Operations Research Programme for Project Planning
ITC-Journal, 3, S. 349 - 378, 1973
- JORDAN, EGGERT, KNEISSL (1972):
Handbuch der Vermessungskunde, Band IIIa, Photogrammetrie,
Stuttgart, 1972
- KOVARIK J. (1971):
Zur photogrammetrischen Bestimmung von Einschaltpunkten
Österr. Zeitung für Vermessungswesen, 2, S. 39 - 47, 1971
- LEEB P. (1968):
Über räumliche Transformationen
Österr. Zeitung für Vermessungswesen, 3, S. 96 - 104, 1968
- LIGTERINK G. H. (1970):
Aerial Triangulation by Independent Models - the Coordinates
of the Perspective Centre and their Accuracy.
Photogrammetria, S. 5 - 16, 1970
- OŠEPKA G. (1974):
Untersuchung über die Einsatzmöglichkeit der Blockausgleichung
in Österreich
Manuskript, 1974
- OŠEPKA G., SEMTURS F., WALDHÄUSL P. (1970):
Modifikation des IBM-Programmes. Auswertung von Meßdaten des
Stereokomparators PSK von Zeiss, für Meßdaten des Stereokom-
parators STK-1 von Wild
IBM Österreich, 1970
- SCHENK A. (1972):
Numerische Untersuchungen zur photogrammetrischen Blocktrian-
gulation nach der Bündelmethode.
Mitteilungen aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
an der Eidgen. Technischen Hochschule Zürich, Nr. 16, 1972

SCHMID H. H. (1956):
An Analytical Treatment of the Problem of Triangulation by
Stereophotogrammetry
Photogrammetria, 2, S. 67 - 77 und 3, S. 91 - 116, 1956/1957

SCHMID H. H. (1958):
Eine allgemeine analytische Lösung für die Aufgabe der Photo-
grammetrie - Bildmessung und Luftbildwesen, 4, S. 103 - 113,
158 und 1, S. 1 - 12, 1959

SCHUT G. H. (1963):
Development of Programs for Strip and Block Adjustment at the
National Research Council of Canada.
NRC - 76 32, 1963

STEWARDSON P. B. (1972):
The Determination of Projection-Centre Coordinates
International Congress for Photogrammetry, Ottawa, 1972

STICKLER A. (1971):
ÖK 161, Legende zum Koordinatenverzeichnis im M° 31
Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1971

STOER J. (1972):
Einführung in die Numerische Mathematik I.
Heidelberger Taschenbücher Nr. 105, Springer-Verlag, 1972

WALDHÄUSL P. (1959):
Height Adjustment by the ITC-Jerie Method
Photogrammetria, 1, S. 29 - 37, 1959/60

WALDHÄUSL P. (1973):
Funktionale Modelle der Streifen- und Streifenblockausgleichun-
gen mit einfachen und Spline-Polynomen für beliebiges Gelände.
Erscheint als Sonderheft Nr. 26 der Österr. Zeitung für Ver-
messungswesen, 1973

Geowiss. Mitt. 3
1974, 72 - 88

ÜBER GESETZMÄSSIGKEITEN DER GENERALISIERUNG

von

E. Jiresch

(Vortrag gehalten am 16. Jänner 1974
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen, gekürzte Fassung)

Dipl.Ing. Erich Jiresch, Hochschulassistent am Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik, Technische Hochschule in Wien 1040, Karls-gasse 13.

ZUSAMMENFASSUNG

Überblickt man den Stand der Arbeiten zur Formulierung und Anwendung von Generalisierungsgesetzen, dann kann man sagen, daß für einzelne Anwendungsfälle bereits Verfahren für eine automatische Schematisierung und automatische Auswahl ausgearbeitet wurden.

Für die qualitative Auswahl benötigt man Auswahlkriterien, die die Objekteigenschaften und den Generalisierungsgrad als Parameter haben. Der Generalisierungsgrad läßt sich mit quantitativen Gesetzen der Auswahl beschreiben. Welche Objekteigenschaften als Kriterien der Auswahl dienen sollen, ist noch zu erforschen.

Die linienhaften Objekte sind einer automatischen Bearbeitung leichter zugänglich als flächenhafte Objekte; für die ersteren liegen anwendbare Vorschläge für die Generalisierung und Schematisierung vor - für Siedlungen dagegen, die als Ansammlung von Einzelhäusern dargestellt werden, gibt es bisher nur quantitative Untersuchungen ohne schlüssige Folgerungen.

Völlig ungelöst sind derzeit die Probleme, die sich daraus ergeben, daß der menschliche Bearbeiter sehr wohl imstande ist, die in Wirklichkeit nicht linear nacheinander ablaufenden Einzelvorgänge der Generalisierung ständig zu verknüpfen, eine Maschinenbearbeitung aber eine Auflösung in lineare Algorithmen erfordert.

Zu diesem Thema liegen erst wenige Arbeiten vor, aber es ist zu erwarten, daß die beschrifteten Wege zur Lösung auch dieser Aufgabe führen werden.

EINLEITUNG

Man ist bemüht, den Generalisierungsprozeß zu objektivieren, indem man seine Gesetzmäßigkeiten erforscht - und schafft damit auch die Voraussetzung für eine automatische Generalisierung mittels Computer und Plotter. Die Vorteile, die man sich von einer Objektivierung des Generalisierungsprozesses erwartet, sind:

1. Die Einheitlichkeit der vielen Blätter eines Kartenwerkes kann trotz verschiedener Bearbeiter gewahrt werden.
2. Die Karten einer Maßstabsreihe können harmonisch aufeinander abgestimmt werden.
3. Die Zeichenschlüssel für aufeinanderfolgende Kartenmaßstäbe können aufeinander abgestimmt werden.
4. Leichtere Lehr- und Erlernbarkeit der Tätigkeit des Generalisierens.
5. Voraussetzung für eine Automatisierung der Generalisierung.
6. Schnellere Generalisierung.

Vergleicht man die Ergebnisse, soweit sie heute vorliegen, mit dem hohen Stand der theoretischen Durchdringung anderer Gebiete der Geodäsie, so muß man feststellen, daß bisher recht wenig an theoretischen oder praktischen Ergebnissen vorliegt. Das verwundert umso mehr, wenn man bedenkt, daß die Kartographie keine junge Wissenschaft ist und auf anderen Gebieten, etwa der Projektionslehre, theoretisch gut fundiert ist. Die erste theoretische Behandlung der Generalisierung wurde erst 1866 verfaßt. Sie stammte von dem preußischen Oberst Emil v. SYDOW, und blieb 45 Jahre die einzige einschlägige Arbeit. Dann erst setzte die Fachliteratur ein. Von deren Anfang an bis fast in die Gegenwart herein gab es den Gelehrtenstreit, ob in der Generalisierung Gesetzmäßigkeiten zu finden wären oder nicht.

Diese Frage soll hier nicht erörtert werden, denn mehr oder weniger exakte Anweisungen an den Kartographen gibt es jedenfalls. Beispielsweise die wenig exakte Anweisung: "Die Charakteristik ist zu wahren", oder die schon sehr detaillierte Anweisung: "Im allgemeinen sind statt fünf Häusern drei zu geben". Die letzte Anweisung ist schon eine ziemlich mathematisch formulierte Regel für die quantitative Generalisierung.

Ehe ich nach diesem einleitenden Teil auf Generalisierungsgesetzmäßigkeiten zu sprechen komme, muß ich das Vortragsthema etwas präzisieren. Im Generalisierungsvorgang sind Gesetzmäßigkeiten verschiedener Art wirksam: die *n a t ü r l i c h e n* Objekte der Kartendarstellung, wie z. B. Gewässernetz und Orographie, sind in ihrer Ausformung und Verteilung mit statistischen Gesetzen der Landschaftsmorphologie zu beschreiben; den *k ü n s t l i c h e n* Objekten, wie z. B. Siedlungen, wohnt eine eigene Systematik inne. Und schließlich beeinflussen *g r a p h i s c h e* und farbpsychologische Gesetze, die z. B. den Minimalabstand und die Minimaldimensionen in Karten bedingen, den Generalisierungsprozeß. Von diesen soll aber nicht die Rede sein, sondern von solchen, mit denen die Frage beantwortet wird: Wieviel und was soll weggelassen werden, wenn man aus einer Ausgangskarte mit dem Maßstab $1:M_1$ eine Folgekarte mit dem Maßstab $1:M_2$ ableiten will? Als Grenzfall kann man die Natur als Ausgangskarte mit dem Maßstab 1:1 einbeziehen.

GENERALISIERUNG

Für die weiteren Ausführungen ist es zweckmäßig, den Gesamtprozeß "Generalisierung" in die Teilvorgänge

1. Auswahl
2. Schematisierung
3. Harmonisierung

zu gliedern.

Unter der - Auswahl - ist die Verringerung der Objektanzahlen zu verstehen. Als Schematisierung ist für lineare Objekte, z. B. Verkehrswege und Gewässer deren Formvereinfachung oder Vergrößerung gemeint. Die Formvereinfachungen kann man auch als eine Auswahl an Formeninformation deuten. Für flächige Objekte umfaßt die Schematisierung die Vergrößerung, die Formvereinfachung und die Zusammenfassung von mehreren kleineren Einzelobjekten zu einem einzigen dargestellten.

Die Harmonisierung schließlich ist notwendig um einen Ausgleich von Diskrepanzen, die aus den beiden ersten Maßnahmen entstanden sind, herbeizuführen und darüber hinaus, um durch Betonung der charakteristischen Formen für die Erhaltung des geographischen Charakters der dargestellten Landschaft im Kartenbild zu sorgen.

Eine der Aufgaben, die unter den Begriff der Harmonisierung fallen, ist die Verdrängung. Für einfache Verdrängungsaufgaben wurden bereits Zeichenprogramme entwickelt. Von allen drei Teilvorgängen der Generalisierung ist das Harmonisieren am schwersten einer Automatisierung zugänglich. Es ist zu erwarten, daß man hier die manuelle Tätigkeit ziemlich lange beibehalten wird, weil das Verhältnis von Aufwand bei Computerbearbeitung zu erzielttem Erfolg zu hoch sein wird. Deshalb sind die derzeitigen Bemühungen auch hauptsächlich auf die beiden anderen Teilbereiche der Generalisierung gerichtet: auf die Auswahl und die Schematisierung. Die veröffentlichten Arbeiten zeigen, daß von verschiedenen Seiten her eine Lösung der Aufgabe versucht wird. Dementsprechend werden im folgenden die vier Abschnitte behandelt:

1. Verfahren zur Glättung von Linienzügen
2. Quantitative Auswahlgesetze und deren Anwendung
3. Beispiel zur qualitativen Auswahl
4. Zusammenfassung

Generalisierungsgesetze erhält man auf zwei Wegen: Die deskriptive Methode beginnt mit systematischen Untersuchungen von ausgeführten Generalisierungen, um eventuell vorhandene Gesetzmäßigkeiten feststellen und mathematisch beschreiben zu können. Die normative Methode gibt Vorschriften für die generalisierte Zeichnung vor. Im folgenden Abschnitt wird diese Methode kurz behandelt.

VERFAHREN ZUR GLÄTTUNG VON LINIENZÜGEN

Aus dem praktischen Betrieb von Zeichenautomaten ergeben sich zwei Probleme: Die Speicherung der Koordinaten eines Linienzuges z.B. einer Höhenschichtlinie oder einer Gewässerlinie erfordert bei dichter Punktfolge ziemlich viel Speicherkapazität. Andererseits sinkt bei dichter Punktfolge die erzielbare Zeichengeschwindigkeit des Plotters und damit seine Rentabilität. Außerdem leidet die Qualität einer tuschegezeichneten Linie bei langsamen Zeichnerbetrieb - sie erhält ein fasriges und rauhes Aussehen.

Beidem begegnete man durch die Entwicklung von Verfahren zur Datenreduzierung einerseits und Approximationsverfahren andererseits, mittels derer aus den verringerten Daten ein Linienzug gezeichnet werden kann, der von dem aus allen Daten gezeichneten vernachlässigbar wenig abweicht. Diese Zielsetzung enthält noch keinen Generalisierungseffekt, gerade das Gegenteil ist hier angestrebt: eine möglichst getreue Anpassung an die Originalkurve. Wenn man aber die Parameter der Approximationskurve verändert, läßt sich ein Generalisierungseffekt erzielen.

In der Literatur werden für die Linienglättung folgende Methoden angegeben: Erstens Linienvereinfachung durch Punktauswahl und Zeichnung der Linie mit den verbleibenden Punkten; zweitens Berechnung einer Ersatzkurve zur ursprünglich gegebenen mit Approximationsrechnungen. Für die Berechnung verwendet man zweckmäßig bereits eine reduzierte Punktzahl.

Die Punktauswahl kann erfolgen durch:

1. Verwendung jedes n-ten Punktes
2. Verwendung von Punkten mit konstanten Abständen
3. Ersatz mehrerer Punkte durch Schwerpunkt
4. Auslassen von Punkten mit Ausschlägen unter einem vorgegebenen Wert
5. Arithmetisches Mittel aus n-Punkten - über eine Schwingung der Abfahrungsicherheit gemittelt.

Die Glättung einer Linie durch Punktauswahl nach Methode 1, 2, oder 3 stumpft die Formen ab, nach 3 ist außerdem eine Lageverschiebung der Linie zu erwarten. Bei der Punktauswahl nach 4 bleiben scharfe und charakteristische Ecken der Linie erhalten. Das Verfahren nach 5 hat den Vorteil, daß es alle vorhandenen Daten des gegebenen Linienzuges verwendet und keine ausscheidet. Es wird auch benutzt, um manuell erhaltenen Digitalisierungswerte von den zufälligen Fehlern der Abfahrungsicherheit zu befreien.

Zur Berechnung von Ersatzkurven: Man benutzt Polynome und zwar Potenz-Polynome oder trigonometrische Polynome, die stückweise oder ganz einen Linienzug ersetzen:

$$x = x(t) = \sum_n a_n \cdot f_n(t)$$

$$y = y(t) = \sum_n b_n \cdot f_n(t)$$

$$\begin{matrix} x \\ y \end{matrix} = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5$$

$$\begin{matrix} x \\ y \end{matrix} = a_0 + a_1 \sin t + a_2 \sin 2t + \dots + b_1 \cos t + b_2 \cos 2t + \dots$$

Die Koeffizienten a_i und b_i werden aus den gegebenen Koordinatenwerten des zu approximierenden Linienzuges berechnet. Im **allgem.** liegen Überbestimmungen vor und man verwendet Methoden der Ausgleichsrechnung für die numerische Berechnung.

Schematisierung mittels Informationstheorie

Beide zuvor genannten Verfahren der Linienglättung behandeln die Aufgabe mit rein mathematischen Methoden. Einen gänzlich anderen Weg gibt F. HOFFMANN an. Er verwendet die in der Nachrichtentechnik verwendete Informationstheorie, um an einem Kartenobjekt zwei Arten von Information zu unterscheiden: eine nützliche und eine überflüssige Information. Die Kriterien für die Zuordnung zur einen oder anderen Kategorie haben als Parameter den Kartenmaßstab und den Kartentypus. Bild 1 zeigt eine Erläuterung am Beispiel einer gewundenen Linie.

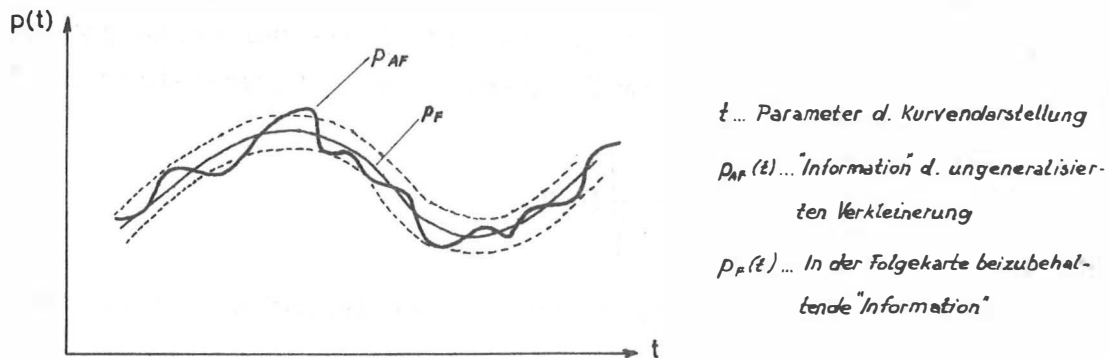


Bild 1. (Nach Hoffmann)

Die stark ausgezogene Linie stellt die ungeneralisierte Verkleinerung, z. B. eines Flusses, dar. An ihr sind zwei Schwingungsarten zu unterscheiden: Schwingungen mit großer Wellenlänge und Amplitude und Schwingungen mit kleiner Wellenlänge und Amplitude. Die letzteren fallen in den Bereich der überflüssigen Information, der im Bild durch die beiden gestrichelten Kurven begrenzt ist. Der Abstand der beiden Kurven bestimmt den Generalisierungsfaktor. Die nützliche und beizubehaltende Information ist mit der dünnen Volllinie gegeben.

In diesen Zusammenhang gehört auch die Generalisierung von Höhenschichtlinien mit Hilfe eines digitalen Geländemodells, wie es Professor KRAUS in seinem Vortrag im vorigen Jahr beschrieben hat.

Abschließend ist zu bemerken, daß die skizzierten Verfahren kaum noch auf ihre Eignung für den Einsatz in der Praxis geprüft wurden.

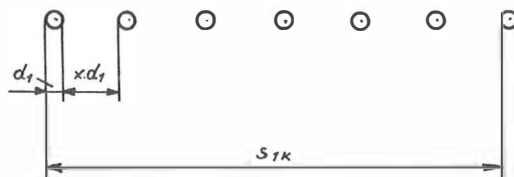
QUANTITATIVE AUSWAHLGESETZE

Die deskriptive Methode zur Erarbeitung von quantitativen Generalisierungsgesetzen wurde richtungsweisend von F. TÖPFER in Dresden ausgeführt: Ausgehend von einer einfachen geometrischen Überlegung leitete Töpfer die als Wurzelgesetz bekannte Beziehung ab und bestätigte durch Untersuchungen an vielen ausgeführten Generalisierungen dessen Brauchbarkeit. Traten bei Untersuchungen Diskrepanzen zwischen berechneten Kennzahlen und beobachteten auf, so ergaben und ergeben die Analysen nicht selten, daß die untersuchte Karte nicht optimal generalisiert ist.

Das Wurzelgesetz nach Töpfer lautet: Liegen zwei Karten verschiedener Maßstäbe vor, dann soll das Verhältnis der Objektzahlen n_2/n_1 gleich der Wurzel aus dem Quotienten der Maßstabszahlen sein:

$$n_2/n_1 = \sqrt{M_1/M_2}$$

Diese Beziehung läßt sich nach Töpfer leicht aus folgender Überlegung ableiten: (Bild 2)



Es sei eine solche kartographische Signaturenanordnung gegeben, wie sie im Bild dargestellt ist (z. B. Winschutzstreifen). Die Durchmesser d_1 und die Abstände $x \cdot d_1$ zwischen den Ringsignaturen seien die günstigste kartographische Lösung für die Karte 1 mit der Maßstabszahl M_1 . Dann ergeben sich nach einem von Töpfer als Gesetz der Kartenmaße bezeichneter Beziehung, für die Karte 2 die hier günstigsten Maße d_2 und $x \cdot d_2$ aus der umseitig stehenden Gleichung:

$$(x \cdot d_2 + d_2) = (x \cdot d_1 + d_1) \cdot \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

Wählt man in der Karte 2 diese Signaturmaße für die Darstellung der gegebenen Streifenanordnung, dann läßt sich die in der Karte 2 dargestellte Anzahl von Ringsignaturen berechnen mit

$$n_2 = n_1 \cdot \sqrt{M_1/M_2}$$

und hat damit das einfache Wurzelgesetz abgeleitet.

Wählt man die Signaturmaße nicht nach der eben verwendeten Beziehung so ergeben sich drei weitere charakteristische Fälle:

- 1) Bei Beibehaltung einer unveränderten Naturdichte der Objekte erhält man aus dieser Forderung sofort: $n_2 = n_1$

Dieser Fall entspricht einer photographischen Verkleinerung.

- 2) Bei Objekten, die gleichsam als Nebenelemente einem Hauptelement zugeordnet sind, muß eine zweimalige Auswahl erfolgen, das Wurzelgesetz also 2 mal angewendet werden, womit sich der Quotient

$$n_2/n_1 = M_1/M_2$$

ergibt.

Ein Beispiel für diesen Anwendungsfall sind etwa die Höhenkoten. Denn zuerst sind die Geländeformen nach dem Wurzelgesetz zu verringern und dann die innerhalb der Formen anzuschreibenden Höhenkoten.

3) Bei der Verwendung desselben Zeichenschlüssels in beiden Karten, also bei $d_1 = d_2$ und damit einer Beibehaltung einer gleichen Kartendichte, erhält man

$$n_2/n_1 = (M_2/M_1)^2$$

Alle vier Auswahlstufen lassen sich mit dem um zwei Faktoren erweiterten einfachen Wurzelgesetz darstellen:

$$n_2/n_1 = C_{Zi} \cdot C_{Bi} \cdot \sqrt{M_1/M_2} \quad \text{Erweitertes Auswahlgesetz}$$

Dabei bedeuten C_{Zi} eine Zeichenschlüsselkonstante und C_{Bi} eine Bedeutungskonstante. Welche Werte für die Konstanten einzusetzen sind, ist aus den 2 kleinen Tabellen zu ersehen.

Zeichenschlüsselkonstante:

Für	C_{Zi}
Zeichenschlüssel n. Gesetz der Kartenmaße	1
Lineare Objekte	$s_1/s_2 \cdot \sqrt{M_1/M_2}$
Flächenhafte Objekte	$f_1/f_2 \cdot \sqrt{M_1/M_2}$

Die Zeichenschlüsselkonstante hat den Wert 1, wenn die Signaturen nach dem Gesetz der Kartenmaße aufeinander abgestimmt sind. Andernfalls ist sie zu berechnen für lineare Objekte aus dem Verhältnis der tatsächlich gegebenen Signaturbreiten s_1 und s_2 und für flächenhafte Objekte aus dem Verhältnis der Signaturflächen f_1 und f_2 .

Bedeutungskonstante:

Bedeutung	C_{Bi}
gering	$\sqrt{M_1/M_2}$
normal	1
besonders	$\sqrt{M_2/M_1}$

Mit den Bedeutungskonstanten werden 3 Bedeutungsfälle unterschieden und zwar: Geringe, normale und besondere Bedeutung. Welche die jeweils zutreffende ist, hängt nicht nur vom Objekt, sondern auch vom Kartentypus und dem Maßstab, für den generalisiert wird, ab.

Es ist interessant, daß Wurzelgesetze in verschiedenen Bereichen der Topographie und Kartographie als Erfahrungsformeln Bedeutung haben.

Bildmaßstabszahl eines Luftbildes	$M_b = c \cdot \sqrt{M_k}$
Mittl. Höhenfehler für Punkthöhen aus Karten verschiedener Maßstäbe	$m_{H1} = m_{H2} \cdot \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$
Durchschnittl. Aufnahmedistanz für Höhenaufnahme	$S^{(m)} = \sqrt{M}$
Günstige Zeichenschlüssel	$K_1/K_2 = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$

Die letzte Beziehung wurde als "Gesetz der Kartenmaße" vorhin für die Ableitung der Generalisierungsgrade nach Töpfer benutzt.

Das Wurzelgesetz wird auch in der BRD auf seine Brauchbarkeit geprüft und zwar in recht intensiver Weise durch das Institut für Angewandte Geodäsie in Frankfurt. Es wurden dazu mehrere Ergebnisse veröffentlicht, aus denen ich zwei erwähnen möchte.

Beispiele zur Überprüfung vorhandener Karten:

Für ein Testgebiet wurde die Generalisierung des Gewässernetzes untersucht. Ausgangskarten waren jeweils Blätter der Topographischen Karte 1:50 000 der BRD und Folgekarten die zugehörigen Blätter der Topographischen Übersichtskarte 1:200 000. Gemäß der TÖPFER'SCHEN Auswahlformel müßte sich ergeben

$$n_2 = n_1 \cdot C_z \cdot C_B \cdot \sqrt{\frac{50.000}{200.000}}$$

und da $C_z = 1$ festgestellt werden kann:

$$n_2 = n_1 \cdot 0,5 \cdot C_B$$

Ergebnisse für die Auswahl:

Untersuchte Gebiete: 18	C_B	Mittl. Wert	0,73
		Min. Wert	0,35
		Max. Wert	1,8

Das Untersuchungsergebnis weist relativ große Streuungen auf, der Mittelwert ist 0,73. Zur Berechnung des Soll-Wertes ist ein von TÖPFER veröffentlichtes Diagramm zu verwenden. Es ergibt sich ein Soll-Wert von 0,25 - weitab vom vorhandenen Mittelwert von 0,73. Hingegen paßt dieser Wert sehr gut mit dem theoretischen Wert für besondere Bedeutung zusammen, dieser ist 0,7. Man kann also vermuten, daß die Gewässer zu wenig reduziert wurden.

Die relativ großen Schwankungen der Generalisierungsgrade, die im Ergebnis vorhanden sind, gaben den Anlaß, die Testgebiete mit extremen Abweichungen einer eingehenden Prüfung zu unterziehen, bei der sich für 2 Testgebiete sofort ergab, daß die Darstellung in der TK 1:50 000 unzureichend war. Es handelte sich um ebene Gebiete mit einem dichten Graben- und Kanalsystem, dessen Entwässerungsrinne im Maßstab 1:50 000 in viel zu kleinem Umfang wiedergegeben worden waren.

Ergebnisse für die Schematisierung:

Die Schematisierung wird, um quantitativ erfaßbar zu sein, als Informationsauswahl aufgefaßt und diese als Verringerung von Flexionen gezählt.

Untersuchte Gebiete: 23	C_B	Mittl. Wert	1,0
		Min. Wert	0,63
		Max. Wert	1,9

Der durchschnittliche Wert liegt nahe bei dem theoretischen Wert 1, womit die Formel in diesem Test bestätigt wird. Die großen Unterschiede zwischen minimalem und maximalem Wert können auf ungleichmäßiger Bearbeitung verschiedener Blätter oder/und morphologischen Unterschieden der Flüsse beruhen.

AKTIVE ANWENDUNG DER AUSWAHLFORMELN

Man kann die TÖPFER'SCHEN Auswahlformeln oder auch andere aktiv benützen, indem man für eine vorgegebene Generalisierungsaufgabe das Verhältnis n_2/n_1 berechnet und mit diesem Reduktionsverhältnis ständig die fortschreitende Arbeit kontrolliert. Selbstverständlich ist die Entscheidung, welche Objekte wegzulassen sind, immer noch dem Kartographen überlassen, und es bedarf großer Erfahrung und guter geographischer Kenntnisse, um ein zutreffendes und nicht ein verfälschendes Bild der Wirklichkeit zu erzeugen. Zwei verschiedene Generalisierungen desselben Ausgangsmaterials bei je gleichem n_2/n_1 können verschieden aussehen. Beispielsweise kann man die Auswahl des Gewässernetzes so gestalten, daß alle Bäche unter einer bestimmten Mindestlänge fortgelassen werden. Ein Gebiet mit sehr vielen, aber kurzen Bächen wird dabei trotz seiner großen Flußdichte im Kartenbild fälschlicherweise als ein Gebiet von geringer Flußdichte aufscheinen. Ein anderes Ergebnis erhält man, wenn man nicht nach Mindestlängen auswählt, sondern das zu generalisierende Gebiet in kleinere Teilgebiete zerlegt und jedes Gebiet für sich im Verhältnis n_2/n_1 generalisiert: Damit wird eine richtige Wiedergabe der Flußdichte im Kartenbild erreicht.

1970 veröffentlichte der deutsche Geodät und Kartograph W. BECK eine kurze allgemeine Ableitung für die formelmäßige Erfassung der quantitativen Generalisierung, die praktisch zu den schon bekannten TÖPFER'SCHEN Formeln führt.

Bis jetzt wurde nur von der quantitativen Auswahl gesprochen, die zwar aussagt, wieviel bei einer Generalisierung zu vereinfachen ist, nicht aber, was davon betroffen sein soll. Im folgenden Abschnitt wird ein Beispiel zur qualitativen Auswahl vorgeführt.

QUALITATIVE AUSWAHL

Die Entscheidung, welche der gegebenen Objekte einer Ausgangskarte nicht mehr in der Folgekarte aufscheinen sollen, ist einer automatischen Lösung schwieriger zugänglich. Den speziellen Fall der Auswahl von Siedlungen für chorographische Karten kann man relativ leicht formulieren und auch programmieren. N. KADMON hat 1972 ein Programm für diesen Zweck ausgearbeitet. Die Grundgedanken und die Vorgangsweise könnten in analoger Form für die qualitative Auswahl anderer Objekte verwendet werden.

KADMON geht bei der Siedlungsauswahl folgendermaßen vor: Für sämtliche Siedlungen eines Gebietes, die als Objekte der Generalisierung in Frage kommen, werden Bedeutungszahlen berechnet. Die in Frage kommenden Siedlungen sind entweder die in einer Ausgangskarte gegebenen oder überhaupt alle in dem Kartengebiet existierenden. Die Bedeutung einer Siedlung wird durch n Merkmale beschrieben; z. B.:

1. Bevölkerungszahl
2. Verwaltungsstatus
3. Industrielle Bedeutung
4. Kommerzielle und finanzielle Bedeutung
5. Agrarische Bedeutung
6. Energiequellen
7. Anzahl der Straßen 1.0.

8. Anzahl der Straßen 2.O.
9. Anzahl der Eisenbahnlinien
10. Häfen und Flugplätze
11. Historische und archäologische Bedeutung
12. Aktuelle geschichtliche Bedeutung
13. Kulturelle und religiöse Bedeutung
14. Erziehungs- und Gesundheitseinrichtungen
15. Landschaftliche und touristische Bedeutung
16. Entfernung und Isolation

Jedes davon wird quantifiziert. Für die quantitativen Merkmale, wie Bevölkerung, Jahresumsatz usw. sind die Zahlenwerte direkt aus statistischen Unterlagen zu entnehmen. Es ist günstiger, nicht die absoluten Zahlenwerte zu verwenden, sondern aus diesen durch Gruppenbildung Skalenwerte zu gewinnen. Die qualitativen Merkmale, wie z. B. Verwaltungsstatus oder landschaftliche und touristische Bedeutung müssen von vornherein in Werten einer Stufenskala angegeben werden. Nach erfolgter Wertezuweisung ist jeder Siedlung ein Vektor mit 16 Elementen zugeordnet.

Je nach Kartentypus sind die 16 Merkmale von unterschiedlicher Bedeutung für die Auswahl, was man durch die Einführung von Gewichten w_j ($j = 1 \dots 16$) für die einzelnen Merkmale berücksichtigen kann. Für jede Siedlung ist nun in einfacher Weise die Gewichtssumme aus den Teilbedeutungen zu errechnen nach

$$Rt_i = \sum_{j=1}^{16} R_{ij} \cdot w_j ,$$

die die Gesamtbedeutung ausdrückt.

Für alle Siedlungen zusammen:

$$\| R_{ij} \| \cdot \| w_j \| = \| Rt_i \|$$

Die nach den Zahlenwerten der Gesamtbedeutung in einer Liste geordneten Siedlungen sind die Basis der Generalisierung. Ist die Gesamtzahl der aufgelisteten Siedlungen n_1 , dann ist die Zahl der darzustellenden Siedlungen n_2 nach einem geeigneten Modus vorzuschreiben, z. B. nach dem TÖPFER'SCHEN Auswahlgesetz. Die ersten n_2 Siedlungen sind dann in der neuen Karte darzustellen.

Der geschilderte Auswahlvorgang benutzt 2 Generalisierungsparameter, nämlich den Gewichtsvektor w_j und den Generalisierungsfaktor Gf , das ist der Quotient aus n_2 und n_1 . Durch Variation beider ist es möglich, die Auswahl dem Typus der herzustellenden Karte anzupassen.

Die vorhin in der Tabelle gezeigten 16 Merkmalstypen wurden von KADMON für seine praktischen Versuche verwendet. Es lassen sich natürlich auch andere Merkmalsarten verwenden. Weiters ist es denkbar und möglich, den Auswahlmodus aus der Liste zu ändern und nicht die ersten n_2 Siedlungen auszuwählen.

Das Schema der Siedlungsgeneralisierung nach KADMON ist zugleich ein Modell für die Auswahl anderer Kartenobjekte. Voraussetzung ist, daß man für jedes Objekt eine Merkmalsreihe findet, die sowohl eine geographisch richtige Auswahl liefert wie auch eine Zahlenzuweisung mit vernünftigen Arbeitsaufwand ermöglicht. Insbesondere ist hier auch an linienhafte Objekte, wie das Gewässernetz oder an Kommunikationen, zu denken.

Geowiss. Mitt. 3
1974, 89 - 112

NAVIGATION UND GEODÄSIE

von

G. Gerstbach

(Vortrag gehalten am 13. März 1974
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing.Dr. Gottfried Gerstbach, Hochschulassistent am Institut für Höhere Geodäsie,
Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

ZUSAMMENFASSUNG

Navigation und Geodäsie sind in ihrer Aufgabenstellung und Methodik sowie ihrem Instrumentarium eng miteinander verwandt. Im folgenden werden die verschiedenen Navigationsverfahren und ihre geodätische Anwendbarkeit besprochen und die Beziehungen zwischen beiden Fachgebieten aufgezeigt.

EINLEITUNG

Das Thema " Navigation und Geodäsie " berührt zwei Wissensgebiete, die in ihrer Aufgabenstellung und Methodik eng miteinander verwandt sind. Unter Navigation versteht man die sichere Führung eines Schiffes zum Bestimmungsort. Dieser Begriff beinhaltet heute natürlich auch die Führung von Flugzeugen, Raumschiffen oder U-Booten. Die Navigation gliedert sich in zwei Teilaufgaben, nämlich die Standortbestimmung und die Berechnung der zum Erreichen des Zieles notwendigen Steuer-elemente, wozu Kurs, Geschwindigkeit und Höhe zählen. Beide Aufgaben sind auch in der Geodäsie von großer Bedeutung.

Zu weiteren Beziehungen zwischen Geodäsie und Navigation kommt es durch Benützung der gleichen Rechenfläche (Erdellipsoid), der selben Bezugssysteme und Kartenunterlagen. Zahlreiche Analogien finden sich bei den Meßverfahren und im Instrumentarium. Aus all dem ergeben sich natürlich Möglichkeiten der gegenseitigen Bereicherung und Hilfestellung.

Die Navigation wird in Sicht-, Koppel- und Funknavigation , astronomische, meteorologische und Satellitennavigation unterteilt. Im folgenden sollen die einzelnen Gruppen kurz behandelt, ihre wichtigsten Instrumente und die erreichbaren Genauigkeiten besprochen und die Anwendungsmöglichkeiten in der Geodäsie erwähnt werden.

SICHTNAVIGATION

In der Sichtnavigation wird die Positionsbestimmung mit Hilfe sichtbarer Merkmale der Erdoberfläche durchgeführt. Man unterscheidet den Karten-Gelände-Vergleich, der in der Luftfahrt angewandt wird und die Messung von Landmarken, die in der Schifffahrt Verwendung findet.

Die benützten Karten sind winkeltreu und beruhen teilweise auf der Zylinderprojektion von Mercator (Seekarten), hauptsächlich aber auf der Schnittkegelprojektion (Abb. 1);

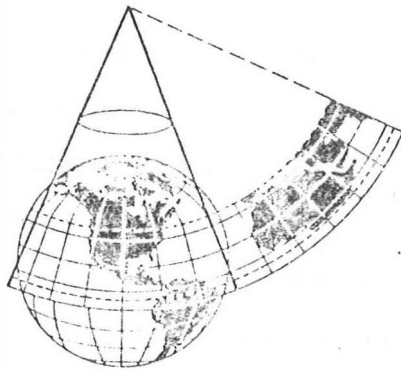


Abb. 1

die ICAO-Luftfahrtkarte von Österreich 1:500.000 besitzt die Bezugsbreitenkreise 46 und 49°. Zur Sichtnavigation aus der Luft sind Maßstäbe bis maximal 1:1,000.000 verwendbar ; von besonderer Wichtigkeit ist die Darstellung des Verkehrsnetzes, der Gewässer und des Waldes. Der dunkel-

blaue oder violette Flugsicherungs-Aufdruck enthält Flugplätze, Luftstraßen, Sperrgebiete, Funkeinrichtungen, Hindernisse u. ä. und wird periodisch erneuert. Seit einiger Zeit betreibt man auch Radar-Navigation, wobei spezielle Radarkarten dem Bild des Schirmes überlagert werden.

Die Navigation photogrammetrischer Bildflüge erfolgt hauptsächlich nach Sicht. Zur Erleichterung und Genauigkeitssteigerung werden häufig Navigationsteleskope herangezogen. Sie sind nach unten oder schräg nach vorn gerichtet, haben spezielle Strichplatten (Abb. 2) und ermöglichen seitliche Genauigkeiten bis 50 m.

Die Messung von Landmarken findet in erster Linie in der Küstenschiffahrt Verwendung und entspricht den geodätischen Schnittmethoden. Gemessen werden Richtungen, Horizontal- und Vertikalwinkel sowie Entfernungen. Zur Richtungsmessung dient

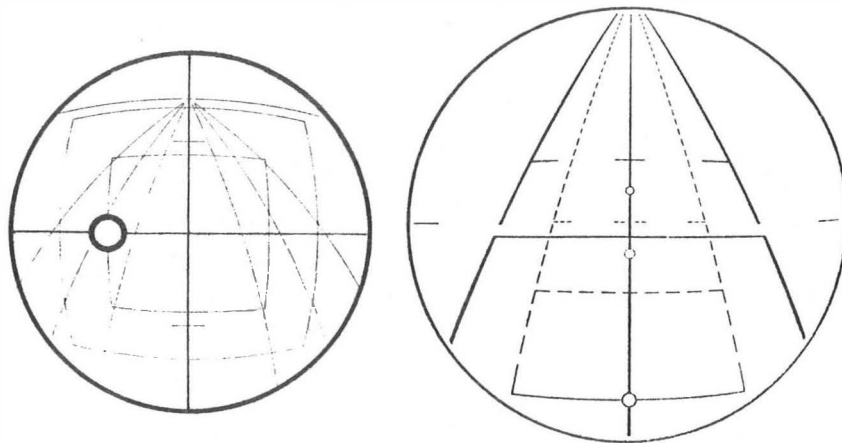


Abb. 2 : Gesichtsfeld der Navigationsteleskope von Wild und Zeiß

die Peilscheibe, eine Verbindung eines Fernrohres oder Diopters mit einem Horizontalkreis ; für Flugzeuge gibt es spezielle Konstruktionen. Der Sextant ermöglicht durch Koinzidenz eines direkten mit einem doppelt reflektierten Bild unmittelbare Winkelmessungen, wobei Höhenwinkel, etwa zu Leuchttürmen, zur Berechnung von Entfernungen benützt werden. Auch optische Entfernungsmesser sowie Radar werden in der Nautik angewandt, letzteres ist auf den meisten Schiffen ohnehin als Kollisionsschutz vorhanden.

Die Positionsbestimmung mit Landmarken erfolgt entweder durch Kreuzpeilung (Schnitt zweier Peilstandlinien) oder durch Kombination einer Peilung mit Horizontalwinkel- oder Entfernungsmessung. Bei Hafeneinfahrten findet die Deckpeilung Anwendung, bei der zwei auf dem Land aufgestellte Baken in Deckung gehalten werden. Manchmal werden fertige Ortungsnetze in Seekarten eingezeichnet ; Abb. 3 zeigt eine Kombination von Horizontalwinkel- und Peilstandlinien, wie sie zur schnellen Ortung in Küstennähe dient. Mit geeigneten Seekarten, welche Tiefenangaben oder Tiefenlinien enthalten, können übrigens auch Lotungen zur Positionsbestimmung verwendet werden. Etwa 10 in gleichen Abständen vorgenommene Lotungen werden auf einen "Lotstreifen" übertragen, der auf der Karte so lange verschoben wird, bis befriedigende Übereinstimmung erzielt ist.

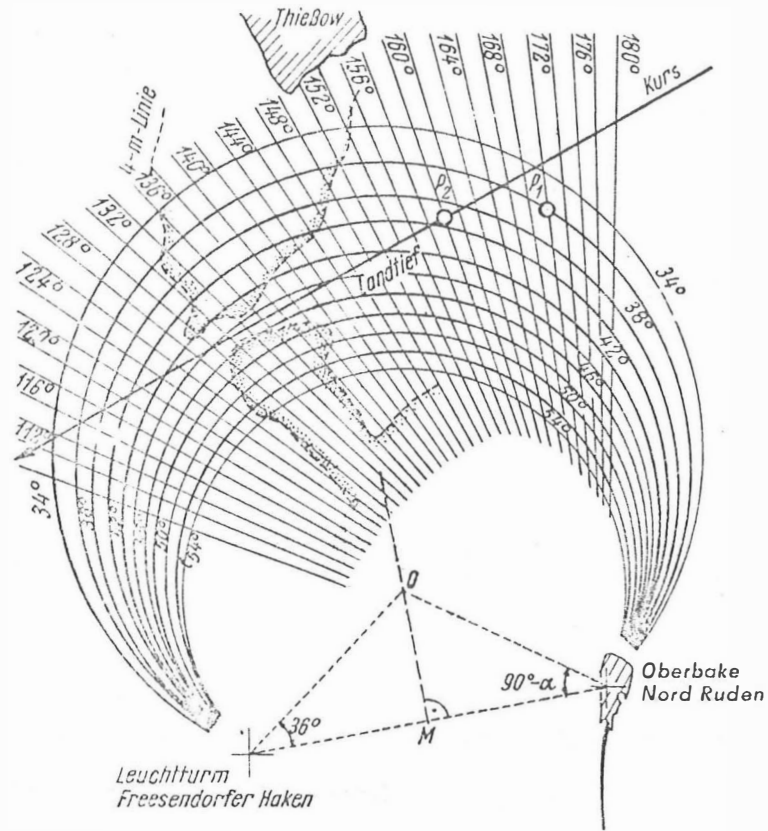


Abb. 3: Gemischtes Ortungsnetz

KOPPELNAVIGATION

Die laufende Ortsbestimmung durch Integration des Geschwindigkeitsvektors wird Koppelnavigation genannt, wobei natürlich Kurs und Geschwindigkeit entweder dauernd gemessen oder genau eingehalten werden müssen. Das Verfahren zeigt Ähnlichkeit mit dem Polygonzug der Geodäsie.

Zur Messung des Kurses dient der Flüssigkeits-Magnetkompaß (Abb. 4). Der Schwimmer mit den Stabmagneten und der Kompaßrose befindet sich in einer mit Kerosin oder Alkohol gefüllten Kammer; das System besitzt gute Dämpfungseigenschaften und geringe Reibungen und ermöglicht Genauigkeiten von $0,5 - 1^\circ$. Störfelder, die durch ferromagnetische Fahrzeugteile oder elektrische Leiter

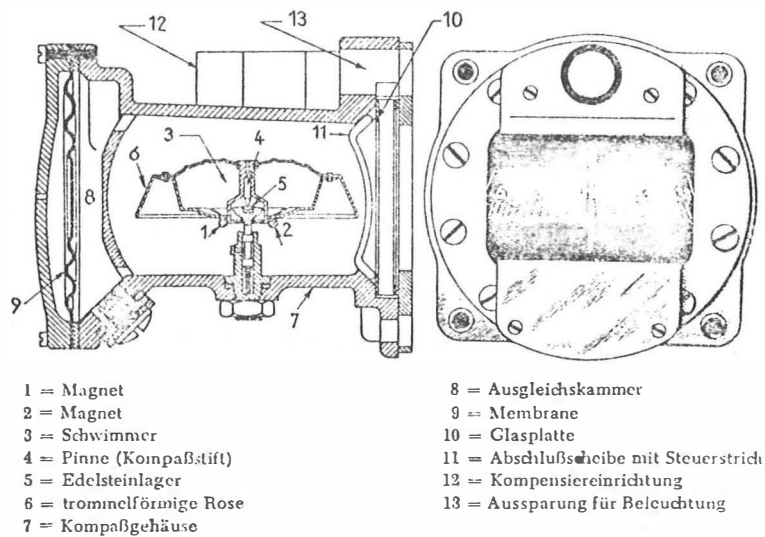


Abb. 4: Schnitt und Vorderansicht eines Magnetkompasses

hervorgerufen werden, können durch Einschieben von kleinen Kompensationsmagneten großteils ausgeschaltet werden. Bei magnetischer Kursbestimmung muß die Differenz zwischen geographischer und magnetischer Nordrichtung (Deklination oder Mißweisung) berücksichtigt werden, die aus den Flugkarten oder speziellen Isogonenkarten entnommen werden kann (in Österreich wird die erdmagnetische Landesaufnahme in bestimmten Zeitabständen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik vorgenommen).

Auf Schiffen findet der Kreiselkompaß Anwendung, der horizontal gefesselt und daher nordsuchend wirkt. Für größere Geschwindigkeiten ist er allerdings ungeeignet, weil dann die durch Präzession verursachten systematischen Abweichungen unerträglich groß werden. Sie bewegen sich schon auf Schiffen im Gradbereich.

Beim Magnetkompaß kommt es in Kurven und bei Beschleunigungen zu größeren Fehlanzeigen, weshalb er meist durch einen freien Kurskreisel ergänzt wird. Durch rasche Rotation besitzt dessen

Achse eine sehr hohe Stabilität und die in Kurven auftretende Relativbewegung zum Gehäuse wird auf eine Skala übertragen. Wegen mechanischer Unwucht und anderen Fehlern sowie wegen der Erdrotation wandert der Kurskreisel langsam aus, weshalb er meist "magnetgestützt" wird. Abweichungen der Kreiselachse von der magnetischen Nordrichtung werden durch eine hochempfindliche Magnetfeldsonde festgestellt und durch Drehströme beseitigt. Je nach Bauart erreicht ein solcher Kurskreisel Genauigkeiten von $0,2 - 2^\circ$.

Für die Koppelnavigation ist auch Geschwindigkeitsmessung notwendig. Im Wasser erfolgt sie durch "Loggen", welche die Drehung von Schiffschrauben bzw. Propeller benutzen oder auf dem Staudruckprinzip beruhen, manchmal auch auf der Messung elektromagnetischer Felder (Elektrolog). In Flugzeugen werden an der Rumpfnase angebrachte "Fahrtmesser" verwendet ; im Venturirohr (Abb. 5) wird der hinter der

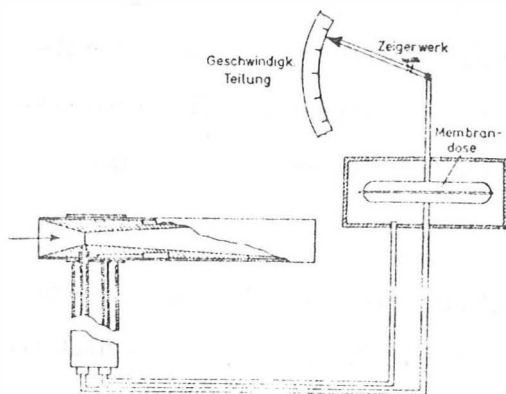


Abb. 5: Venturirohr

Düse auftretende Unterdruck gemessen, beim Staudruckmesser läßt der Überdruck auf die Eigengeschwindigkeit schließen. Die Anzeige dieser beiden Geräte muß noch wegen der mit der Höhe abnehmenden Luftdichte korrigiert werden. Bei Bodensicht und bekannter Flughöhe ist mit Stoppuhren auch eine direkte Messung der Geschwindigkeit über Grund möglich.

Ein gewisses Problem für die Koppelnavigation bringt die durch Wind verursachte Abdrift. In der Nautik kann sie aus dem Einfallswinkel des Windes und den Kenndaten des Schiffes berechnet, mit beschränkter Genauigkeit aber auch aus der Richtung des Kielwassers direkt ermittelt werden (die Versetzung durch Meeresströmungen wird aus Erfahrungs -

werten in Rechnung gestellt). In der Luftfahrt läßt sich kein Windeinfallswinkel feststellen, weil das Flugzeug die Windgeschwindigkeit mitbekommt ; Abdrift und Geschwindigkeit über Grund müssen daher auf Grund der Messungen von Wetterstationen aus dem Winddreieck berechnet werden. Bei Bodensicht finden Driftmeter Verwendung, senkrecht nach unten gerichtete Teleskope, deren Fadenkreuz so lange gedreht wird, bis das Gelände entlang der Linien wandert. Ohne Stabilisierung läßt sich auf diese Art die Abdrift auf 2° bestimmen.

Vor Vermessungsflügen wird die Windrichtung und -stärke häufig mit Hilfe zweier Testflüge in Arbeitshöhe bestimmt (Abb. 6). Von den

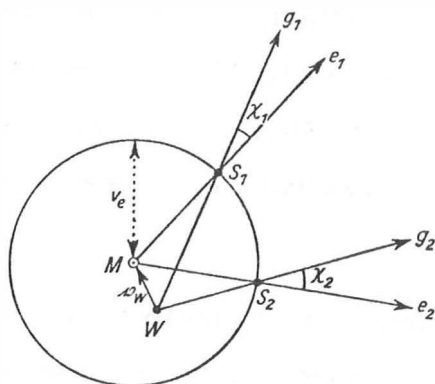


Abb. 6

Schnittpunkten der gesteuerten Eigenkurse e_1 , e_2 mit dem der Eigengeschwindigkeit v_e entsprechenden Kreis werden die gemessenen Über-Grund-Kurse g_1 , g_2 nach hinten aufgetragen und ergeben den Windvektor.

Die Genauigkeit der klassischen Koppelnavigation wird hauptsächlich durch die Abdrift begrenzt und beträgt 2 - 5 ‰, in Ausnahmefällen auch nur

10 ‰ der zurückgelegten Strecke. Sie ist jedoch das grundlegende Navigationsverfahren, welches jederzeit an Bord autonom durchgeführt werden kann.

Eine wesentliche Verbesserung der Koppelnavigation von Flugzeugen ermöglicht das Dopplerradar. Wird eine Mikrowelle schräg nach vorn abgestrahlt und das von der Erdoberfläche zurückgeworfene Echo

empfangen, läßt die auftretende Frequenzverschiebung auf die Geschwindigkeit über Grund schließen. Wenn zwei Radarkeulen abgestrahlt werden, weisen sie je nach ihrer Richtung unterschiedliche Dopplerverschiebungen auf (Abb. 7), die Linien gleicher Frequenzänderung sind Hyperbeln. Die Antennen werden nun so lange ver-

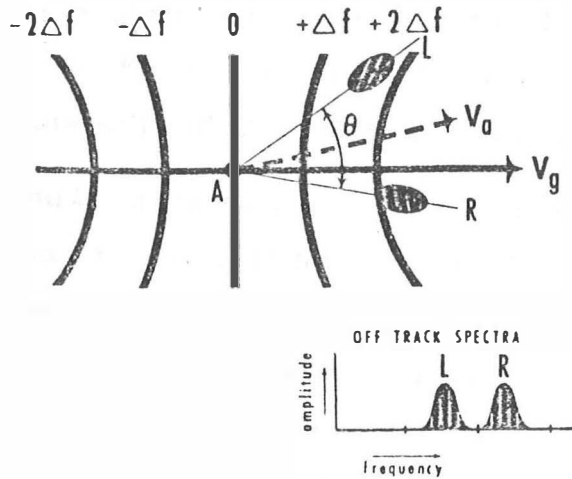


Abb. 7

schwenkt, bis sie symmetrisch zum Kurs über Grund liegen und ihre Echofrequenzen daher gleich werden. Der Winkel, den die Symmetrale mit der Flugzeuglängsachse einschließt, entspricht dann der Abdrift. Die Messung ist von der Sicht unabhängig und erreicht Genauigkeiten von

0,1° bzw. 0,1 % der Geschwindigkeit.

Wie die Auswertung von Meßflügen erkennen läßt, treten auch unter guten Wetterverhältnissen in der Abdrift und Geschwindigkeit unregelmäßige Schwankungen von etwa 2° und 5 - 10 km/h auf, was auf wechselnde Windrichtung und -geschwindigkeit zurückzuführen ist. Bei Bildflügen kann daher das Dopplerradar von wesentlichem Vorteil sein, weil es bessere Streifenflüge und vor allem genauere Querüberdeckung nach den Wendekurven ermöglicht.

Für die Koppelnavigation wurden bereits eine Reihe von Flugweganzeigern entwickelt, z. B. die automatische Koppelkarte des Institutes für Flugnavigation (Prof. Ramsayer) in Stuttgart. Sie besteht aus einem Kartengerät für Rollkarten verschiedenen Maßstabes und einem mechanischen oder elektronischen Rechner; die Anzeige des Standortes erfolgt durch einen Leuchtpunkt. Die Meßdaten eines Dopplerradars lassen sich natürlich aufschalten.

Die Trägheits- oder Inertialnavigation bringt eine weitere bedeutende Verbesserung der Koppelnavigation mit sich. Auf einer horizontalen und nach Norden orientierten Plattform (Abb.8), die durch Kreisel

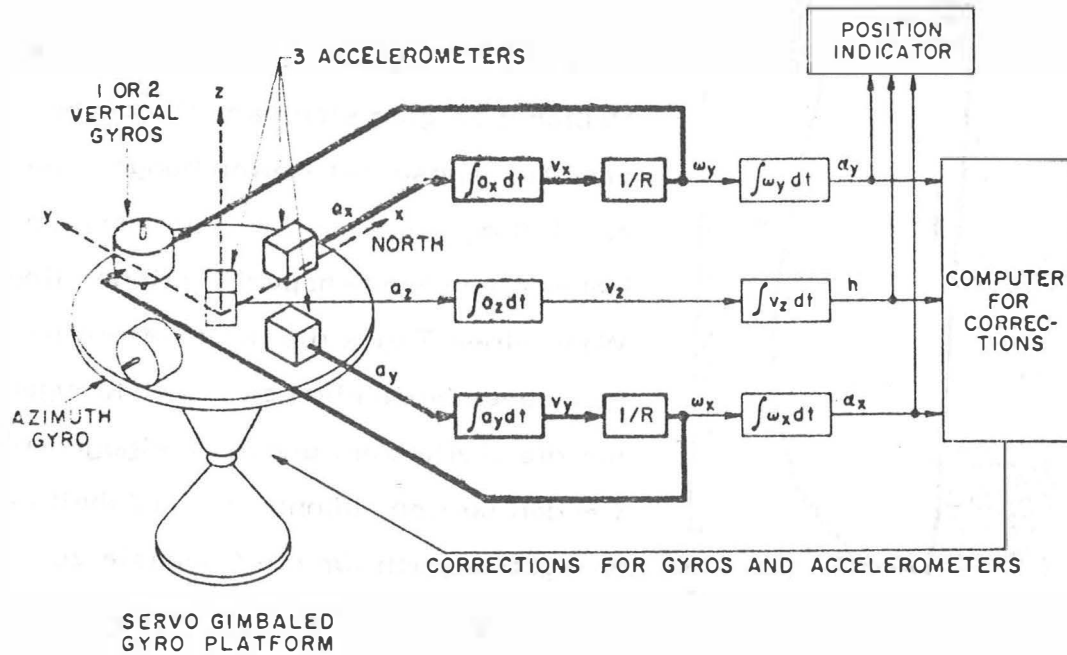


Abb. 8: Inertial - Plattform

stabilisiert ist, befinden sich zwei oder drei Beschleunigungsmesser. Ihre Anzeigen werden zweimal integriert und liefern den zurückgelegten Weg in den jeweiligen Richtungen. Die Kreiselstabilisierung allein würde die Plattform allerdings in raumfester Lage halten und infolge der Erdrotation würde schon nach kurzer Zeit eine Neigung zur örtlichen Horizontalen auftreten und ein Teil der Schwerkraft auf die Beschleunigungsmesser wirken. Es muß daher für eine entsprechende Kompensation und eine weitere Korrektur wegen der Fahrzeugbewegung gesorgt werden.

Die Trägheitsnavigation bietet die Möglichkeit, bordeigene hochpräzise Ortungen durchzuführen, es sei nur an die Fahrt des Atom-U-Bootes Nautilus unter das Eis der Arktis erinnert. Ihre Genauigkeit ist unabhängig von der Geschwindigkeit und beträgt bei kommerziellen Geräten heute schon 1,5 - 2 km je Stunde. Abb.9 zeigt die Registrierung einer Meßfahrt, die 1972 von der Deutschen Forschungs- und Versuchs-

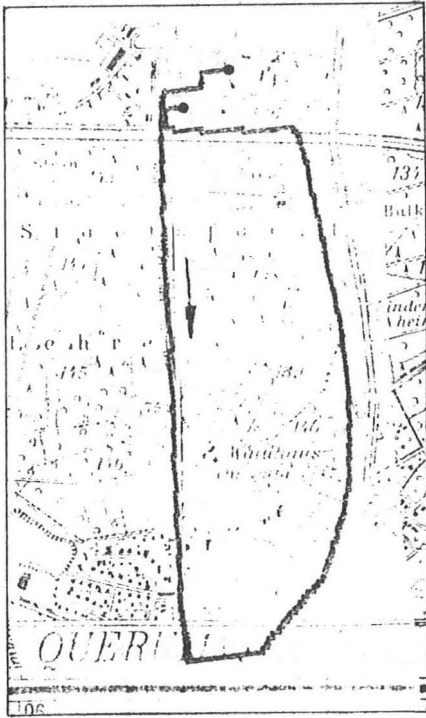


Abb. 9

anstalt für Luft- und Raumfahrt durchgeführt wurde. Eine handelsübliche Trägheitsplattform war in einem Unimog installiert, und nach einer 5 km langen Meßfahrt zeigten sich nach Rückkehr zum Ausgangspunkt Abweichungen von ca. 150 m, die aber durchaus noch im Rahmen der Systemspezifikationen liegen. Wenn eines Tages die noch wesentlich genaueren militärischen Entwicklungen für die zivile Verwendung freigegeben werden sollten, könnte die Trägheitsnavigation auch für die Geodäsie zu Lande interessant werden. Für die Aerotriangulation liefert sie schon jetzt als nützliches Nebenprodukt die Nadirrichtung auf 20-30" genau.

FUNKNAVIGATION

In der Positionsbestimmung mit Hilfe ortsfester Funkstationen werden Richtungen, Entfernungen und Entfernungsdifferenzen gemessen. Dem entsprechend teilt man die Funknavigation in Richtungspeil- und Richtungsendeverfahren, Entfernungs- und Hyperbelverfahren ein.

Die Peilung wird mit dem Peilrahmen durchgeführt, der im Feld eines Senders eine richtungsabhängige Rahmenspannung aufweist (Abb. 10). Das Minimum des Empfanges läßt sich schon mit einfachen Geräten auf 2-3 ° genau bestimmen; beim Radiokompaß beseitigt eine Hilfantenne die Zweideutigkeit der Peilung, beim Gonimeter sorgt eine automatische Regelung für höchste Genauigkeit bis zu 0,5°. Auf äußere Fehler -

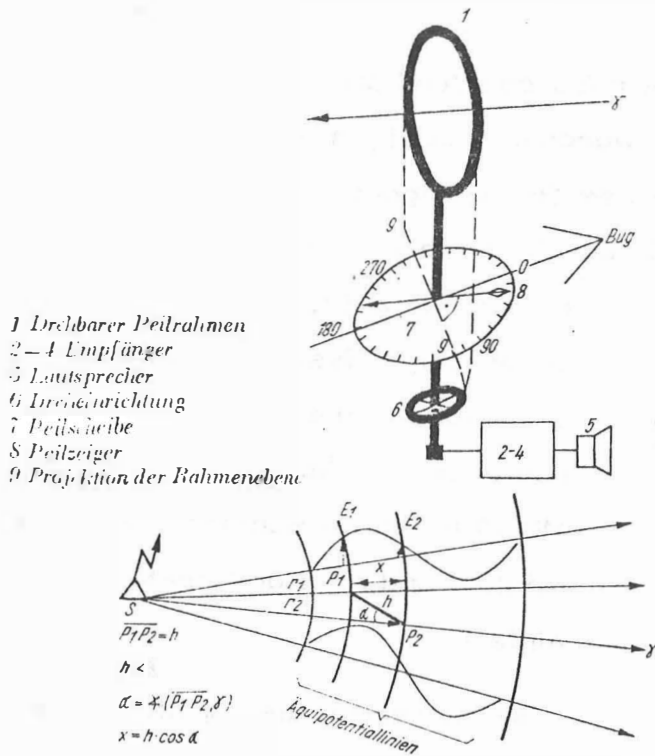


Abb. 10: Peilrahmen

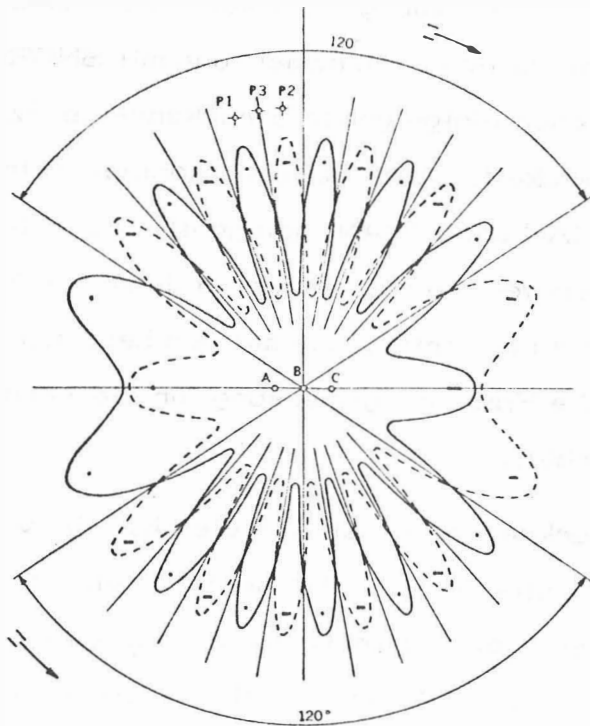


Abb. 11: CONSOL-Funkfeuer

quellen wie Funkdeviation, Wegablenkung und ähnliches soll hier nicht näher eingegangen werden.

Wird von den Funkstationen ein richtungsabhängiges Feld abgestrahlt, spricht man von Richtungssendeverfahren. Beim CONSOL, einer deutschen Entwicklung des Zweiten Weltkrieges, erzeugen drei Antennen (Abb. 11) durch Interferenzen einen Leitstrahlfächer, in dessen Sektoren abwechselnd Punkte und Striche zu hören sind. Die Leitstrahlen werden langsam gedreht und durch Auszählen der Punkte und Striche von einem Bezugssignal zum nächsten kann die Lage des Beobachters im Fächer auf etwa $0,5^\circ$ bestimmt werden. Das Verfahren wird hauptsächlich im Atlantik angewendet und hat eine Reichweite von 2000 km. Die Auswertung erfolgt auf Spezialkarten.

An den kontinentalen Luftstraßen Europas und der USA sind UKW-Drehfunkfeuer VOR installiert. Durch bordseitigen Vergleich einer richtungsabhängigen Phase mit einem Bezugssignal erhält man direkt das Azimut zum Sender (Abb. 12). Die Reichweite beträgt 250 km,

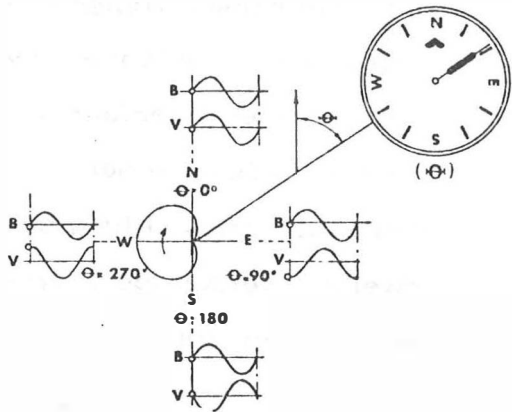


Abb. 12: Prinzip des VOR

die Fehler $2-5^\circ$, doch gibt es verbesserte Systeme mit größerer Genauigkeit, die auch den Einfluß von Geländereflexionen vermindern. Mit VOR ist ein müheloser Zielflug möglich und die Bordgeräte sind einfach.

Meist werden die Drehfunkfeuer mit DME-Entfernungsmessung kombiniert, welche durch Bestimmung der Laufzeit von Dezimeter-

wellen 15 m Genauigkeit erreicht. Durch Distanzmessung mit SHORAN- und HIRAN-Meßflügen wurden schon einige große Streckennetze (z. B. Kanada, karibischer Raum) entwickelt. Auch bei der "kontrollierten Photogrammetrie" werden SHORAN und HIRAN gelegentlich als Navigationshilfe und zur Trilateration verwendet, doch sind diese Verfahren ziemlich aufwendig. Es ist aber zu erwarten, daß mit den heutigen hochpräzisen Intervallzählern die Entfernungsmessung für die Aerotriangulierung einige Bedeutung erhält.

Einen wichtigen Zweig der Funknavigation stellen die Hyperbelverfahren dar. Beim LORAN (long range navigation) werden die Laufzeitdifferenzen von Impulsen eines Senderpaares (Abb. 13) am Oszillografen ausgemessen und liefern hyperbolische Standlinien. Die Hyperbelscharen verschiedener Sender sind auf eigenen Karten eingezeichnet und ermöglichen eine grafische Auswertung. Die Reichweite der Raumwellen beträgt

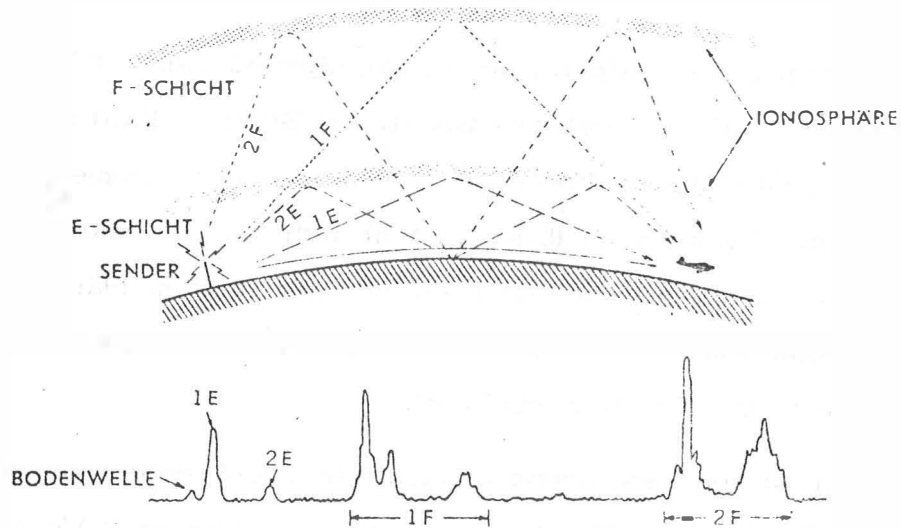


Abb. 13: LORAN - Impulse

2-5000 km und die Standortbestimmung besitzt 10-20 km Genauigkeit. Werden nur Bodenwellen zur Messung herangezogen, sind sogar ± 200 m erreichbar.

Beim DECCA sind vier Langwellensender sternförmig angeordnet, je zwei von ihnen erzeugen Hyperbelzonen gleicher Phasendifferenz (Abb. 14). Die Fahrzeugposition innerhalb der Zone wird am Decometer

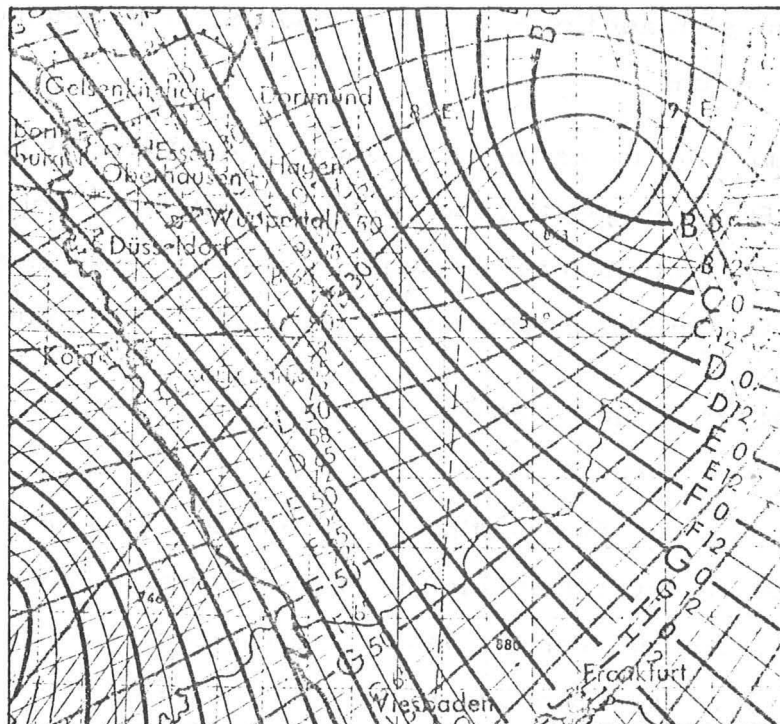


Abb. 14: DECCA - Karte

angezeigt, die Wahl der richtigen Zone kann aufgrund eines Näherungs-ortes erfolgen oder dadurch, daß das Gerät vom Start an läuft und die Streifen mitzählt. Die Auswertung wird auf Karten vorgenommen, nützt allerdings die Genauigkeit (bis zu 20 m) nicht aus; in 500 km Entfernung sind die Fehler immer noch kleiner als 1000 m. Häufig werden auch automatische Kursschreiber eingesetzt, bei denen ein Zeichenstift laufend die Position markiert.

Das Verfahren ist zur Festlegung von Luftstandpunkten gut geeignet, sofern eine DECCA-Kette in Reichweite liegt. Ein genaueres Verfahren derselben Firma, das HI-FIX, ist für die Küsten- und Kontinental-schelfvermessung vorzüglich geeignet. 1965 wurden für das Projekt eines Vorhafens 600 km² des Wattenmeeres vor Hamburg mit HI-FIX vermessen. Auf Helgoland wurde die Hauptstation aufgebaut, die beiden Nebenstationen befanden sich 60 und 70 km entfernt an der Festland - küste. Die Positionen des Vermessungsschiffes konnten auf durchschnittlich 3 m bestimmt werden, was für Wiederholungsmessungen der Meerestiefe und zum Auffinden ausgelegter Geräte wichtig war. Be - schränkt man sich auf Entfernungen bis 50 km, sind Genauigkeiten von 0,5 - 1 m möglich.

DECCA und HI-FIX werden u. a. auch für die Vermessung von See - kabeln und Bojen eingesetzt. Durch die automatische Registrierung von Positionen und Lotungen auf Lochstreifen ist die Vermessung von Profilen, z. B. für Wasserstraßen, rasch und rationell durchführbar.

ASTRONOMISCHE NAVIGATION

Die astronomische Ortsbestimmung ist vor allem auf mittleren und langen Strecken wichtig und eine wertvolle Stütze anderer Navigations-verfahren, besonders der Koppelnavigation. Die astronomische Kurs-bestimmung hat große Bedeutung für die Richtungskontrolle in Polar -

gebieten, wo der Magnetkompaß größtenteils versagt. Naturgemäß treten in beiden Aufgaben deutliche Analogien zur geodätischen Astronomie auf.

Zur Ortsbestimmung werden hauptsächlich Höhenwinkel heller Sterne und der Sonne gemessen. Kennt man die Zeit der Beobachtung und den genäherten Standpunkt P' , kann man die Höhe des Sternes (h') errechnen. Der Vergleich mit der Beobachtung liefert eine astronomische Standlinie (Abb. 15), die bei positiver Höhendifferenz $h-h'$ in Richtung zum

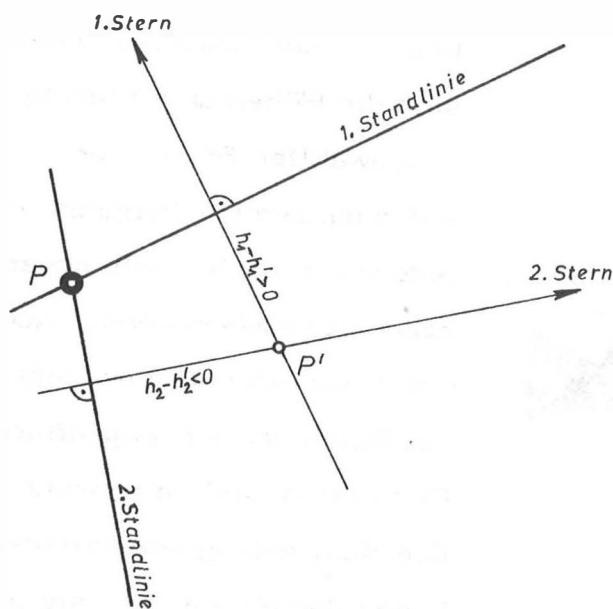


Abb. 15: Höhen - Standlinien

Stern, bei negativer Differenz auf der anderen Seite des Näherungsortes liegt. Wird ein zweiter Stern beobachtet, ergibt sich der genaue Ort P im Schnitt beider Standlinien, die Beobachtung eines dritten Sternes ermöglicht eine Kontrolle und Genauigkeitsaussage.

In der Nautik werden die Höhenwinkel mit Handsextanten relativ zur Kimmlinie gemessen, die von der Augenhöhe abhängige

Kimmtiefe muß vom Ergebnis abgezogen werden. In der Luftfahrt finden Sextanten mit Libellen- oder Pendelhorizont Verwendung. Abb. 16 zeigt einen in das Kanzeldach eingebauten Periskopsextanten, in dessen Inneren ein Pendelkompensator die horizontale Bezugsrichtung herstellt. Wegen der im Flug auftretenden Störbeschleunigungen müssen die Messungen über 1-2 Minuten erstreckt werden und sind nach automatischer Mitteilung etwa $1'$ genau. Mit Kreiselplattformen lassen sich bis zu $0,2'$ erzielen; seit einigen Jahren werden auch automatische Sternpeiler verwendet, die teilweise sogar bei Tag einsetzbar sind und für größere Bildflugprojekte schon von Nutzen waren.

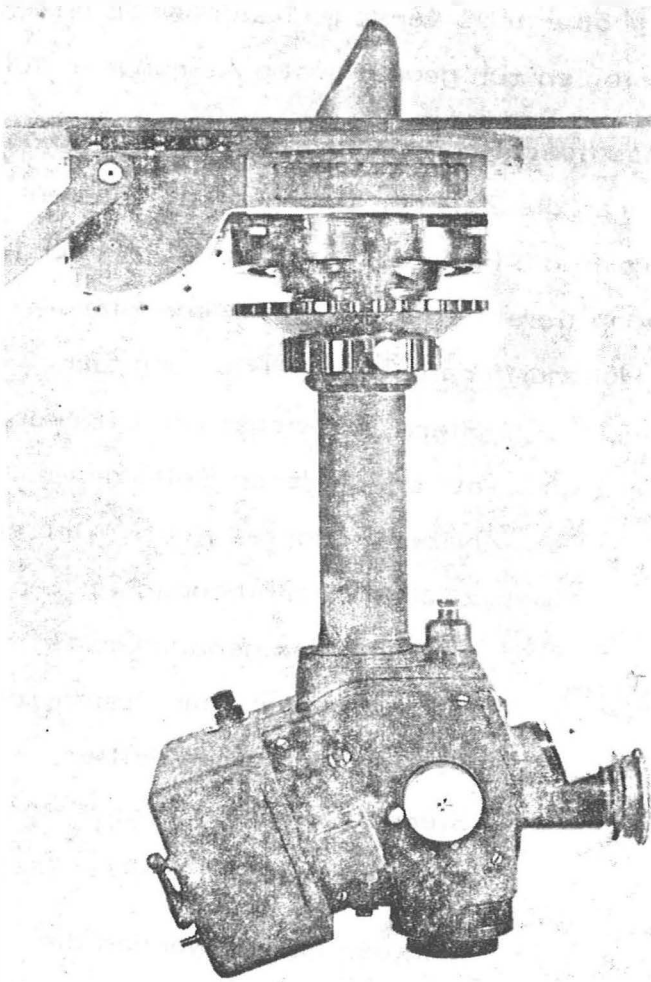


Abb. 16: Periskopsextant

Die Auswertung der Beobachtungen erfolgt mit speziellen Tafelwerken, in Verbindung mit einem Jahrbuch (Nautical Almanac), das die Koordinaten von Sonne, Mond, Planeten und 57 Navigationssternen enthält. In den Sight Reduction Tables sind die Höhen und Azimute ausgewählter Sterne für jeden ganzen Breitengrad und jede vierte Zeitminute sogar schon vorausberechnet. Auch astronomische Rechengерäte auf Basis der stereografischen Projektion sind im Einsatz. Die Auswertung von Mittagshöhen der Sonne, wie sie in der Nautik zur Breitenbe-

stimmung beobachtet werden, beschränkt sich auf Addition und Subtraktion von Winkeln.

Die astronomische Kurskontrolle von Flugzeugen kann ebenfalls mit dem Periskopsextanten erfolgen, in den der Steuerkurs eingeblendet wird. Mit Hilfe des Polarisationstaximeters kann das Azimut der verdeckten oder untergegangenen Sonne festgestellt werden, weil ihr Streulicht in 90° Abstand eben polarisiert ist. Als mechanisches Analoggerät zur Koordinatenumwandlung dient der Astrokompaß der Kursüberwachung und mit dem Radiosextanten können Sonne und Mond auch bei Bewölkung gemessen werden. In der Aerotriangulierung wird fallweise Finsterwalders fotografische Sonnenkammer eingesetzt.

NAVIGATION MIT SATELLITEN

Auch künstliche Satelliten können als Funkstationen benützt und durch Messung von Entfernungen und Entfernungsdifferenzen zur Navigation herangezogen werden. Wichtigster Vorteil ist die gleichzeitige Überdeckung weiter Gebiete der Erde, doch müssen die Satellitenpositionen aus den Bahnelementen mit genügender Genauigkeit errechnet werden. Im kugelsymmetrischen Gravitationsfeld genügen dafür sechs Zahlenangaben (sh. Abb. 17): Durchmesser und Exzentrizität der Ellipsenbahn, Neigung i der Bahnebene, Orientierung Ω der Bahnebene, Perigäumslage ω und Zeitpunkt eines Perigäumdurchgangs. Im Schwerfeld der abgeplatteten Erde müssen noch Störkräfte berücksichtigt werden, was aber für Computer kein Problem aufwirft.

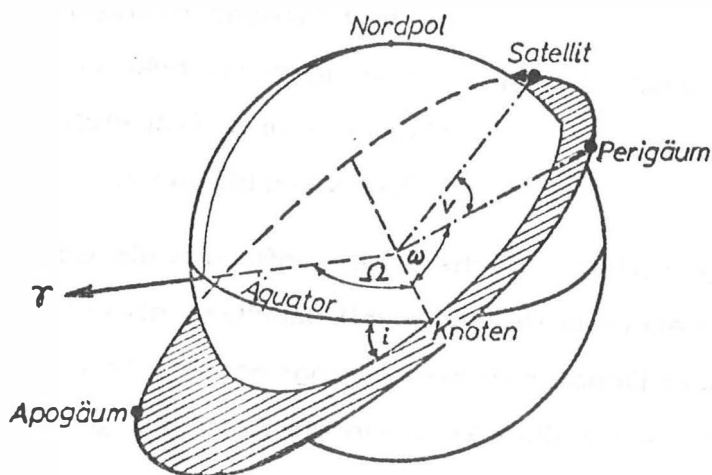


Abb. 17: Lage einer Satellitenbahn

Das wichtigste Beobachtungsverfahren der Satellitennavigation beruht auf dem Dopplereffekt. Sendet ein Satellit eine genügend konstante Radiofrequenz aus, kann durch Analyse der Frequenz-Zeit-Kurve die minimale Distanz eines Satellitendurchgangs und der dazugehörige Zeitpunkt bestimmt werden. Für diesen Moment wird die Satellitenposition gerechnet und senkrecht auf die Bahn die Minimaldistanz aufgetragen, womit der Standpunkt des Beobachters bereits festliegt.

Im TRANSIT-Verfahren der US-Navy wird dieses Prinzip seit langer Zeit angewandt (Abb. 18). Alle zwölf Stunden werden neue

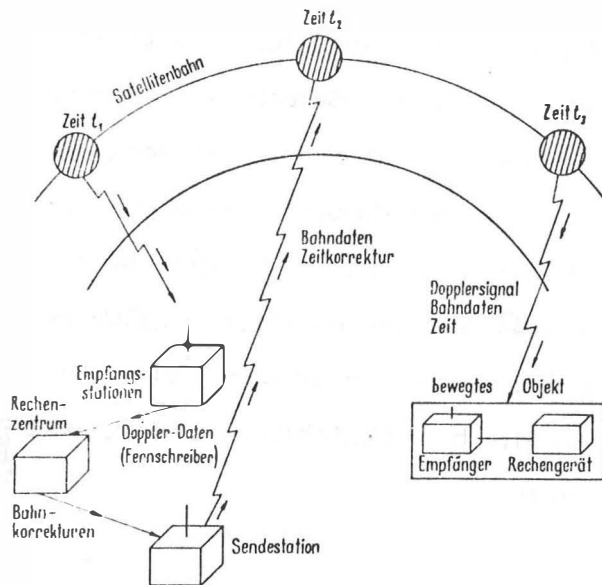


Abb. 18: Signalfluß im Transit-System

Bahnelemente in die Navigationssatelliten eingespeichert, alle zwei Minuten erfolgt die Berechnung zusätzlicher Korrekturen. Die Auswertung der Beobachtungen besorgen Rechner an Bord der Schiffe und Genauigkeiten von 100 - 200 m sind erreichbar. TRANSIT ist auch für Flugzeuge geeignet, doch muß deren Eigengeschwindigkeit näherungsweise bekannt sein. Das Verfahren läßt sich mit LORAN kombinieren.

Aus diesen Entwicklungen wird in nächster Zukunft auch die Geodäsie Nutzen ziehen. Vielversprechende Versuche mit dem "Geoceiver" sind im Gange ; diese transportable Doppler-Station bringt heute schon Ortungsgenauigkeiten von 1 - 5 m über kontinentale Entfernungen.

Durch direkte Entfernungsmessung zu drei bekannten Satellitenpositionen z. B. mit SECOR, kann der Ort eines Fahrzeuges durch Schnitt dreier Kugeln bestimmt werden. Eine der Kugeln läßt sich auch durch die Erdoberfläche bzw. die Flugfläche des Flugzeuges ersetzen. In der Navigation wird die Methode zur Zeit noch nicht angewandt, ist aber im Projektstadium.

In Erprobung befindet sich hingegen das Hyperbelverfahren NAVSTAR: die beteiligten Flugzeuge senden periodisch Identifikationssignale aus, die von drei niedrig fliegenden Satelliten zu einer Bodenstation weiter-

geleitet werden, welche die Laufzeitdifferenzen auswertet. Die Genauigkeit beträgt 15 m in Position und 25 m in Höhe, bis 500.000 Flugzeuge können gleichzeitig betreut werden. NAVSTAR ist somit auch für die Flugsicherung geeignet und ermöglicht außerdem Sprechfunkverbindungen; spätere geodätische Anwendung erscheint möglich. Größere Bereiche ließen sich mit Synchronsatelliten überdecken, wobei die Genauigkeit bei 4 km liegen dürfte, was aber auch für dichtbeflogene Strecken noch genügt.

Die Navigation mit Satelliten zeigt naturgemäß enge Verbindungen zur Satellitengeodäsie. Teils werden dieselben Bodenstationen und Satelliten verwendet und die Transit-Stationen tragen wesentlich zur Erforschung des irdischen Schwerefeldes bei. Auch läßt sich das SECOR-System in die Navigation einbeziehen. Direkte geodätische Verwendung findet die Satellitennavigation schon jetzt in der Meeresgeodäsie, seit 1968 werden z. B. für Feststellung von Strömungen treibende Bojen eingemessen.

METEOROLOGISCHE NAVIGATION

Die Wahl der günstigsten Route ist vor allem für Unterschallflugzeuge von Bedeutung. Um die Windverhältnisse möglichst gut auszunützen, kann zur Vorhersage das Barische Windgesetz herangezogen werden, welches für Hoch- und Tiefdruckgebiete die Strömungsrichtungen des Gradientenwindes angibt. Abb. 19 zeigt, daß die kürzeste Flugzeit zwischen New York und London keineswegs auf dem direkten Kurs zu erwarten ist, sondern von der Verteilung der Druckgebilde abhängt. Werden nur die mittleren Windverhältnisse in Rechnung gestellt, genügt es, den Luftdruck am Start- und Zielpunkt zu kennen; während des Fluges muß dann nur ein mittlerer Vorhaltewinkel eingehalten werden (single heading flight).

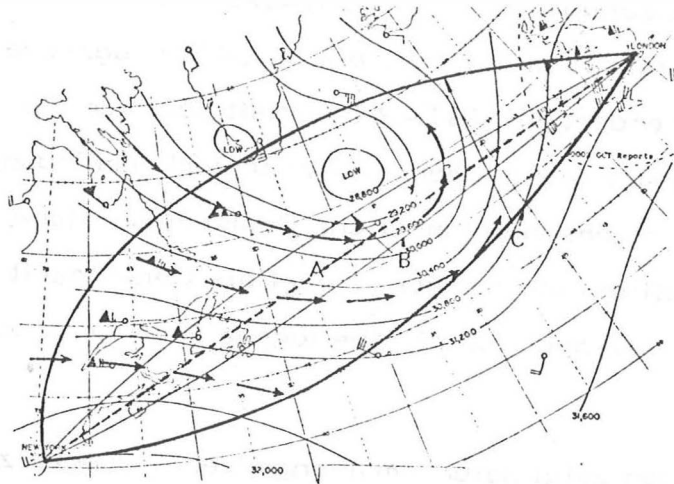


Abb. 19: Karte der 300 mb-Fläche mit Kursen kürzester Flugzeit und Strahlströmen

Eine weitere interessante Ausnützung meteorologischer Gegebenheiten bietet die Strahlstromnavigation. Die in großer Höhe auftretenden Starkwindbänder von 200 - 500 km/h, in Abb. 19 durch Pfeile gekennzeichnet, besitzen einen sehr ausgeprägten Temperaturentwurf und können allein mit Hilfe des Außenbordthermometers ausgefliegen werden.

Wichtig für eine gute meteorologische Navigation ist ein Funk- und ein barometrischer Höhenmesser, letzterer ist in jedem Flugzeug ohnehin

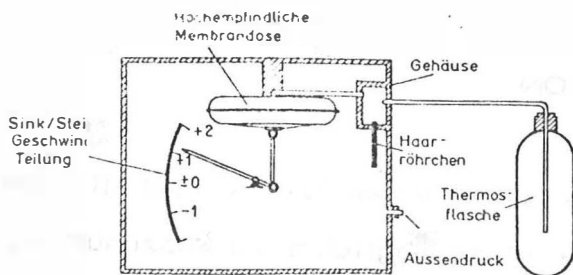


Abb. 20: Dosenvariometer

vorhanden. (In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß die barometrische Höhenmessung nach Ansicht des Verfassers in der Geodäsie nicht den Platz einnimmt, den sie verdient; mit zwei guten Aneroiden, von denen eines als Stationsbarometer eingesetzt

wird, lassen sich Genauigkeiten von $\pm 0,5$ m erreichen). Die Messung von Flughöhenänderungen erfolgt durch Variometer, das in Abb. 20 gezeigte Dosenvariometer beruht auf der Kapillarwirkung. Wird das Haar-röhrchen verschlossen, kann das Gerät als Stoskop z. B. für Bildflüge benützt werden.

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN NAVIGATION UND GEODÄSIE

Navigation und Geodäsie weisen eine verwandte Aufgabenstellung und zahlreiche Berührungspunkte in allen vorhin behandelten Navigationsmethoden auf. Zum Beispiel arbeiten beide Gebiete mit Richtungs- und Entfernungsmessung und der geodätischen Übertragung; sie besitzen gemeinsame Rechenflächen und Bezugssysteme. Aus der Verwandtschaft resultieren natürlich Möglichkeiten der gegenseitigen Hilfestellung, von denen zahlreiche schon angeklungen sind.

Die Geodäsie unterstützt die Navigation bei der Bestimmung der Erdgestalt, für Zwecke der Satellitennavigation bei der Bestimmung des Erdschwerefeldes, der Bodenstationen und Satellitenbahnen. Ihre Aufgabe ist weiters die Vermessung und Orientierung von Funkeinrichtungen und Eichstrecken sowie die Beobachtung von Meßflügen. Die Geodäsie stellt der Navigation geeignete Kartenprojektionen und die Unterlagen für Navigationskarten aller Art zur Verfügung, leistet aber auch ihren Beitrag zur Bestimmung des Erdmagnetfeldes, vor allem der Deklination.

Die Navigation unterstützt die Geodäsie vor allem durch wesentliche Impulse zur Weiterentwicklung der Gerätetechnik, es sei hier nur an elektronische Entfernungsmesser und Kreiseltheodolite erinnert. Eine Fülle von Möglichkeiten, Navigationsverfahren anzuwenden, ergibt sich bei photogrammetrischen Bildflügen durch Einsatz stabilisierter Plattformen, automatischer Sternpeiler, Dopplerradar, Inertialnavigation, Funkhöhenmesser (auch der Air Profile Recorder sei hier erwähnt), Entfernungsmessung und vor allem DECCA. Integrierte Navigationssysteme, die mehrere dieser Komponenten enthalten, sind zum Teil schon vorhanden.

In die Trägheitsnavigation können große Zukunftserwartungen gesetzt werden, sie wird aber schon jetzt in der Meeresgeodäsie angewendet.

Auf dem letztgenannten Gebiet bringen Navigationsmethoden überhaupt viele Möglichkeiten, von denen nur die Hyperbelortung (HI - FIX), Satellitennavigation und präzise Echolotungen bzw. das LIDAR genannt sein sollen.

Diese Aufzählung erhebt natürlich nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden in Zukunft außerdem neue Aspekte und gemeinsame Aufgaben hinzutreten, die die Beziehungen zwischen Navigation und Geodäsie zum gegenseitigen Nutzen noch tiefer gestalten werden.

Geowiss. Mitt. 3
1974, 113 - 121

GEOMORPHOLOGIE UND KARTENBILD
(gezeigt am Beispiel des Toten Gebirges)

von

A. Lechner

(Vortrag gehalten am 25. April 1974
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dr.phil. Anton Lechner, Hochschulassistent am Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik, Technische Hochschule in Wien 1040, Karlsgasse 13.

ZUSAMMENFASSUNG

Der höher als das übrige Gebirge gelegene Ostteil des Toten Gebirges, die sogenannte Prielgruppe, wurde vom Vortragenden im Rahmen seiner Dissertation an der philosophischen Fakultät der Universität Wien geomorphologisch erkundet und bearbeitet. In letzter Zeit hatte der Vortragende die Möglichkeit eine Diplomarbeit am Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik, verfaßt von Reinhard HÖBLING, welcher ein Thema der Felsdarstellung anhand von Orthophotos mit einem praktischen Beispiel aus der Karsthochfläche des Toten Gebirges behandelte, zu betreuen. Ferner erschien 1971 das Kartenblatt "Totes Gebirge - Mitte", herausgegeben vom Österreichischen Alpenverein und die Herausgabe des neuen Blattes Nr. 97 der Österreichischen Karte 1:50 000 wird noch in diesem Jahre erfolgen; aus diesen Gründen erschien es zweckmäßig, die Geomorphologie dieses Gebietes und ihre kartographische Darstellung zu erörtern.

Nach der Genese werden vier Bereiche der Geomorphologie besonders erläutert:

1. Großformung
2. Eiszeit Spuren
3. Formengebung im Schutt
4. Karstformen

ad 1: Es wird betont, daß das Tote Gebirge in der Prielgruppe in besonders eindrucksvoller Weise durch eine auch im übrigen Bereich der Salzburger Kalkalpen charakteristische Abfolge verschieden alter Niveauflächen gegliedert ist. Diese insgesamt 14 im Toten Gebirge festgestellten Flächensysteme wurden entsprechend ihrer Entstehung im Zuge der phasenweise ausgreifenden Emporwölbung der Erdkruste, die schließlich in eine blockförmige Hebung überging, und im Gefolge der Klimaänderung im selben Zeitraum von einem wechselfeuchten tropischen Klima am Beginn der Entwicklung bis zu einem gemäßigten sommerfeuchten Klima am Beginn der Eiszeit, verschieden geformt. So entstanden 4 Gruppen (A bis D) von Fluren, in welche

sich die 14 Flächensysteme gliedern lassen.

- A. Die Gipfelflur der Kuppenlandschaft steigt konzentrisch gegen ein Wölbungszentrum an. Im Zuge einer Wölbung mit wachsender Phase wurde das Wölbungszentrum in Zeiten relativ geringen Emporsteigens durch die Vorgänge der damals herrschenden Flächenspülung in eine Reihe mehr oder minder isolierter Kuppen aufgelöst.
- B. Die Systeme der Hochfläche wurden noch bei wachsender Phase geschaffen, das zeigt ihre Anordnung um die Hebungscentren.
- C. Der Plateaurand entstand, als die Wölbung in eine blockförmige Bewegung überging, das zeigt das Vorhandensein seines Niveaus weit abseits vom Hebungscentrum. Diese breiten Flachlandschaften bilden meist nur Säume um die Hochfläche. Noch herrschen denudative Vorgänge der Abtragung.
- D. Schließlich bei der Prägung des Talraumes trifft sowohl Flußarbeit als auch Blockhebung zusammen, was zur Entstehung der überwiegend steilen Talflanken führt. Bei der Entstehung der gesamten Großformung spielte natürlich auch die fortschreitende Verkarstung eine besondere Rolle.

ad 2: Die späteiszeitliche Vergletscherung hatte, in Anlehnung an diese vorgegebene Großformung im Schlern das ganze Plateau bis zum Rand, in Gschnitz nur die im Osten geschlossene Hochfläche und im Daun nur mehr die Kulmination der Kuppenlandschaft als Firnfeld zur Verfügung. Besonders wirkte sich die Abdachung gegen Südwesten, die günstige Exposition gegen Norden und die Leeseite im Osten auf die Entwicklung der spätglazialen Gletscher aus. Nicht zu unterschätzen ist die Bedeutung der subglazialen Karstentwässerung in diesem Gebiet für die Hemmung der Schurftätigkeit der Gletscher und die daher relativ geringen Moränenablagerungen aus der Zeit des Eisrückganges.

ad 3: Als formgebende Kraft wirkt Schutt überall dort, wo über der Vegetationsgrenze weniger kompaktes Gestein auftritt, welches der Frostsprengung genügend Angriffsmöglichkeit bietet. Das bedeutet, daß im Toten Gebirge, auf Grund der Festigkeit der mächtigen Dachsteinkalkbänke, Schuttbildungen zurücktreten. Immerhin treten aber unter Steilwänden, die über den Bereich der klimatischen Frostschuttgrenze (1800 bis 2000 m) aufragen, Halden und Schutthänge von etwa $30 - 35^{\circ}$ Böschung auf, diese Halden weisen meist glatte Böschungen auf im Gegensatz zu den unter der Frostschutzzone an den Außenabstürzen des Plateaus befindlichen Schwemmschutthalden, deren Körper aus einzelnen Schuttlappen, murenartigen Gebilden, zusammengesetzt ist, welche mit etwa 30° Böschung von den Schuttrinnen der Wände weg beginnen, gegen unten allmählich flacher werden und in den Wald hinein, erkenntlich am Bewuchs mit Latschen, verfolgbar sind. Im Zuge der spätglazialen bis frührezenten Klimaentwicklung reichten die schuttbildenden Vorgänge wesentlich tiefer herunter, so daß heute die bewachsenen Halden als Schuttablagerungen dieser Zeiten anzusehen sind, zumal ja bei den Schwemmkegeln eine deutliche Verschachtelung mehrerer Generationen nachweisbar ist. Schließlich spielt Schuttbildung bei der Zerlegung von Karrenfeldern in "Scherbenkarst" und bei der Ausprägung von Glatthängen auf den flacheren Böschungen der über die Frostschuttgrenze aufragenden Kuppenlandschaft sowie bei der Umlagerung von Moränenmaterial und bei der Schuttauskleidung von Trichter dolinen eine formgebende Rolle.

ad 4: Das Tote Gebirge weist die größte zusammenhängende Karstfläche der nördlichen Kalkalpen, ca. 300 km^2 , auf. Der von der Verkarstung betroffene Gesteinskörper, in erster Linie Dachsteinkalk und der unterlagernde Hauptdolomit, reicht gewöhnlich unter das Niveau der Quellen. Bei der Gebirgsbildung wurde dieser Körper intensiv zerklüftet, wie aus den gesetzmäßigen Verlauf der Kluftkarren und Dolinenreihen in Anlehnung an das Kluftnetz leicht ersehen werden kann. Nachdem die oberirdische Entwässerung früh der Verkarstung erlegen war, nahm das Karstwassernetz im Zuge der Höherschaltung durch Angliederung immer tieferer Teile an Ausdehnung und Komplizität zu.

Die uns hier allein interessierende obertägige Verkarstung schritt damit Hand in Hand. Charakteristisch für die Hochfläche des östlichen Toten Gebirges sind die großen als "Gruben" bezeichneten Karstwannen. Sie sitzen vorwiegend in schon vor der Eiszeit funktionslos gewordenen alten Talungen der Hochfläche. Meist sind sie in sich gekammert und gegliedert in mehrere Großdolin, diese wieder in kleinere Dolinen und Schluckstellen. Als Ganzes sind sie mehr oder weniger glazial überformt, wie die charakteristischen Hangprofile beweisen. Neben den großen Dolinen kommt aber den in großer Zahl auftretenden Dolinen aller Größenordnungen zwischen 100 und 2.00 m Durchmesser große Bedeutung zu. In den höchsten Plateauteilen und auf den dem Plateau aufgesetzten Kuppen tritt ihre Zahl zwischen den vom Frostschutt geprägten Flächen etwas zurück. Die größeren Dolinen in dieser Zone sind im Verhältnis tiefer als die kleineren, was mit ihrer Weiterbildung in gegenwärtigem Klima unter Schnee zusammenhängen dürfte, kleinere Dolinen verfügen nicht über das entsprechende Schneereservoir für den ganzen Sommer.

Unter diesen Nivationsdolin sind Schächte und Kessel häufig, da die Dolinenbildung unter Schnee vorwiegend nach der Tiefe arbeitet. Ist die Doline in dieser Zone so angelegt, daß seitlich genügend Frostschutt einwandern kann, so entsteht durch das Schuttkleid eine Trichterform. Charakteristisch für hochgelegene Dolinen ist der ungleichseitige Querschnitt, eine Folge der vorwiegenden Wirkung des im Lee lagernden Schnees.

Unterhalb der Zone des Scherbenkarstes, unter 2000 m, im Bereich der Hochfläche und der in sie eingreifenden Talungen, liegt die Zone intensivster Verkarstung und Dolinenshäufung. Grundriß und Anordnung der Dolinen läßt hier am besten die strukturell bedingte Anlage der Dolinen erkennen. Langgestreckte Karstgasen knüpfen sich meist an das Schichtstreichen der Dachsteinkalke, Reihen von Dolinen bezeichnen den Verlauf von Störungen und Klüften. An Kreuzungsstellen von karstmorphologisch wirksamen Klüften miteinander oder mit Schichtfugen sitzen sie, entsprechend der

Natur ihrer Anlage, unregelmäßigem und vieleckigen Grundriß, bevorzugt Dolinen und Schluckstellen.

In tieferer Lage wandelt sich die vieleckige Grundrißform der Dolinen zwischen 1700 und 1600 m allmählich in eine regelmäßige. Hier herrschten außerdem zur Zeit des Spätglazials längere Zeit periglaziale Bedingungen, die zu einer mechanischen Zurundung und Auskleidung der Dolinenhänge mit Solifluktionsschutt führten. Seit der postglazialen Wärmezeit erfolgte dann die Weiterbildung der Dolinen dieser Zone unter einer Boden- und Vegetationsdecke.

An den Hängen des Talraumes ist für Dolinen wenig Platz, daher treten diese Formen unterhalb 1500 m ziemlich zurück.

Ein weiteres Formelement des Karstes stellen die Karren dar. Je nach Physiognomie und Genese unterscheiden wir die rundlichen, subkutan entstandenen Rinnenkarren von den scharfkantigen, freien Rinnenkarren, zu welchen als Sonderform auch die Firstrillen gehören.

Im Toten Gebirge hat die Gruppe der scharfkantigen Karren infolge der großen vegetationsfreien Kalkoberflächen der Hochfläche weiteste Verbreitung. Nach oben grenzt ihr Bereich zwischen 1800 und 2000 m an die klimatisch bedingte Zone des Frostschuttes, gegen unten verzahnt sich der Bereich der scharfgratigen Formen mit jenen der rundlichen Ausprägung bei etwa 1750 bis 1800 m, reicht aber inselhaft bis ins Tal. Die rundliche Karrenform tritt einem zwischen 1100 und 1800 m entgegen, oberhalb 1450 m nimmt ihr Auftreten zu und bis 1750 m beherrscht sie oft das Kleinrelief der Dachsteinkalkbänke.

Karrenfelder sitzen vorzüglich dort, wo kompakte, der mechanischen Verwitterung wenig Ansatzmöglichkeiten bietende Felsflächen vorhanden sind. Das ist vor allem dort der Fall, wo die Gletscher der Eiszeit den Dachsteinkalk blank geschliffen zurückgelassen haben.

Zusammenfassend kann bemerkt werden, daß hier alle formbildenden Kräfte in einer eigenartig komplizierten Weise zusammengewirkt und aufeinander aufgebaut haben, so daß eine Art Harmonie und Deckung von Alt- und Vorzeitformen mit den gegenwärtigen Höhengürteln der Landformung festzustellen ist.

Dieses harmonische Ganze soll in guten topographischen Karten zur Geltung gelangen und es soll kein wichtiges Detail fehlen, soweit es der Maßstab zuläßt. Dieser Forderung muß der Kartenherausgeber schon bei der Auswertung der Schichtlinien gerecht werden. Die Festlegung der Äquidistanz mag bei einem geschlossenen Kartenwerk sicher meistens vorgegeben sein, doch soll hier auf die Schwierigkeit verwiesen werden, die darin besteht, mit einer Äquidistanz von 20 m für den Maßstab 1:25 000, einer derart differenzierten Großformung bestehend aus steilen 70⁰ geböschten Außenabfällen einerseits und einer 10⁰ geneigten Hochfläche andererseits gerecht zu werden. Diese Schwierigkeit muß bewußt gesehen werden bei Karten kleineren Maßstabes, etwa 1:50 000, die ebenfalls die Äquidistanz von 20 m anwenden, um die schon bei der Auswertung erfolgende Generalisierung richtig zu lenken. Damit wirklich auf die geomorphologischen Gegebenheiten Rücksicht genommen wird, muß bereits der Auswerter über die geomorphologische Struktur im Bereich des Kartenblattes informiert sein, damit die notwendige Glättung der Höhenschichtlinien nur dort vollzogen wird, wo es kartographisch erwünscht ist. Zwischenhöhenschichtlinien sollen für die bessere Darstellung der zernarbten Karsthochfläche richtig überlegt und angewandt werden. Die Konzeption der Karte muß schon von Beginn an geomorphologische Verhältnisse berücksichtigen. Ich möchte nur die Farbauswahl und die Wahl der Felszeichnung herausgreifen. Ein Beispiel wie mit Erfolg versucht wurde, eine ähnliche Landschaft so abzubilden, daß die Höhengürtel der Landformung zur Geltung gelangen, stellen die Kartenblätter 1:25 000 vom Hochkönig und Hagengebirge und vom Steinernen Meer, des Deutschen Alpenvereins dar. Es ist die Frage zu klären, ob die morphologischen Verhältnisse eines Gebietes eine Felszeichnung, welche eine schräge Beleuchtung annimmt möglich machen, ohne daß es in Steilgebieten zu einer übermäßigen Glättung der Schichtlinien kommen muß, will man sie auch im Felsbereich erhalten. Man muß sich über die Tatsache klar werden, daß in einer von Dolinen zernarbten und eisüberschliffenen Rundbuckeln überhöhten Hochfläche es schwierig werden muß, eine schrägbeleuchtet dargestellte Topographie richtig aufzunehmen, und daß die Schummerung in diesem Bereich so dezent wie nur möglich auszufallen hat, da-

mit nicht das ganze Bild der Hochfläche zerstört wird, wie dies z. B. bei der Kompaß-Wanderkarte 1:50 000 eben in diesem Gebiet geschah.

Zu Vergleichszwecken wurden von Reinhard HÖBLING im Rahmen seiner Diplomarbeit ein Ausschnitt der Karsthochfläche des Toten Gebirges sowohl nach der Art der Felszeichnung, wie sie Fritz EBSTER anwendet, als auch nach der Methode Leonhard BRANDSTÄTTER's gezeichnet. Dabei zeigte sich der Vorteil letzterer Methode, welche die Darstellung des Kleinreliefs bis herab zu den karrenzerfurchten Dachsteinkalkbänken ermöglicht. Eine sorgfältige Kanten- und Gefügezeichnung setzt aber eine gute Kenntnis der Geomorphologie voraus, umso mehr als die Arbeit aus Gründen der Wirtschaftlichkeit über dem Orthophoto erfolgen soll. Eine Interpretation des Photos kann aber nur bei ausreichender geomorphologischer Kenntnis gut ausfallen. Manierhaftes Zeichnen und unzulässiges Generalisieren sind die Folge, wenn dem Topographen Unterschiede der Formen nicht wirklich gut geläufig sind. Der Unterschied zwischen Erdfällen, Trichterdolinen, Karstwannen, Schneekesseln und an Karstgassen und Schichtstufen gebundenen Karsthohlformen kann und soll in der Karte Berücksichtigung finden, um dem Kartenbenützer die Möglichkeit zu geben an charakteristischen Einzelheiten Natur und Kartenbild zu vergleichen. In der Karte Totes Gebirge Mitte des ÖAV wurde z. B. die sehr auffällige und als Orientierungshilfe nützliche Gruppe von Trichterdolinen nördlich des Temlberges nicht differenziert von der übrigen Umgebung dargestellt. Die Maßstäbe 1:25 000 und 1:50 000 lassen zwar eine absolute Darstellung der Dolinen nicht zu. Man entschließt sich dann zu Signaturen oder signaturähnlichen Elementen der Felszeichnung. Als gelungenes Beispiel für eine Karrenlandschaft möchte ich das Gottesackerplateau in der ÖK 1:50 000 erwähnen. Warnen möchte ich von der Manier, Dolinen rund darzustellen, wenn sie dies gar nicht sind, was in ÖK-Blättern leider vorkommt. Überlegt sollen auch die reinen Signaturen werden, z. B. soll für Schächte unbedingt ein eigenes Symbol und nicht das Höhlenzeichen verwendet werden. Ferner ist die Kartenschrift im Hinblick auf die geomorphologische Aussage zu überprüfen. Das Wort "Schutzhöhle" am ÖAV-Weg 215 südlich des Schermberges erweckt falsche Vorstellungen, hingegen wäre es wichtig gewesen, die Gefahr

am Wege 276 durch einige Schachtsignaturen anzuzeigen und das Jungbauerkreuz dafür fortzulassen, denn es existieren die morphologischen Objekte in der Regel länger, jenes Kreuz aber ist heute schon verschwunden. Es gibt zwar die gute Möglichkeit die geschlossenen Hohlformen der Dolinen durch ein Minussymbol auf ihrem Grunde zu kennzeichnen, wie dies in den meisten Karten geschieht, doch möchte ich nichts dagegen einwenden, wenn dafür ein Richtungspfeil die unterirdische Entwässerung anzeigt. Wenn aber in weiterer Folge derselbe Pfeil in blauer Farbe den tiefsten Punkt eines Sees anzeigt (z.B. ÖAV-Karte, Totes Gebirge Mitte beim Steirersee), dann wendet der Morphologe mit Recht ein, daß dieses Zeichen hier besser für die Richtung des unterirdischen Seeabflusses anzuwenden gewesen wäre. Wir sehen also, daß von der photogrammetrischen Auswertung bis zur Kartenschrift, von der Farbgebung bis zur Felszeichnung und Signaturenfrage neben anderen, viele Fragen geomorphologischer Art zu lösen sind, um eine gute Karte zu gewährleisten.

LITERATURVERZEICHNIS

- BRANDSTÄTTER, Leonhard: Exakte Schichtlinien und topographische Geländedarstellung. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, Sonderheft 18, Wien 1957.
- EBSTER, Fritz: Zur Felszeichnung und topographischen Geländedarstellung der neuen Alpenvereinskarten. - Alpenvereinskartographie und die ihr dienenden Methoden, Sammlung Wichmann, Bd. 3, Bad Liebenwerda/Berlin 1935.
- HÖLBLING, Reinhard: Untersuchungen zur Felstdarstellung in Alpenvereinskarten mit Hilfe der Orthophototechnik. Diplomarbeit am Institut für Kartographie u. Reproduktionstechnik der Technischen Hochschule Wien, 1974.
- IMHOF, Eduard: Kartographische Geländedarstellung. Walter de Gruyter & Co., Berlin 1965.
- LECHNER, Anton: Zur Geomorphologie des östlichen Toten Gebirges (Prielgruppe). Geographischer Jahresbericht aus Österreich, Bd. 32, Wien 1965.

Geowiss. Mitt. 3
1974, 122 - 141

DIE EINSCHALTUNG DER DACHPFEILER
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN DAS
WIENER FESTPUNKTNETZ

von

G. Wagensommerer

(Vortrag gehalten am 15. Mai 1974
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing. Günter Wagensommerer, Hochschulassistent am Institut für Allgemeine
Geodäsie, Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

ZUSAMMENFASSUNG

Zum Zwecke der koordinativen Bestimmung der auf der Dachterrasse des neuen Institutsgebäudes in Wien IV., Gußhausstraße befindlichen 11 Pfeiler und deren Einschaltung in das Wiener Festpunktnetz, wurde eine Triangulierung durchgeführt. Zur Erreichung der dabei geforderten Genauigkeit waren vor der Messung umfangreiche Überlegungen bezüglich Konfiguration des Netzes und Auswahl des für die Winkel- und Seitenmessung unter den vorliegenden Umständen am günstigsten erscheinenden Instrumentariums notwendig. Die Richtungsbeobachtung erfolgte mit einem Sekundentheodolit, während die Ermittlung der benötigten Seiten mit Hilfe elektromagnetischer Entfernungsmessung erfolgte. Die Höhen der genannten Punkte wurden mittels technischen Nivellements durch das Stiegenhaus ermittelt.

Die Berechnung der vorläufigen Koordinaten wurde auf einem Computer der Mittleren Datenverarbeitung mittels einfacher Punkteinschaltung durchgeführt. Schon dabei zeigten die aufgrund zahlreicher Überbestimmungen möglichen mehrfachen Koordinatenberechnungen gute Übereinstimmung.

Die eigentliche Netzberechnung wurde an der EDV-Anlage des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen mit dem Programm "STRENGE NETZAUSGLEICHUNG" in zwei Varianten durchgeführt. Ebenso wurde die Möglichkeit der Ausgleichung des vorliegenden Netzes am Rechenzentrum Graz mit den Programmen "INNTTEST" sowie "RINNER" genutzt.

Die Ergebnisse der verschiedenen Ausgleichungen zeigten weitgehende Übereinstimmung, wobei die ausgewiesenen mittleren Punktlagefehler für die gute Wahl der Netzform, für die Genauigkeit des verwendeten Instrumentariums sowie für die Güte der Messung selbst sprachen.

Nach Fertigstellung des neuen Institutsgebäudes und Übersiedlung der geodätischen Institute ergab sich die Notwendigkeit, die Einrichtungen, die zur Abhaltung von Übungen bzw. für wissenschaftliche Untersuchungen, wie sie im Hauptgebäude vorhanden waren, neu zu schaffen. Wie sich sicher alle von Ihnen, die das Studium für Geodäsie an der Technischen Hochschule in Wien absolviert haben, erinnern werden können, war im Hauptgebäude über dem letzten Geschoß des westlichen Mitteltraktes ein Observatorium eingerichtet. Der Bau dieses Observatoriums wurde gleichzeitig mit der Einrichtung der Lehrfächer für Höhere Geodäsie und Sphärische Astronomie angeordnet und im Jahre 1869 fertig gestellt.

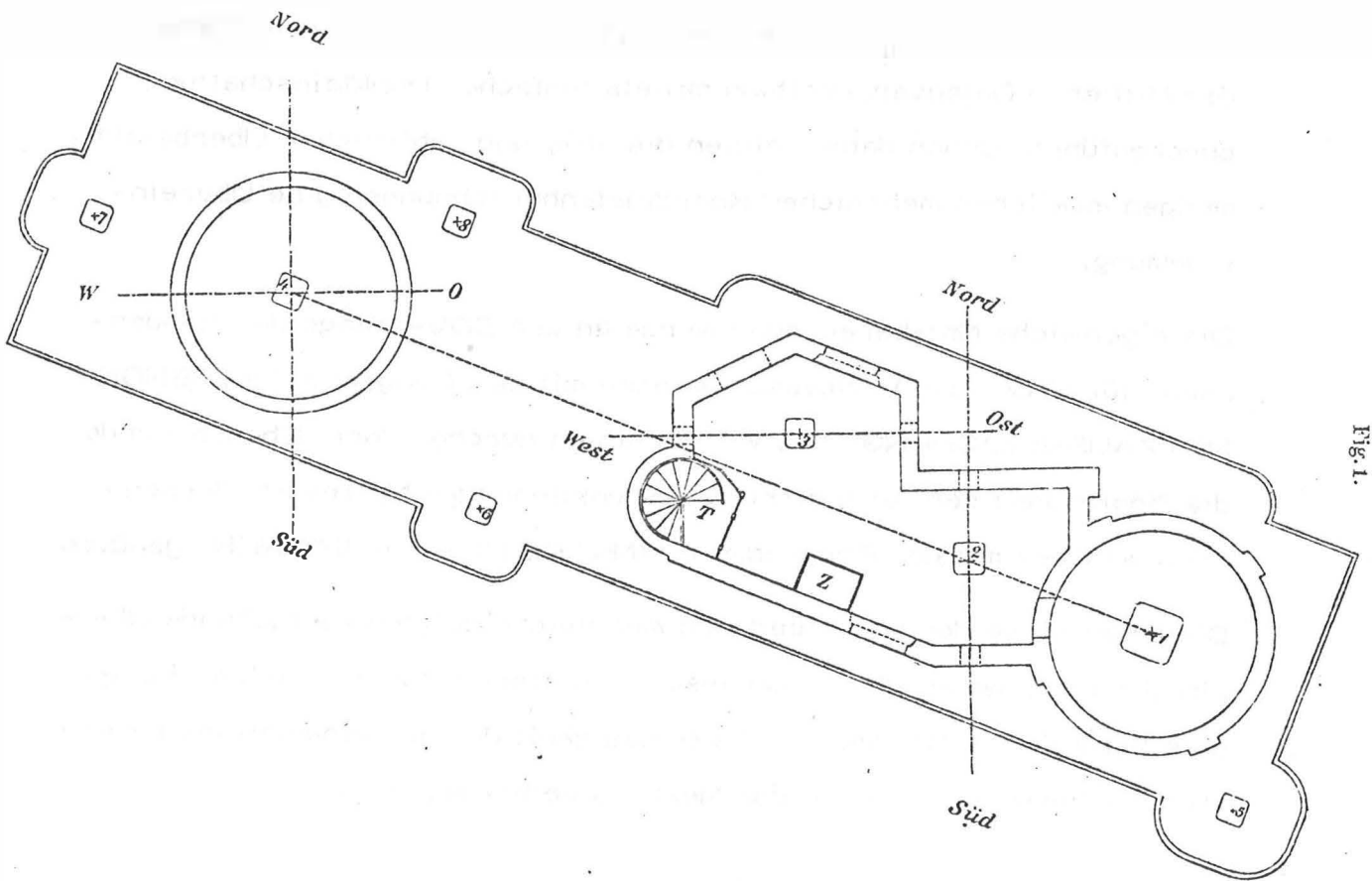


Fig. 1.

Abb. 1

Diese Grundrißdarstellung stammt aus einer Veröffentlichung Professor Tinters aus dem Jahre 1880 über Polhöhenbestimmung. Die Pfeiler waren teilweise überdacht, sogar drehbare Kuppel vorhanden und ein entscheidender Vorteil, der uns rund 100 Jahre später versagt bleiben sollte, ein Geräteaufzug war eingebaut.

Die von geeigneten Standpunkten aus sichtbare Plattform wurde erst viel später, nämlich anfangs der Dreißigerjahre unseres Jahrhunderts errichtet. Verursacht wurde die Aufstockung durch das Wachsen der Stadt, vor allem der Höhe nach, um den Horizont für Azimutmessungen und dergleichen zu erweitern. Der Pfeiler auf der Plattform des Turmes stellt heute einen Punkt 3. Ordnung im Wiener Festpunktfeld dar.

Um ähnliche Bedingungen zu schaffen, wie sie im Hauptgebäude vorhanden waren, wurde das Dach des neuen Institutsgebäudes als Terrasse gestaltet, wo 11 Pfeiler fundamentierte sind. Die Pfeiler haben quaderförmige Gestalt von 40 x 40 x 120 cm. Die Höhe der Pfeiler war aus architektonischen Gesichtspunkten mit der Höhe des Geländers fixiert. Die Kunststeinplatten, die auf der gesamten Dachterrasse verlegt sind, sind nur lose im Sand gebettet, was Schwierigkeiten bereiten sollte, über die noch später näher eingegangen werden soll.

An der Oberseite der Pfeiler sind kreisförmige Messingplatten eingelassen, in deren Zentrum sich ein Bolzen befindet, welche zylindrisch ausgebohrt sind. In diese Bohrung mit Gewinde lassen sich Herzschrauben eindrehen, die mit verschiedenen Adaptern für alle bei uns gängigen Gerätetypen verwendbar sind (Abb. 2)

Außerdem ist bei jedem Pfeiler ein Schaltkasten angebracht, wo elektrische Anschlüsse für Instrumentenbeleuchtung etc. vorgesehen sind. Für Arbeiten während der Nacht ist somit größter Komfort gegeben. Außerdem kann hier der für Entfernungsmeßgeräte notwendige Strom entnommen werden.

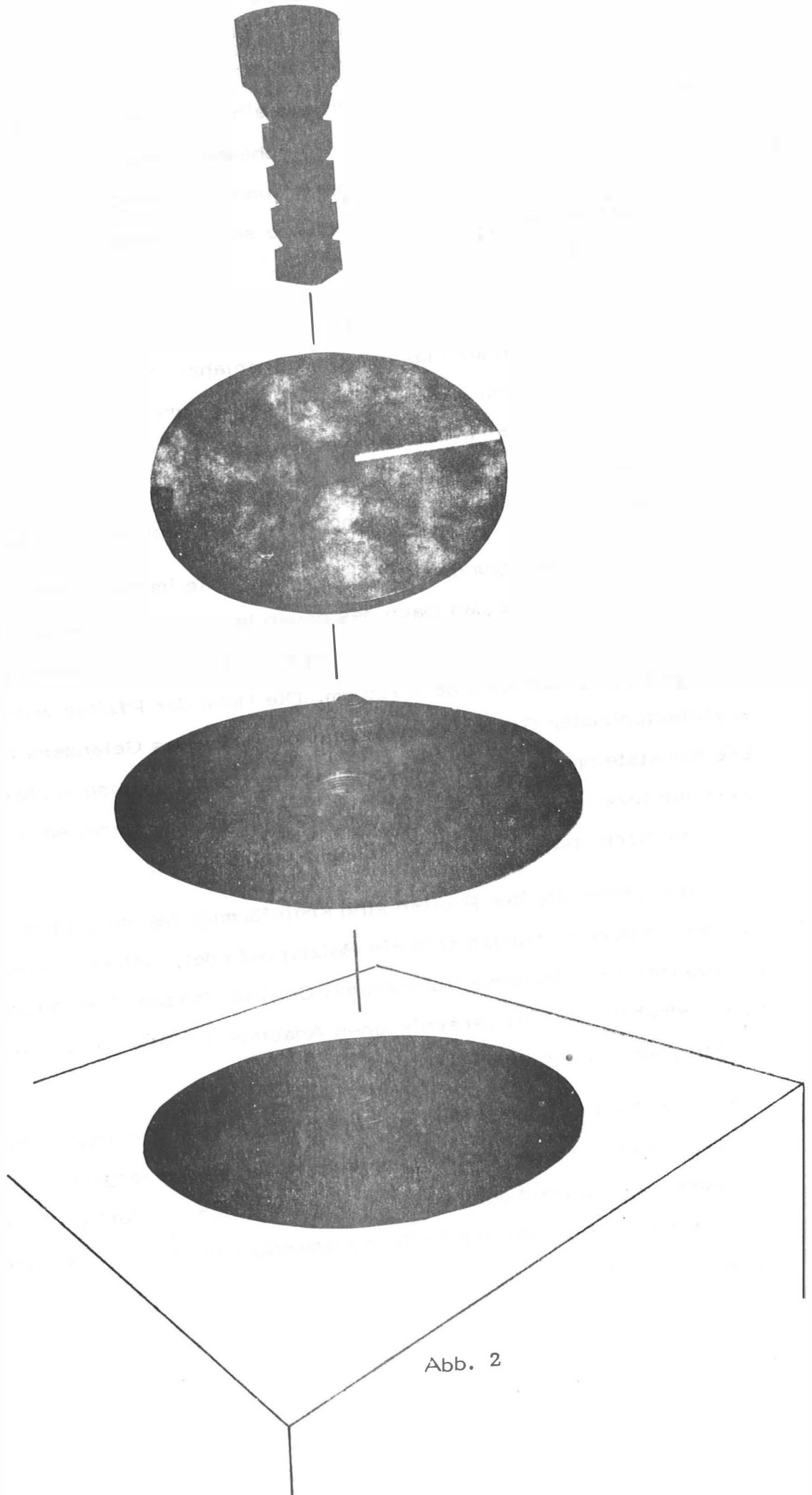


Abb. 2

Nach einer ersten Erkundung der möglichen Sichten stellte sich heraus, daß zu keinem der 11 Pfeiler Außenrichtungen bzw. Seiten von einem näher gelegenen trigonometrischen Fixpunkt möglich waren. Um nicht auf die Vorteile einer Überbestimmung mittels Außenrichtungen und Seiten verzichten zu müssen, ergab sich die Notwendigkeit, einen weiteren Punkt in die Messung einzubeziehen, der die Einhaltung der erwähnten Bedingungen gewährleistete. Als einzig möglichen Standort für einen derartigen Punkt (A) bot sich die nordwestliche Ecke der Dachterrasse an. Um außerdem eine für den Ausgleich günstige Netzform zu erhalten, mußte ein weiterer "verlorener Punkt" (B) in die Beobachtung aufgenommen werden (Abb. 3).

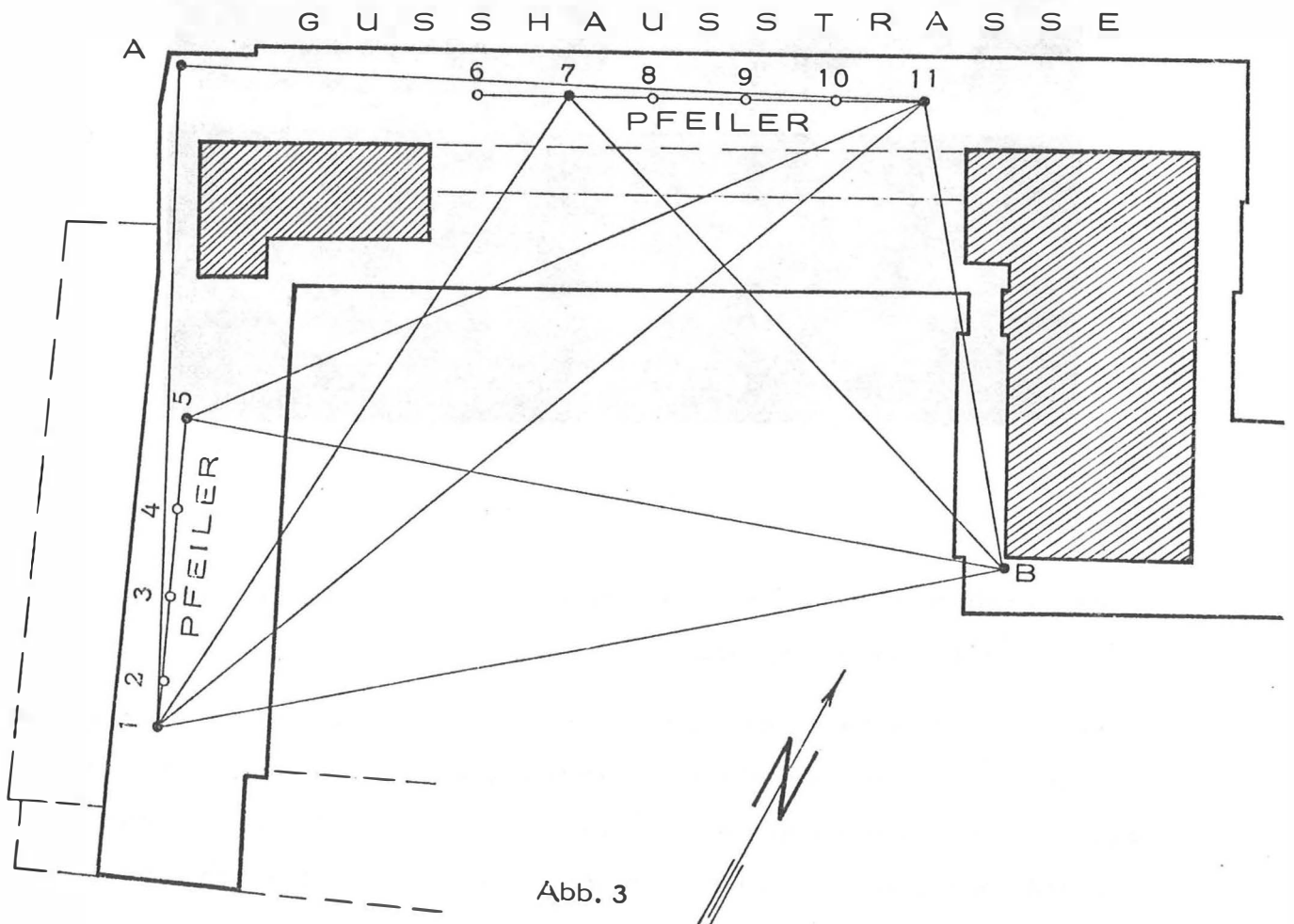


Abb. 3

Die Bestimmung der 11 Pfeiler in einem Guß erschien insoferne nicht sinnvoll, da die Zahl der Beobachtungen dadurch stark gestiegen und andererseits das zu erwartende Ergebnis nicht verbessert worden wäre. Aus diesem Grunde wurden 2 Pfeiler jeder Reihe (an der Nordseite 6, an der Westseite 5 Pfeiler) in das Netz einbezogen und die restlichen 4 an der Nordseite bzw. 3 Pfeiler an der Westseite durch Alignement bestimmt. Dabei wurden die Abweichungen der einzelnen Plattenmittelpunkte aus der Geraden mit Hilfe eines Theodoliten an einem Maßstab abgelesen (Abb. 4).

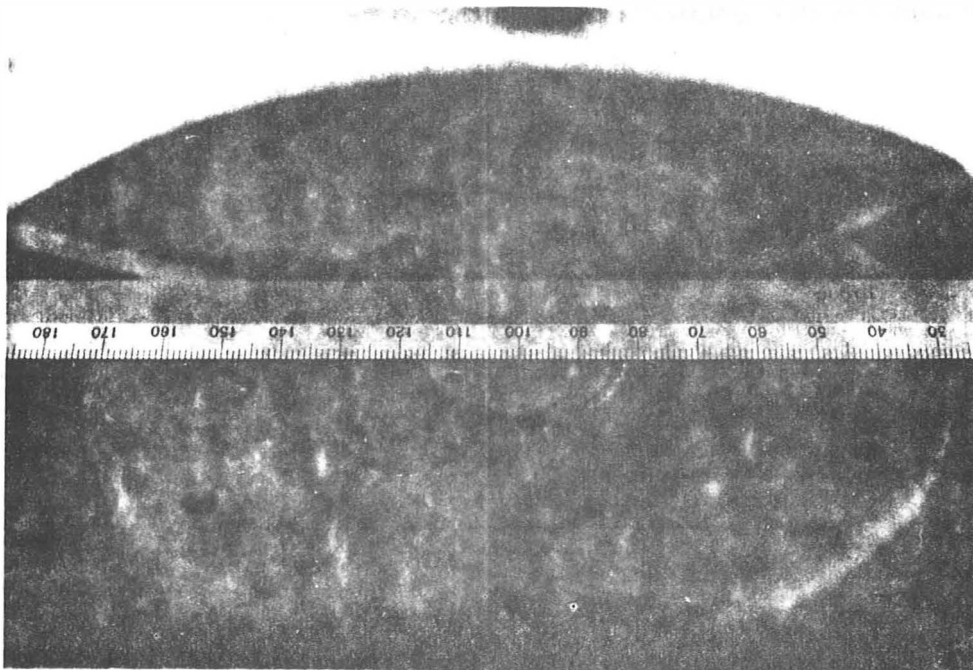


Abb. 4

Es verblieben somit nur 6 Punkte, die mittels Triangulierung in das Wiener Festpunktnetz einzuschalten waren.

Mit Hilfe einer Punktübersicht im Maßstab 1:25 000 konnten die möglichen Sichten festgestellt und die in den Betracht kommenden Netzpunkten zu beobachtenden Richtungen ausgewählt werden. Dabei blieben Punkte, welche mehr als 2 km Entfernung zum Beobachtungsort aufwiesen, außer Betracht.

Im Laufe der Erhebungen der Punktkarten, welche mir zur Gänze vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt wurden, ergab sich die Möglichkeit, die Koordinaten der Festpunkte direkt aus den Operaten des Bundesamtes mit Millimeterangabe zu entnehmen. Hiezu ist zu bemerken, daß alle ausgewählten Punkte erst in jüngster Zeit (1967-1971) überprüft bzw. neu bestimmt wurden und die Verwendung von Koordinaten auf mm ein besseres Ergebnis erwarten ließ.

Unter diesen Gesichtspunkten mußten vor Beginn der Messungen eingehende Überlegungen über das einzusetzende Instrumentarium angestellt werden. Die Wahl fiel auf den Sekundentheodoliten WILD T2 einschließlich WILD-Zieltafeln für die Richtungsbeobachtung bzw. den am Institut für Allgemeine Geodäsie vorhandenen Nahbereichsentfernungsmesser Tellurometer MA 100 als sinnvollste Kombination für die gestellte Aufgabe.

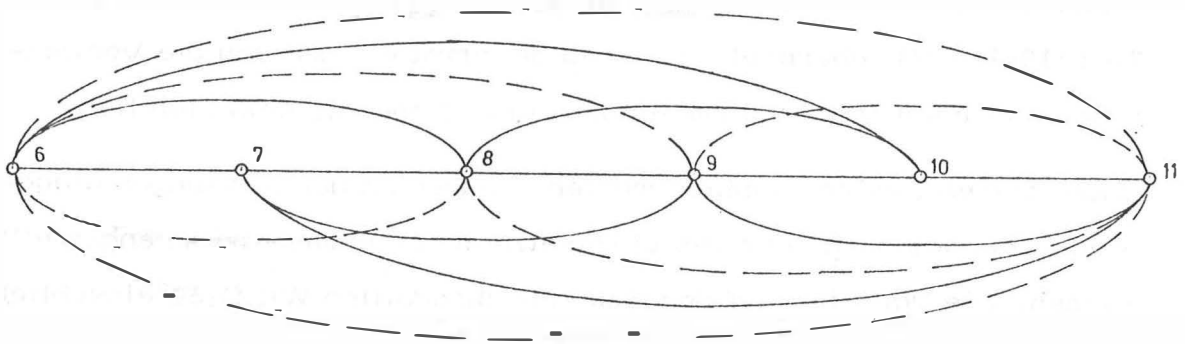
Bei jeder elektromagnetischen Entfernungsmessung muß wegen der Abweichung der elektronischen bzw. optischen von den geometrischen Zentren bei Gerät bzw. Reflektoren die Nullpunktskonstante überprüft bzw. bestimmt werden. Vor Beginn der Meßarbeiten mußte zur Gewährleistung der geforderten Genauigkeit eine derartige Bestimmung für jede Geräte-Reflektorenkombination durchgeführt werden.

Die Nullpunktskonstante kann grundsätzlich auf zwei Arten bestimmt werden:

- 1) Anhand von Strecken bekannter Länge
- 2) Durch Unterteilung einer beliebigen Strecke und Messung der einzelnen Streckenteile in verschiedenen Kombinationen.

Methode 1) fand Anwendung für die Kombination MA 100 mit WILD-Dreifachspiegel bei der Messung der Seiten A-TH Wien und A-GPW Paulanerkirche, die in der Größenordnung von 150 m bzw. 300 m liegen. Zu diesem Zwecke fanden Messungen auf der Prüfbasis Wien, Prater Hauptallee, statt. Die Bodenpunkte wurden mittels des Zenitlotes WILD ZNL aufgelotet und die Seiten zwischen den Punkten B - A und B - C für zwei WILD-Dreifachspiegel je viermal gemessen.

Methode 2) wurde zur Bestimmung der Nullpunktskonstante für die Kombination MA 100 mit AGA-Reflektor verwendet, die zur Messung der Seiten im lokalen Netz vorgesehen war. Dazu wurden die Seiten zwischen folgenden Pfeilern gemessen:



Für die Konstantenbestimmung ergaben sich demnach folgende Gleichungen:

$$\begin{array}{l} \overline{6,10} + K = 2K + \overline{6,8} + \overline{8,10} \quad \overline{7,11} + K = 2K + \overline{7,9} + \overline{9,11} \\ \overline{6,11} + K = 2K + \overline{6,9} + \overline{9,11} \quad \overline{6,11} + K = 2K + \overline{6,8} + \overline{8,11} \end{array}$$

Die für den Monat Juli geplanten Richtungsbeobachtungen gestalteten sich insofern schwierig, als infolge des schönen und heißen Wetters in dieser Zeit starkes Luftflimmern auftrat. Da aber die Messungen an sich keinen allzu großen Zeitaufwand erforderten – es waren an allen vier Eckpunkten Innenrichtungen und vom Punkt A aus zwei Seiten sowie Außenrichtungen zu messen – wurden die Außenarbeiten an solchen Tagen durchgeführt, an denen günstige Wetterbedingungen herrschten. Während die Verwendung von Stativen für die Richtungs- bzw. Seitenmessungen in den Punkten A und B die Beobachtungen ohne Unterbrechung verlangte, konnten die Messungen von den Pfeilern nach Bedarf abgebrochen bzw. wieder fortgesetzt werden, da das Aufschrauben der Instrumente bzw. Zieltafeln auf die Pfeilerplatten der Durchführung einer zwangszentrierten Messung entsprach.

Zur Vermeidung von Stativbewegungen während der Messungen (die Steinplatten auf der Dachterrasse sind nur lose im Sand verlegt) wurde die Beobachtung von einem kleinen Podest, auf Platten außerhalb des Aufstellungsbereiches, aus durchgeführt, wodurch erreicht wurde, daß

durch das Herumgehen während der Satzbeobachtung kein zusätzlicher Druck auf die Platten ausgeübt wurde, auf denen die Stativbeine ruhten.

Je Standpunkt wurden mindestens zwei volle Sätze gemessen, deren Schlüsse im Durchschnitt unter 5^{CC} lagen. Die einzige Schwierigkeit bei der Richtungsbeobachtung wurde durch eine am Rande der Visur zwischen den Pfeilern 5 und 11 stehende Säule verursacht, indem bei Drehen des Fokussierendes die Zieltafel stark hin- und herwanderte. Dies machte die Durchführung einer zusätzlichen Ziel- bzw. Standpunktszentrierung notwendig (Abb. 5).

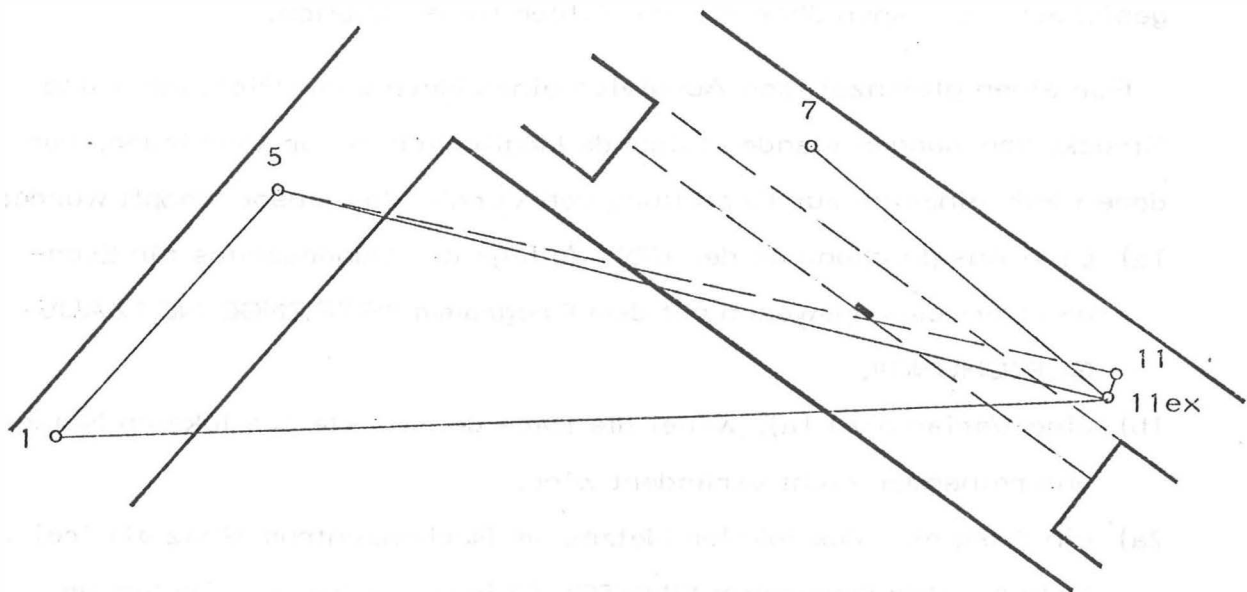


Abb. 5

Die Reduktion der schief gemessenen Seiten erfolgte mittels der bekannten Formel aus den Höhenunterschieden. Zu diesem Zweck wurde ausgehend von Höhenbolzen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen ein technisches Nivellement mittels WILD NA2 durch das Stiegenhaus durchgeführt. Andere Überlegungen, den Höhenunterschied mittels eines freihängenden Stahlmaßbandes bzw. Invardrahtes zu überbrücken, wurden nach reiflicher Überlegung wieder verworfen, da eine Verbesserung des Resultates aufgrund der vorhandenen nicht geeichten Meßmittel nicht zu erwarten war.

Für die Bestimmung der vorliegenden 6 Neupunkte wurden insgesamt 45 Richtungen und 11 Entfernungen gemessen. Sieht man von den 11 verwendeten Fixpunkten ab, ergeben sich nach Abzug der Orientierungsunbekannten für 8 Standpunkte 37 Winkel und 11 Entfernungen, zusammen also 48 Beobachtungswerte, welchen 9 notwendige Bestimmungsstücke gegenüberstehen. Das Netz wird somit, soweit dies nicht im Zuge der Beobachtungen durch Doppel- oder Mehrfachmessungen geschehen ist, durch 39 Überbestimmungen gegen Fehler abgesichert. Die relativ große Anzahl der Überbestimmungen ermöglicht überdies noch in hohem Maße gesicherte Aussagen über die erreichten Genauigkeiten.

Für einen gleichzeitigen Ausgleich eines Netzes mit Richtungs- und Streckenmessungen standen folgende Möglichkeiten zur Verfügung, von denen jede einzelne zur Erstellung von Vergleichen ausgeschöpft wurde:

- 1a) Eine Ausgleichung an der EDV-Anlage des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen mit dem Programm "STRENGE NETZAUSGLEICHUNG",
- 1b) eine Variante zu 1a), wobei die Lage der Punkte des lokalen Netzes untereinander nicht verändert wird,
- 2a) ein Ausgleich des lokalen Netzes am Rechenzentrum Graz als freies Netz mit dem Programm "INNTEST" in einem lokalen System im Meeresniveau,
- 2b) Ausgleich mit dem Programm "RINNER", wobei die bei 2a) sich ergebenden Seiten und Richtungen mit dem möglichen Höchstgewicht in den neuerlichen Ausgleich eingeführt werden.

Vor dem eigentlichen Netzausgleich mußten jedoch noch eine Reihe von Vorarbeiten geleistet werden.

Die schon nach der Messung überprüften Richtungsprotokolle wurden mit Hilfe eines Programms am Tischcomputer Olivetti 101 neuerlich durchgerechnet und ein Satzmittelverzeichnis angelegt. Richtungsreduktionen für den Anschluß an das Gauß-Krüger-System waren wegen der kurzen Entfernungen einerseits und der Meridiannähe andererseits nicht erforderlich.

Bei jeder Seitenmessung wurden im Stand- wie auch im Zielpunkt Luftdruck und Temperatur ermittelt. Die für die atmosphärische Korrektur notwendige Feuchttemperatur konnte telefonisch von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik erfragt werden, da aufgrund des in diesem Gerät verwendeten Wellenbereiches eine Angabe der Feuchttemperatur ohne Genauigkeitsverlust auf $\pm 5^{\circ}\text{C}$ genügt. Die Berechnung der reduzierten horizontalen Seiten erfolgte an einem Philips-Bürocomputer P 352S des Interfakultären Rechenzentrums der TH Wien (Geodäsierrechner) mit einem speziell für das MA 100 erstellten Streckenreduktionsprogrammes. Zur Erreichung eines einheitlichen Bezugssystems mußten schließlich alle Entfernungen von ihrer mittleren Höhenlage auf Meeresebene reduziert werden, was ebenfalls am oben erwähnten Computer mit Hilfe eines von mir erstellten Programmes erfolgte.

Auf Meereshöhe konnten dann die vorläufigen Koordinaten sowohl im System Gauß-Krüger - für die Ausgleiche 1a), 1b) und 2b) - als auch in einem lokalen System - für den freien Netzausgleich 2a) - am Philips Bürocomputer P 352S berechnet werden.

Bei der Ermittlung der vorläufigen Koordinaten des lokalen Netzes, die von den fix angenommenen Punkten "Pfeiler 1" und "Pfeiler 11" aus erfolgte, ergaben sich bei der infolge zahlreichen Überbestimmungen möglichen mehrfachen Koordinatenberechnung so gut wie keine Differenzen:

RCKW						
WAT	1578,052	36740,048				
LAK	1937,444	40210,518				
HJK	4855,567	39592,521				
	106,6300	173,3874	2806,186	39744,726	B	*
FJS	1489,280	37411,772				
LAK	1937,444	40210,518				
HJK	4855,567	39592,521				
	98,6165	173,3874	2806,189	39744,724	B	*
LAK	1937,444	40210,518				
HJK	4855,567	39592,521				
WAT	1578,052	36740,048				
	173,3874	119,9926	2806,186	39744,726	B	*
LAK	1937,444	40210,518				
HJK	4855,567	39592,521				
FJS	1489,280	37411,772				
	173,3874	127,9961	2806,189	39744,724	B	*

Die Berechnung dieser Koordinaten im System Gauß-Krüger erfolgte durch mehrfaches Rückwärtseinschneiden der Punkte "Pfeiler 1", "Pfeiler 11", B und A, wobei bei letzteren auch noch Bestimmungen mittels Polarpunktsberechnung, Vorwärts- und Bogenschnitt möglich waren. Die Ergebnisse der Rückwärtsschnitte paßten außerordentlich gut zusammen, was auf die Güte des Wiener Festpunktnetzes schließen läßt. Die geringen Differenzen, die sich bei der vielfachen Bestimmung des Punktes A ergaben, lassen auf einen kleinen Fehler des GP-West Paulanerkerche in bezug auf das gesamte Netz schließen.

Die vorläufigen Koordinaten der noch verbleibenden Punkte "Pfeiler 5" und "Pfeiler 7" wurden durch Helmertransformations über die Punkte A, B, "Pfeiler 1", "Pfeiler 11" vom lokalen Netz in das System Gauß-Krüger bestimmt. Die bei der Rückrechnung auftretenden Spannungen lagen durchwegs nahe der 1 cm-Grenze und ließen dadurch ein außerordentlich gutes Ausgleichsergebnis erwarten.

Das lokale Netz mit seinen relativ kurzen Seiten war als Ganzes in das übergeordnete Wiener Festpunktnetz einzuschalten. Dabei sollten die lokalen Entfernungen der Punkte möglichst unverändert bleiben, um ein den Tatsachen entsprechendes Ergebnis zu erhalten. Die Brauchbarkeit des Ergebnisses hing also einzig und allein von einem, dem vorliegenden Fall möglichst gut entsprechenden Gewichtsverhältnis ab. Dieses wird in der Form $\sqrt{p_s} = m_r/m_s$ in die Ausgleichung eingeführt. Daß die Annahme eines mittleren Richtungsfehlers von $m_r = \pm 10^{cc}$ und eines mittleren Seitenfehlers von $\pm 0,02$ dm, also einer Gewichtswurzel von $p_s = 500^{cc}/dm$, den Tatsachen entsprach, zeigte sich nach dem Ausgleich, als ein mittlerer Richtungsfehler von $\pm 11,8^{cc}$ bzw. ein mittlerer Streckenfehler von $\pm 2,4$ mm ausgewiesen wurde. Der relativ hoch anmutende mittlere Richtungsfehler läßt sich daraus erklären, daß die mittlere Seitenlänge im Netz unter 50 m liegt und die überwiegende Anzahl der Richtungen innerhalb des lokalen Netzes gemessen wurde.

Die bei diesem Ausgleich sich schließlich ergebenden mittleren Koordinatenfehler liegen durchwegs unter $\pm 3\text{mm}$. (Abb. 6)

Zu 1b) Netzausgleich unter Beibehaltung der Lage der Punkte des lokalen Netzes (Punktgruppe)

Bei diesem Programm wird das lokale Netz als starres Gebilde so lange verschoben, bis die Punkte die wahrscheinlichste Lage im Raum einnehmen. Als Hauptpunkt wurde der Punkt A gewählt, der die beste Bestimmung aufweist. Die vorläufigen Koordinaten der restlichen Netzpunkte, die jetzt als Nebenpunkte zu betrachten waren, wurden von A aus gerechnet.

Die für diesen Ausgleich gewählte Gewichtswurzel $p_s = 10^{cc}/0,05 \text{ dm} = 200$, wurde auch hier durch die sich aus der Ausgleichung ergebenden Werte bestätigt. Der sich für den Punkt A ergebende mittlere Punkt-lagefehler, der natürlich auch für alle anderen Punkte zutraf, lag jetzt bei $\pm 4 \text{ mm}$ in der Y-Richtung. Auch ein Vergleich mit dem Ausgleich 1a) ergab Koordinatenverschiebungen aller Punkte, die die gleiche Größenordnung besaßen und die gleiche Richtungstendenz aufwiesen. (Abb. 7)

Zu 2a) Ausgleich am Rechenzentrum Graz (UNIVAC) mit dem Programm "INNTTEST"

Die Ausgleichung des lokalen Netzes mit Hilfe dieses Programmes lieferte ausgeglichene Meßdaten, die dann in den Netzausgleich 2b) mit dem Höchstgewicht eingeführt werden konnten.

Die Anzahl der Beobachtungen für die Bestimmung der 6 Punkte betrug 33 (11 Seiten und 22 Richtungen), die Anzahl der Bedingungsgleichungen war 3, zur Bestimmung der 18 Unbekannten (6 Koordinatenpaare und 6 Orientierungsunbekannte) verblieben also 18 überschüssige Beobachtungen.

Das Ergebnis dieses Ausgleiches, der mit einem Gewichtsverhältnis 70/20 durchgeführt wurde, zeigte folgendes:

Die Form des Netzes war gut gewählt, da sich mit einer einzigen Ausnahme kreisförmige Fehlerellipsen ergaben, deren Halbachsen im Maximum 0,4 mm betragen.

Die Güte des Netzes wurde dadurch bestätigt, daß der mittlere Seitenfehler höchstens $\pm 0,5$ mm betrug. Der größte mittlere Richtungsfehler lag bei $\pm 12^{\text{CC}}$, der allerdings in Anbetracht der zu dieser Richtung gehörenden Seitenlänge von ~ 22 m einer Abweichung von nur $\pm 0,4$ mm entsprechen würde.

Zu 2b) Ausgleich am Rechenzentrum Graz mit dem Programm "RINNER"

Dieses Programm kann reine Richtungsnetze, reine Seitennetze sowie gemischte Richtungs-Seitennetze aller Ordnungen ausgleichen. Dabei sind folgende Beschränkungen zu beachten:

Die Beobachtungen müssen auf Hauptpunkte zentriert sein.

Die Seiten müssen reduziert und verebnet vorgegeben werden.

Das Programm verlangt die Eingabe von Näherungskordinaten für die Neupunkte.

Es können maximal 30 Neupunkte im Zusammenhang ausgeglichen werden.

Die maximale Anzahl der Festpunkte ist mit 69 festgelegt.

Die Anzahl der auszugleichenden Beobachtungen darf 200 nicht überschreiten.

Die maximale verebnete Länge einer beobachteten Seite liegt bei 128 km.

Die Mindestseitenlänge in einer beobachteten Richtung ist mit 128 m festgelegt.

Da die Mindestseitenlänge beim vorliegenden Netz bei weitem unterschritten wurde (mittlere Seitenlänge im lokalen Netz unter 50 m), ergab sich bei der Anwendung dieses Programms die Notwendigkeit, das Netz im Maßstab 10:1 zu vergrößern. Es mußten also dementsprechend sämtliche sich nach dem Ausgleich ergebenden Längen durch 10 dividiert werden. Die Richtungen werden vom Programm mit dem Einheitsgewicht in den Ausgleich eingeführt. Die Einführung von Seitengewichten ermöglicht es, Seiten verschieden, bis zu einem Höchstgewicht von 16.383,99999, zu gewichten. Diese Tatsache war entscheidend für die Möglichkeit einer

TRIANGULIERUNG
DACHPFEILER
T H W I E N

NETZÜBERSICHT 1 : 500

FEHLERELLIPSEN 5:1

VARIANTE 1a)

PFEILER 11

$\alpha = 63^{\circ}18'$
 $a = 2,8\text{mm}$
 $b = 2,0\text{mm}$

PFEILER 7

$\alpha = 54^{\circ}18'$
 $a = 2,7\text{mm}$
 $b = 2,1\text{mm}$

PUNKT A

$\alpha = 46^{\circ}37'$
 $a = 2,6\text{mm}$
 $b = 1,9\text{mm}$

PUNKT B

$\alpha = 58^{\circ}75'$
 $a = 3,2\text{mm}$
 $b = 2,0\text{mm}$

PFEILER 5

$\alpha = 36^{\circ}93'$
 $a = 3,0\text{mm}$
 $b = 2,1\text{mm}$

PFEILER 1

$\alpha = 36^{\circ}74'$
 $a = 3,1\text{mm}$
 $b = 2,0\text{mm}$

SYSTEM
GAUSS-KRÜGER
M 34°

Abb. 6

TRIANGULIERUNG
DACHPFEILER
T H W I E N

NETZÜBERSICHT 1 : 500

VEKTORMASSTAB 1:1

VERGLEICH: VARIANTE 1a)
VARIANTE 1b)

PFEILER 11

$\alpha = 92^{\circ}96'$
 $s = 9,0\text{mm}$

PFEILER 7

$\alpha = 100^{\circ}00'$
 $s = 6,0\text{mm}$

PUNKT A

$\alpha = 100^{\circ}00'$
 $s = 6,0\text{mm}$

PUNKT B

$\alpha = 92^{\circ}96'$
 $s = 9,0\text{mm}$

PFEILER 5

$\alpha = 115^{\circ}60'$
 $s = 8,2\text{mm}$

PFEILER 1

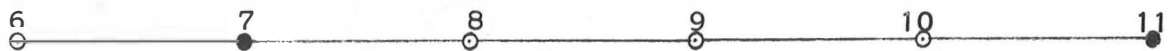
$\alpha = 125^{\circ}78'$
 $s = 7,6\text{mm}$

SYSTEM
GAUSS-KRÜGER
M 34°

Abb. 7

nochmaligen Ausgleichung des Netzes, wobei die aus dem Programm 2a) (unabhängiger Netzausgleich) sich ergebenden Werte mit dem Höchstgewicht eingeführt werden konnten.

Die Koordinaten der Pfeiler 6, 8, 9 und 10 sollten mittels Transformation über die Pfeiler 7 und 11 ermittelt werden. Zu diesem Zwecke wurden die Entfernungen der Pfeiler untereinander gemessen. Da sich die Ausweichungen der Pfeiler aus der Geraden 7, 1 in kleinen Grenzen hielten, konnte auf eine diesbezügliche Streckenreduktion verzichtet werden. Die Strecken wurden aufgrund der sich aus dem Ausgleich 2a) ergebenden Strecke 7, 11, die als fehlerfrei angenommen wurde ausgleich.



Auf gleiche Weise erfolgte die Bestimmung der Koordinaten der Pfeiler 2, 3 und 4 über die Punkte 1 und 5.

Sämtliche verwendete Ausgleichsprogramme arbeiten nach dem Prinzip des Ausgleiches nach vermittelnden Beobachtungen. Gegenüber der Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen erhöht sich dabei die Anzahl der Bedingungsgleichungen mit der Anzahl der Neupunkte. Die Auflösung der dadurch entstehenden wesentlich größeren Normalgleichungsmatrix bedeutet für eine größere EDV-Anlage jedoch keinerlei Schwierigkeiten. Der Vorteil der rein schematischen Bearbeitung beliebiger Netzkonfigurationen bei der Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen führt trotz erhöhter Anzahl rascher zum Ziel. Jede beobachtete Richtung und jede gemessene Seite bedingen eine Fehlergleichung nach demselben Bildungsgesetz. Die strenge Fehlerrechnung erfolgt mit Hilfe der invertierten Normalgleichungsmatrix.

Vergleicht man die sich aus den Ausgleichen ergebenden Werte mit den vorläufigen Koordinaten, so sieht man, daß die Ausgleichsnahezu die gleichen Ergebnisse liefern. Ich möchte nur deshalb dem Ausgleich 2b) den Vorzug geben, weil hier die lokalen Verhältnisse, die sich beim Ausgleich 2a) ergaben, mit dem Höchstgewicht eingeführt werden konnten.

	Ausgleich 1a)		Ausgleich 1b)		Ausgleich 2b)		Fehler In		1a, 2b		1b, 2b	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y _{mm}	X _{mm}	Y _{mm}	X _{mm}	Y _{mm}	X _{mm}
A	+2737,808	5 339 747,697	,814	,697	,810	,696	+3,1	+2,6	+2	-1	-4	-1
B	+2806,218	5 339 747,711	,227	,712	,219	,711	+3,7	+2,9	+1	0	-8	-1
Pfeiler 1	+2759,972	5 339 706,028	,979	,025	,974	,027	+3,4	+3,2	+2	-1	-5	+2
Pfeiler 5	+2750,958	5 339 726,159	,966	,157	-	-	-	-	-	-	-	-
Pfeiler 7	+2763,124	5 339 759,120	,130	,120	-	-	-	-	-	-	-	-
Pfeiler 11	+2785,334	5 339 771,037	,343	,038	,336	,037	+3,5	+2,6	+2	0	-7	-1

Die mir zugänglichen Netzausgleichsprogramme am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und am Rechenzentrum Graz wurden für spezielle Anwendungen erstellt. Sie stimmen in vielen Details mit meiner zu lösenden Aufgabe nicht überein. (Generelles Gewichtsverhältnis, Seitenlänge, verschiedene Genauigkeitsstufen in den einzelnen Netzbe-
reichen). Aus diesen Gründen habe ich sämtliche mir zur Verfügung stehende Ausgleichsprogramme zur Lösung der Aufgabe eingesetzt, um die oben genannten Unsicherheiten erkennen und verhindern zu können. Wie sich dabei herausstellte, waren die Befürchtungen größtenteils unbegründet, wie die Ergebnisse der voranstehenden Tabelle zeigen.

Der Ausgleich 1b) zeigt etwas größere Abweichungen gegenüber den anderen Ergebnissen, was dadurch erklärlich ist, daß das lokale Netz als starres Gebilde mit dem Hauptpunkt A als Ganzes verschoben wurde.

Insgesamt zeigen aber alle drei Ausgleiche dieselbe Tendenz. Wie aus der bildlichen Darstellung ersichtlich, ergibt sich um einen gedachten Zentralpunkt eine Rotation im Uhrzeigersinn. Diese Verdrehung dürfte ausschließlich auf Einflüsse der verwendeten Punkte des übergeordneten Netzes zurückzuführen sein. (Abb.8)

TRIANGULIERUNG
DACHPFEILER
T H W I E N

NETZÜBERSICHT 1 : 500

VEKTORMASSTAB 1:1

Bewegung der Punkte durch den Ausgleich

Vorl. Koordinaten - Rinner

- Variante 1a)

- Variante 1b)

PFEILER 11

PFEILER 7

PUNKT A

PUNKT B

PFEILER 5

PFEILER 1

SYSTEM
GAUSS-KRÜGER
M 34°

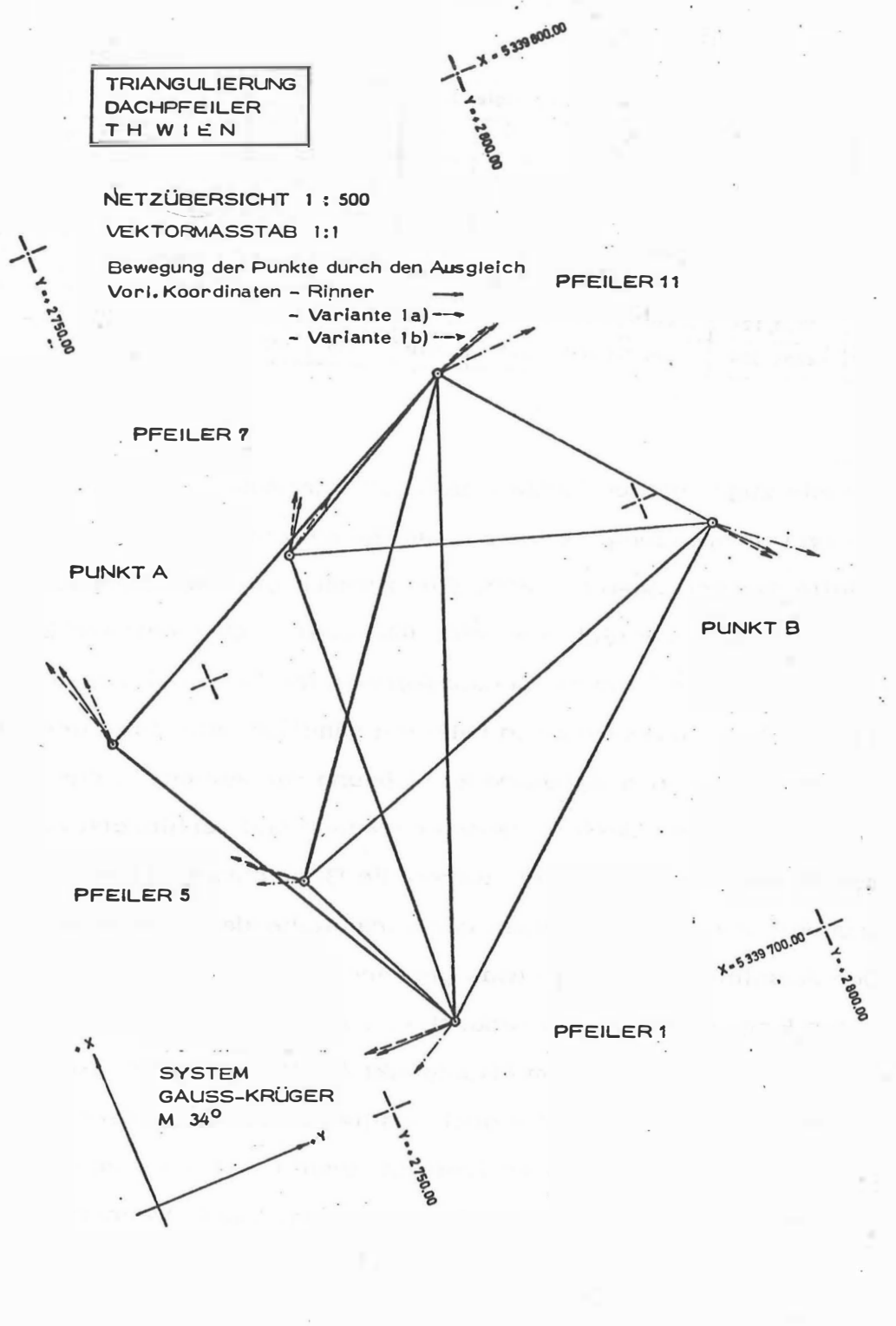


Abb. 8

Aufgrund der guten Ergebnisse, die bei der Bestimmung der Punkte erzielt werden konnten, wurden die ermittelten Koordinaten vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in das Wiener Festpunktnetz übernommen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN:
Richtlinien betreffend vorbereitende Arbeiten für die
elektronische Berechnung von Einschaltpunkten
(UNIVAC 9300)
- HAUER, F.: Triangulierungsarbeiten für den Tunnelbau der
Tauernautobahn (noch nicht veröffentlicht)
- HÖLSCHER, H. D.: Ein Elektrooptisches Kurzreichweiten-Meßsystem
für hochpräzise Entfernungsbestimmung. National Institute
for Telecommunications Research: C. S. I. R.
- HÖRMANNSDORFER, P.: Der Geodimeterinsatz bei der Verdichtung
des Festpunktnetzes im Stadtgebiet von Wien
ÖZfV 57 (1969) Nr. 3, S 74-83
Die polygonale Festpunktverdichtung im Raum Wien
ÖZfV 59 (1971) Nr. 2, S 33-38
- MITTER, J.: Die Prüfbasis Wien - Prater, für elektrooptische Ent-
fernungsmeßgeräte
ÖZfV 56 (1968) Nr. 1, S 1-12
- RINNER, K.: Über die Ausgleichung von Prüfnetzen
Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen
Sonderheft (Festschrift zum 70. Geburtstag von
Prof. Gigas), S 115-131
- TECHNISCHE HOCHSCHULE GRAZ:
Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 7
Geodätische Programme im Rechenzentrum Graz -
Ausgleich eines kombinierten Richtungs- und
Streckennetzes (für Netze aller Ordnungen)
- ZEGGER, J.: Testmessungen mit dem DI 10 Z
ÖZfV 57 (1969), Nr. 5 und 6
Gemeinsame Ausgleichung von Richtungs- und
Streckenmessungen
ÖZfV 52 (1964), Nr. 1, S 24 - 34

Geowiss. Mitt. 3
1974, 142 - 164

FELDMETHODEN DER GEOWISSENSCHAFTEN
(Eine neue interfakultäre Lehrveranstaltung)

von

E. Brückl, E. Korschineck, O. Pregl, G. Riehl-Herwirsch

(Vortrag gehalten am 19. Juni 1974
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing. Dr. Ewald Brückl, Hochschulassistent am Institut für Geophysik,
Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

Dipl.Ing. Erich Korschineck, Wiss. Rat am Institut für Landesvermessung,
Technische Hochschule in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29.

Dipl.Ing. Dr. Otto Pregl, Hochschuldozent am Institut f. Geotechnik u. Verkehrsbau,
Hochschule f. Bodenkultur in Wien 1180, Gregor Mendelstr. 33.

Dr. Georg Riehl-Herwirsch, Hochschulassistent am Institut für Geologie,
Technische Hochschule in Wien 1040, Karlsplatz 13.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Vortrages wird auf eine neue interfakultäre Lehrveranstaltung aufmerksam gemacht, die im Studienjahr 1974/75 erstmals abgehalten wird, wobei in der Form eines einwöchigen Praktikums den Teilnehmern die Feldmethoden der einzelnen Geo-Disziplinen demonstriert und erläutert werden.

Im folgenden referieren ein Geodät, ein Geologe, ein Geophysiker und ein Bodenmechaniker über den Beitrag ihres Fachgebietes zu dieser Zusammenarbeit der Geowissenschaften.

FACHGEBIET GEOPHYSIK

v. E. Brückl

Die Geodäsie vermittelt uns die Geometrie der Oberfläche unseres Untersuchungsobjektes. Die Geologie erfaßt Material und Struktur an der Erdoberfläche, ordnet das Gesehene in ein erdgeschichtliches Bild ein und leitet daraus qualitative Modelle über den inneren Aufbau ab. Ausgehend von den Daten und Erkenntnissen dieser beiden Methoden liefert die Geophysik sodann physikalische Modelle des Untergrundes. Danach folgen die direkten Aufschlüsse, die die bis dahin gewonnenen Informationen ergänzen und Mehrdeutigkeiten in den aufgestellten Modellen beseitigen.

Wir wollen nun am Beispiel unseres Untersuchungsobjektes in der Neuen Welt die eben gezeigte Vorgangsweise weiterverfolgen.

Die ursprüngliche Fragestellung war: Ist an einem nach bestimmten Gesichtspunkten ausgewählten Platz eine ausreichende Fundierung eines Pfeilers für geodätische Messungen möglich? Durch die Arbeit des Geologen konnte diese Fragestellung weiter präzisiert werden und zwar: Wie mächtig lagern die Seetone auf den Gosauschichten und wie ist der felsige Untergrund beschaffen?

Zur Lösung dieser Fragen kamen die Hammerschlagseismik und die Geoelektrik zum Einsatz.

Im folgenden soll die Interpretation der seismischen Messungen genauer betrachtet werden (Abb. 1).

Bei der Hammerschlagseismik werden durch Hammerschläge entlang eines Profils seismische Wellen angeregt, die durch ein am Profilende aufgestelltes Geophon aufgenommen werden. Die Aufzeichnung der durch das Geophon aufgenommenen Schwingungen auf einem Oszillographen wird durch einen Kontakt am Hammer getriggert. Auf dem Bildschirm ist es sodann möglich, die Laufzeiten der seismischen Wellen zu messen.

Das Ergebnis einer solchen, refraktionsseismischen Messung sind Laufzeitdiagramme, in denen die Laufzeiten der ersten Wellen entlang von Profilen aufgetragen werden. Um nun zu einem physikalischen Modell zu gelangen, kann man die unterschiedlichen Steigungen im Laufzeitdiagramm durch Gerade annähern. Jeder Ast des Laufzeitdiagrammes repräsentiert dann eine Schicht mit einer aus der Steigung des Laufzeitastes ablesbaren Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen.

Wie nun Abbildung 1 zeigt, ist eine eindeutige Interpretation durchaus nicht immer einfach. Da infolge von morphologischen Gegebenheiten und Schwankungen

der Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb einer Schicht die Meßwerte immer eine gewisse Streuung um eine mögliche Ausgleichsgerade aufweisen, scheint es aufs Erste nicht klar zu sein, welchem der beiden gezeigten Modelle der Vorrang zu geben ist.

Eine Gegenüberstellung der beiden, aus den verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten resultierenden Modelle über den Aufbau des Untergrundes mit dem Bohrergebnis zeigt (Abb. 2), daß das zweite Modell eindeutig zu bevorzugen ist. Es soll dabei eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 340 m/sec mit der obersten Verwitterungsschicht, 850 m/sec mit den Seetonen und 3 100 m/sec mit dem relativ gering geklüfteten felsigen Untergrund identifiziert werden. Während die Tiefenlage des Felses beim ersten Modell nur 60 % der wahren Tiefe beträgt, ergibt das zweite Modell eine nahezu vollkommene Übereinstimmung.

Wenngleich das Ergebnis wegen seiner Mehrdeutigkeit bis jetzt nicht als befriedigend angesehen werden kann, so ist es bereits in diesem Stand der Interpretation möglich, wertvolle Aussagen zu treffen. Nimmt man das Mittel aus beiden Modellen, so kann die Tiefenlage des Felses mit $5,8 \pm 1,6$ m angegeben werden - d.h. daß eine Fundierung des Pfeilers auf Fels in jedem Fall möglich ist - aus der seismischen Geschwindigkeit im Fels können qualitative Angaben über den Klüftungsgrad gemacht werden und die Auswahl des relativ günstigsten Platzes für die Errichtung des Pfeilers ist möglich.

Wir wollen aber nun einen Schritt weitergehen und Methoden besprechen, mit deren Hilfe die mögliche Vieldeutigkeit geophysikalischer Modelle beseitigt oder wenigstens eingeengt werden kann.

Die einfachste und sozusagen triviale Methode ist das Anhängen geophysikalischer Modelle an Bohrungen. Die Geophysik bietet in diesem Fall die Möglichkeit der Einsparung und richtigen Platzierung von Aufschlußbohrungen und einer flächenmäßigen Erfassung des Untergrundes zwischen den Bohrungen. In manchen Fällen kann das Anschließen an eine Bohrung die einzige Möglichkeit sein, Mehrdeutigkeiten zu beseitigen. Auch dann, wenn hohe Genauigkeiten gefordert werden, wird man auf Bohrungen nicht verzichten.

Die zweite Möglichkeit besteht im Einsatz mehrerer geophysikalischer Methoden, welche verschiedene physikalische Parameter des Untergrundes erfassen. So kann man die seismischen Messungen durch geoelektrische Widerstandssondierungen ergänzen, wie das am Beispiel der Neuen Welt geschehen ist.

Bei der geoelektrischen Widerstandssondierung wird dem Boden über zwei Strom-

elektroden ein Gleichstrom oder ein niederfrequenter Wechselstrom zugeführt. Durch zwei weitere Elektroden wird in der Mitte zwischen den beiden Stromelektroden die Potentialdifferenz über eine bestimmte Distanz gemessen. Die gemessenen Potentialdifferenzen werden sodann mit jenen, die in einem homogenen Halbraum mit dem Widerstand 1 herrschen würden, verglichen. Der Vergleich mit in Tabellen- und Diagrammform vorliegenden durchgerechneten Modellen ermöglicht eine quantitative Auswertung für den Fall eines horizontal geschichteten Untergrundes.

Abbildung 2 zeigt auch ein geoelektrisches Modell des Untergrundes im Bereich der Bohrung. Identifiziert man die schlechtleitende Schicht mit dem felsigen Untergrund, so ergibt sich mit einer Tiefenlage der Felsoberkante von 8,7 m eine eindeutige Favorisierung des zweiten seismischen Modells und eine Übereinstimmung mit dem Bohrergebnis auf etwa 20 %.

Bei der Anwendung verschiedener geophysikalischer Methoden am selben Objekt ist jedoch zu bedenken, daß sich die verschiedenen physikalischen Parameter nicht gleichsinnig und nicht an denselben Horizonten im Untergrund ändern müssen.

Eine dritte Möglichkeit zur Reduktion von Mehrdeutigkeiten in der Interpretation geophysikalischer Messungen besteht in der Erfassung der in einem Gebiet auftretenden Typen von Laufzeitdiagrammen oder Sondierungskurven. In vielen Fällen wird es erst dadurch möglich, zwischen zufälligen und systematischen Details in den Interpretationsunterlagen zu unterscheiden. Mit Ausnahme ganz einfacher Probleme, sollte man von dieser dritten Möglichkeit immer Gebrauch machen.

Dies wurde auch am Beispiel der Neuen Welt getan und es zeigte sich dabei, daß die Interpretation der Laufzeitdiagramme als Dreischichtfall die richtige war. Da sich die Mächtigkeit der Verwitterungsschicht als sehr konstant herausstellte, konnten die Laufzeitdiagramme auch dann als Dreischichtfall ausgewertet werden, wenn der mittlere Laufzeitast gar nicht in Erscheinung trat.

Der letzte Schritt bei der Interpretation geophysikalischer Messungen ist die Korrelation des physikalischen Modells mit der Geologie. Man kann sich hiebei auf Erfahrungswerte von physikalischen Parametern für bestimmte Materialien stützen, oder bestimmte Schichten bis zu Stellen verfolgen, an denen sie anstehen. Im günstigsten Fall wird man sich auf Bohrergebnisse stützen können. Man wird dabei immer das vom Geologen erarbeitete qualitative Bild über den Untergrund vor Augen haben und eine Zusammenarbeit mit dem Geologen ist in dieser abschließenden Phase der Interpretation notwendig.

Am Beispiel der Neuen Welt haben wir mit Hilfe der Seismik und der Geoelektrik

ein sehr häufig auftretendes und sich für den Einsatz dieser Methoden anbietendes Problem untersucht, nämlich die Bestimmung der Mächtigkeit einer Überlagerung über Fels und die qualitative Beurteilung der mechanischen Eigenschaften des Felses.

Ein weiteres, häufig auftretendes Problem ist das Auffinden von Störungszonen im Gebirge unter einer Überlagerung. Hierbei können auch elektromagnetische Meßmethoden, bei denen der Strom induktiv in den Boden eingebracht wird und auch die dadurch entstehenden Potentialdifferenzen induktiv gemessen werden, angewandt werden. Mit Hilfe der Seismik ist die Auffindung und Abgrenzung instabiler Talflanken möglich. Die Wirksamkeit von Bodenverdichtungen und Injektionen kann durch die Änderung der Laufzeiten seismischer Wellen überprüft werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Geophysik liegt in der Hydrologie. Seismik und Geoelektrik ermöglichen dabei die Erfassung der Mächtigkeit von Grundwasserleitern und der Höhe des Grundwasserspiegels. Wegen des hohen Widerstandes von ton- und lehmarmen Schottern kann die Geoelektrik zur richtigen Anlage von Schottergruben dienen. Beim Stollenbau kann die Seismik durch die Messung der Mächtigkeit und Beschaffenheit der Auflockerungsschicht eine wertvolle Hilfe bei der Dimensionierung der Auskleidung sein. Messungen des erdmagnetischen Feldes geben Auskunft über die Mächtigkeit von Sedimenten über einem kristallinen Untergrund. Ähnliche Informationen können auch mit Hilfe der Gravimetrie gewonnen werden. Hohlräume, die nicht wesentlich tiefer als ihr Durchmesser unter der Erdoberfläche liegen, können ebenfalls gravimetrisch gefunden werden.

Abschließend kann gesagt werden, daß die Geophysik immer dann brauchbare Informationen liefern wird, wenn das gestellte Problem in Zusammenhang mit einer Änderung physikalischer Parameter im Untergrund steht. Der Kontrast in den physikalischen Parametern muß dabei ausreichend groß sein und auch die Dimensionen des zu erkundenden Details dürfen im Vergleich zur Mächtigkeit der Überlagerung nicht zu klein sein. Wegen der Möglichkeit einer flächenmäßigen und integralen Erfassung des Untergrundes aber auch wegen der im Vergleich zu den direkten Aufschlußverfahren geringen Kosten, hat die Geophysik in allen, auf dem Gebiet der geowissenschaftlichen Erkundung weit fortgeschrittenen Staaten, einen festen Platz.

Abb. 1: Interpretation von Laufzeitkurven

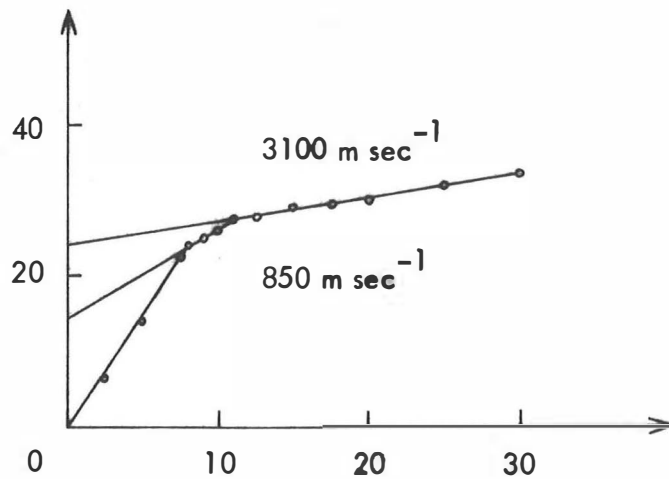
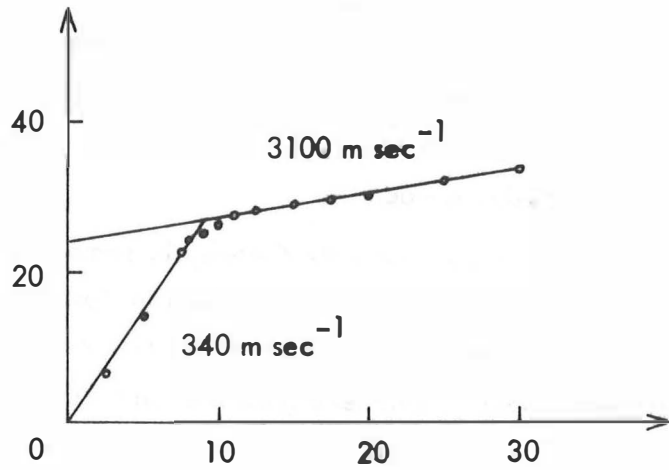
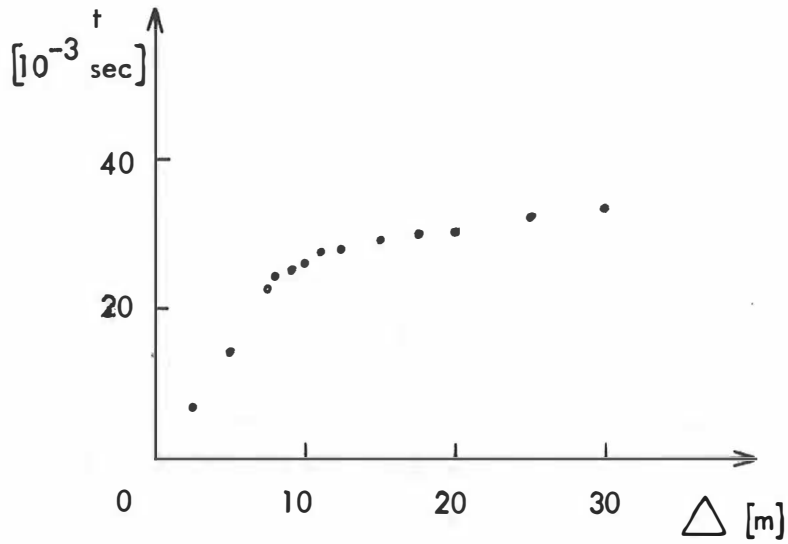
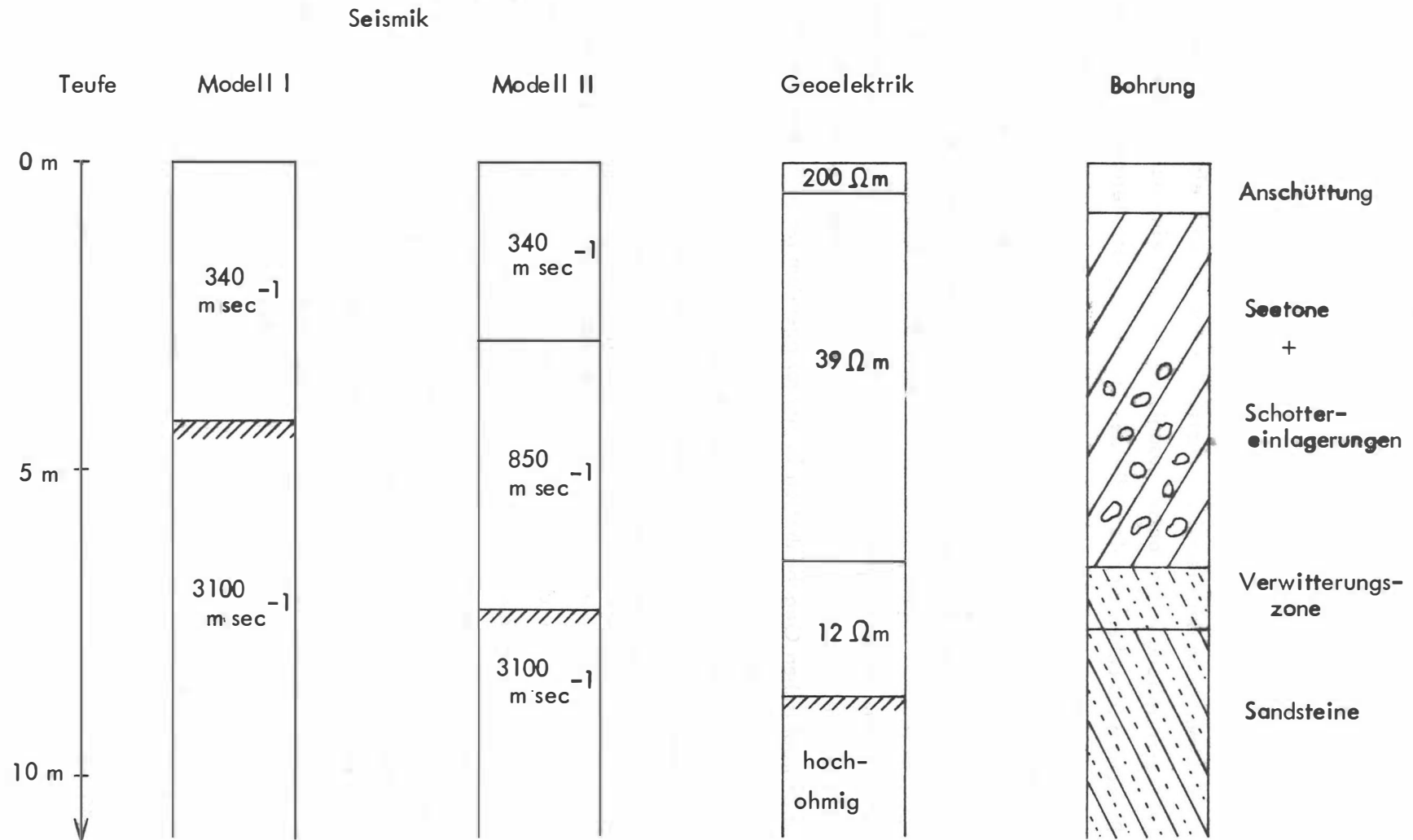


Abb. 2 : Vergleich von geophysikalischen Interpretationen mit dem Bohrergebnis



FACHGEBIET GEODÄSIE

v. E. Korschineck

EINLEITUNG

"Feldmethoden der Geowissenschaften" - unterbetitelt eine neue interfakultäre Lehrveranstaltung. Oder besser gesagt, der Versuch eine neue Lehrveranstaltung in Blockform ins Leben zu rufen, die den Zweck hat, den Teilnehmern zu zeigen, welchen Beitrag die einzelnen Geo-Disziplinen zur Lösung eines Problem es leisten können. Es soll keine dem herrschenden Modetrend folgende Blocklehrveranstaltung sein, sondern eine Woche lebendiger Anschauungsunterricht am Objekt.

Geboren wurde diese Idee vor ca. 2 Jahren vom Kollegen Riehl während unserer Zusammenarbeit am Projekt "Testfeld Neue Welt". Das Institut für Landesvermessung begann damals die Erkundung eines geodätischen Versuchsfeldes im Becken der "Neuen Welt", am Fuße der Hohen Wand. Dieses Gebiet eignet sich durch seine topographischen Gegebenheiten in hervorragendem Maße für ein solches Vorhaben. Nun mußten wir uns aber auch die Frage stellen: Eignet sich auch der Untergrund dazu? - Ist diese Zone auch tektonisch inaktiv? - Welche Schwierigkeiten waren beim Bau der Festpunkte zu erwarten? - Wie tief mußten die Beobachtungspfeiler und die Nebenpunkte fundam entiert werden, um ihre Stabilität zu garantieren?

Um dies zu erfahren, wandten wir uns an das Institut für Geologie der T.H. Wien. Die Kollegen Riehl und Eppensteiner erklärten sich freundlicherweise sofort zur Mitarbeit bereit, ebenso wie Kollege Fross vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik, den wir auf Anraten der Geologen konsultierten. Bei den nun folgenden Besprechungen und der Begehung in der Natur hatten wir alle untereinander echte Verständigungsschwierigkeiten. Jeder gebrauchte extensiv sein Fachvokabular und es dauerte einige Zeit, bis jeder genau wußte, was der andere meinte.

Auf Grund der geologischen Karte und von Aufschlüssen konnten uns die Geologen großräumig über die Untergrundverhältnisse Bescheid sagen.

Konkrete Aussagen über die Mächtigkeit der Schichten, etwaige Einschlüsse oder lokale Störungen an bestimmten Stellen, erforderten aber weitere Untersuchungen. Die Palette der Erkundungsverfahren ist groß und reicht von der Schürfgrube über die Rammsonde und die Bohrung bis zur Seismik. Nun erhob sich die Frage, welches Erkundungsverfahren angewendet werden sollte. Um darüber entscheiden zu können, welches Verfahren im gegebenen Fall am vorteilhaftesten ist, muß man die Vorzüge und Mängel der einzelnen Untersuchungsmethoden kennen. Unsere Diskussion an Ort

und Stelle ließ aber sehr deutlich werden, daß erstens wir Geodäten hier überhaupt nicht mitreden konnten und zweitens Geologe und Bodenmechaniker wohl jeder über seine Verfahren gut Bescheid wußte, aber alle zusammen über die geophysikalischen Untersuchungsmethoden herzlich wenig wußten.

Diesem allgemeinen Unbehagen entsprang nun die Idee der gegenseitigen Information, die ihren Niederschlag in der oben zitierten Lehrveranstaltung fand.

Vollständigkeitshalber möchte ich noch erwähnen, daß wir zur Erkundung des Untergrundes letztlich eine leichte Rammsonde verwendeten, da Probebohrungen aus finanziellen Gründen nicht in Frage kamen und andere Möglichkeiten uns nicht zur Verfügung standen. Die im Schweiß unseres Angesichts gewonnenen Aufschlüsse, setzten nun Geologen und Bodenmechaniker in die Lage, Fundamentierungstiefe und Pfeilerkonstruktion festzulegen. Mittlerweile sind die Bauarbeiten in der "Neuen Welt" abgeschlossen und die Grundlagenmessungen im Gange.

Die Anwendungsgebiete für eine fruchtbare Zusammenarbeit der Geodisziplinen sind vielfältig und spannen sich über einen weiten Bogen. Sie reichen von komplexen Untersuchungen rezenter Erdkrustenbewegungen, über lokale Rutschungen bis zu Bodenuntersuchungen für Bauvorhaben. Aufgabenstellungen in Zusammenhang mit Ingenieurbauten dürften dabei bei weitem überwiegen.

Da der Bauingenieur in diesem Falle, ob als Projektant oder als Bauleiter, die Maßnahmen vorschlägt und koordiniert, ist es von besonderer Wichtigkeit für ihn, daß er zumindest über Grundkenntnisse der Geowissenschaften verfügt. Er muß wissen, wo und wie er die einzelnen Arbeitsmethoden anwenden kann, inwieweit die Verfahren genau sind, welcher Aufwand dafür nötig ist und was er im großen und ganzen von den Untersuchungen erwarten kann. Er muß die gebräuchliche Terminologie kennen, um die Berichte und Ausdrucksweisen richtig zu verstehen.

Aus diesen Gründen wäre der Besuch dieser Lehrveranstaltung den Bauingenieuren besonders zu empfehlen.

Wie sieht es nun in der Praxis aus? - Ich würde sagen, daß die Zusammenarbeit zwischen Bauingenieuren einerseits und Geowissenschaftlern andererseits ganz gut klappt, wenn auch besonders die Möglichkeiten und Methoden des Geophysikers weitgehend noch nicht bekannt und daher auch nicht genützt werden.

BEITRAG DES GEODÄTEN

In diesem Team steht die Arbeit des Ingenieurgeodäten naturgemäß, zumindest

zeitlich gesehen, an erster Stelle.

Es beginnt mit der Schaffung eines dreidimensionalen Bezugssystems als Grundlage für alle weiteren Aufgaben.

Als nächstes wäre zu erwähnen, die Erstellung der topographischen Unterlagen. Je nach Aufgabenstellung schwanken dabei die Maßstäbe von 1 : 1 000 bis 1 : 200 000, je nach dem ob sie für geologische Untersuchungen bei Ingenieurbauten, für geologische Detail- oder Übersichtskartierungen verwendet werden. Je detailreicher der Plan oder die Karte ist, desto leichter kann sich der Geologe im Gelände orientieren und desto genauer seine Wahrnehmungen hinein kartieren. In Österreich wurde der größte Teil der geologischen Karten im Maßstab 1 : 75 000 herausgegeben. Einzelne Blätter im Maßstab 1 : 25 000 . Die Umstellung auf den Maßstab 1 : 50 000 ist gerade im Gange. Je nach Aufgabenstellung werden die topographischen Unterlagen mit Hilfe der Luftbildphotogrammetrie, der terrestrischen Photogrammetrie oder der Tachymetrie erstellt.

Weiters zu erwähnen wäre das Luftbild. Es ist für den Geologen in zweifacher Hinsicht eine wichtige Informationsquelle. Es gibt Auskunft über geologische Befunde an der Erdoberfläche und in den oberflächennahen Schichten, darüber hinaus bildet es eine topographische Unterlage, die weit mehr Einzelheiten enthält als die beste topographische Karte. Sind die Höhenunterschiede nicht zu groß, dann gelingt es auch ohne Entzerrung die geologische Kartierung, etwa mit Hilfe des ZEISS'schen Luftbildumzeichners, vom Luftbild genügend genau auf die Karte zu übertragen. - Bei Gelände mit großen Höhenunterschieden aber kann der Geodät dem Geologen als Kartierungshilfe das Orthophoto anbieten, das durch seine differentielle Entzerrung maximale kartographische Genauigkeit liefert.

Die stereoskopische Bild-Interpretation setzte sich in der geologischen Praxis erst allmählich durch. Die Möglichkeit am Stereomodell mit Hilfe einfacher Höhen- und Profilmessungen - etwa mit dem Spiegelstereoskop oder dem Stereotop - direkt quantitative Daten über Gesteinsmächtigkeiten, Störungen und Schichtenlagerung zu entnehmen, erspart dem Geologen zeitraubende und oft schwierige Messungen im Gelände.

Die petrographische Interpretation des Luftbildes ist durch den unterschiedlichen Ausdruck des gleichen Gesteins an der Oberfläche äußerst schwierig und kann, wenn überhaupt, nur über den Zusammenhang mit der morphologischen Betrachtung zum Ziele führen.

Ein anderer Beitrag wäre die Vermessung der geologischen Profile. Das ist die

Darstellung des Schichtenverlaufes und der tektonischen Linien in der vertikalen Ebene. Bei unzugänglichen Berghängen bietet sich dazu die terrestrische Photogrammetrie an, bei kleineren, schwer zugänglichen Profilen wird man die Vermessung mit topographischen Tachymetern (Doppelbildentfernungsmesser mit Basis im Standpunkt) vom Typ des Teletop oder Todis durchführen.

Vollständigkeitshalber möchte ich auch noch die Einmessung der Bohrlöcher und Sondierungsstellen erwähnen.

Ein weiterer Punkt sind die geodätischen Feinmessungen. Dazu gehören die Beobachtungen rezenter Erdkrustenbewegungen, die Rutschungsbeobachtungen, Deformationsmessungen und Setzungsmessungen. Hier dokumentiert sich die fruchtbare und notwendige Zusammenarbeit augenscheinlich. Lieferte bei den zuerst aufgezeigten Beispielen der Geodät die Grundlagen und die anderen Geodisziplinen arbeiteten dann alleine weiter, so ist hier der dauernde Kontakt notwendig. Es beginnt bereits bei der Auswahl und der Vermarkung der zu beobachtenden Punkte und der Beobachtungsstandpunkte. Der Geologe muß dem Geodäten die geologisch ruhigen Zonen zeigen und ihn über den Untergrund aufklären. Der Geodät wiederum hat nun die Standpunkte, bei Bedachtnahme auf die zur Verfügung stehenden Meßmittel, so auszuwählen, daß bei präziser Messung die Bewegung der zu beobachtenden Punkte möglichst genau erfaßt werden kann. Als Ergebnis liefert er dem Geologen dreidimensional, wenn man die Zeitkomponente mitrechnet, dann sogar vierdimensional, bei Setzungsmessungen natürlich nur zweidimensional, das Verhalten der für das Untersuchungsobjekt repräsentativen Stellen. Die Interpretation des Ergebnisses obliegt dem Geologen und Bodenmechaniker, die auch den Beobachtungsrythmus bestimmen.

Erwähnen möchte ich im Zusammenhang mit Beobachtungen rezenter Erdkrustenbewegungen noch ein weiteres gemeinsames Projekt der Institute für Geologie und Landesvermessung der TH Wien sowie des Instituts für Geophysik der Univ. Wien. Es handelt sich hierbei um das sogenannte "Karawankenprojekt", das im Rahmen des Forschungsvorhabens N 25, Tiefbau der Ostalpen, durchgeführt wird.

Hier sollen die Bewegungen im weiteren Bereich der Peri-adriatischen Störungszone untersucht werden. Die Beobachtungen sollen dreidimensional die Relativbewegungen eines Punktkomplexes mit Punkt-Abständen von 8 - 16 km erfassen. Die Änderungen werden auf den außerhalb der Störungszone gelegenen Plöschenberg bezogen. Die Distanzmessung wird mit einem AGA-Laser Geodimeter, die Richtungsbeobachtung mit einem T 3 durchgeführt.

Dieses Vorhaben stellt den ersten Ansatz dreidimensionaler Untersuchungen rezenter Erdkrustenbewegungen in Österreich dar. Bisher lag ja das Schwergewicht

bei derartigen Beobachtungen auf der Bestimmung der Vertikalkomponente mit Hilfe des Präzisionsnivelements.

Diese kurze Aufzählung der Beispiele erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollte nur zeigen in welchem Maße der Geodät zu dieser Zusammenarbeit beitragen kann.

Abschließend noch ein paar Worte über das Programm der Lehrveranstaltung. Das Praktikum dauert eine Woche und findet Anfang Oktober in der "Neuen Welt" statt. Gezeigt und erläutert werden, neben dem oben besprochenen geodätischen Teil, die Erkundungsmethoden der Geologie, Geophysik und Bodenmechanik.

Im Einzelnen kommen zum Einsatz: Leichte Rammsonde, Flügelsonde, Bohrlochsonde (Fernsehsonde), Isotopsonde (zur Bestimmung des Raumgewichtes und des Wassergehaltes), Hammerschlagseismik, Sprengseismik, Geoelektrik und Geomagnetik.

An dieser interfakultären Veranstaltung beteiligen sich die Institute für Geologie, Geophysik und Landesvermessung der T.H. Wien, das Institut für Geophysik der Univ. Wien, das Institut für Geotechnik der Hochschule für Bodenkultur, die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Herr Dr. Markowetz von der DOKW und die Fa. Insond.

FACHGEBIET BODENMECHANIK

v. O. Pregl

ALLGEMEINES

Im Rahmen der Geowissenschaften sollen die Feldmethoden der Geodäsie, der Geologie und der Geophysik die Geländeoberfläche und den Untergrund erkunden, also die Art und die Eigenschaften der anstehenden Locker- und Festgesteine beschreiben und deren Lage möglichst genau ermitteln und kartieren. Die Bodenmechanik soll alle weiteren Angaben über den Untergrund liefern, welche der Ingenieur bei der Projektierung eines Bauwerkes braucht: Dies sind z.B. Angaben, die erforderlich sind für die Berechnung des Erddruckes auf Wände und Mauern, des zulässigen Sohldruckes von Gründungen, der eintretenden Setzungen von Bauwerken oder für die Berechnung der erforderlichen Böschungsneigungen von Einschnitten und Dämmen. Zur Lösung dieser Aufgaben werden eine Vielzahl von verschiedenartigen Verfahren angewendet, wobei man grundsätzlich zwischen den empirischen, theoretischen und halbempirischen Verfahren und den Beobachtungsverfahren unterscheidet (PREGL, 1973). Alle diese Verfahren arbeiten mit zahlenmäßig festgelegten Kennwerten, die durch Labor- oder Feldversuche zu bestimmen sind.

EMPIRISCHE VERFAHREN

Bei den empirischen Verfahren spielen die Standard- oder Klassifizierungskennwerte eine wichtige Rolle. Diese werden zwar nicht aus Feldversuchen erhalten, wegen ihrer großen Bedeutung sollen sie aber hier erwähnt werden. Außerdem können diese Werte bei ausreichender Erfahrung auch im Feld dem Augenschein nach abgeschätzt werden. Zu ihnen gehören in erster Linie Angaben über die Korngrößenverteilung und bei bindigen Böden die Atterbergschen Zustandsgrenzen. Sie bilden die Grundlage der gebräuchlichen Klassifizierungssysteme (z.B. ÖNORM B 4400). Aufgrund dieser Einteilung ist auch ein zumindest grober Anhaltspunkt über die Größe der anderen, nur mit einem umfangreicheren Arbeitsaufwand zu bestimmenden Bodenkennwerte und über das bautechnische Verhalten des Bodens überhaupt gegeben (vergl. VSS, 1966, S. 162).

Um die Inhomogenitäten und die Schichten des Untergrundes zu erfassen, ist es - in Ergänzung zum geologischen Profil - zweckmäßig, den Verlauf dieser Kennwerte mit der Tiefe darzustellen (Abb. 1).

Mit Hilfe der Bodenklassifizierung kann man aus Tabellen den für Flachgründungen

zulässigen Sohldruck (z.B. ÖNORM B 4430), die erforderliche Böschungsneigung von Einschnitten und Dämmen (z.B. Dt. Ges. f. Erd- und Grundbau, 1962) u.a. entnehmen.

Zu den im Zusammenhang mit den empirischen Verfahren angewendeten Feldversuchen gehört die *Rammsondierung*. In Din 4094, Bl.1, sind zwei derartige Geräte beschrieben: die leichte und die schwere Rammsonde (Abb.2). Sie bestehen aus einem Stab mit einer Spitze, der mit einem Fallgewicht in den Untergrund eingetrieben wird. Der Eindringwiderstand wird in Schlaganzahl pro 10 cm angegeben und in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Tiefe aufgetragen (Abb.3; GRUBER et al., 1974); er ist abhängig von der Geräteart (Abmessungen, Fallgewicht, Fallhöhe) und vom Untergrund (Bodenart, Dichte, Scherfestigkeit, Wassergehalt).

Da bei Verwendung ein und desselben Gerätes der Geräteeinfluß konstant ist, können aus dem Verlauf des Eindringwiderstandes mit der Tiefe Rückschlüsse auf den Aufbau des Untergrundes gezogen werden; nur ist es im allgemeinen nicht möglich, die verschiedenen Einflüsse eindeutig auseinander zu halten. Daher wird dieses Verfahren insbesondere zur Feststellung des Schichtenverlaufes zwischen vorhandenen Bohrungen und Schürfen verwendet. Auch kann es zur Überprüfung der Verdichtung von Schüttungen eingesetzt werden.

THEORETISCHE LÖSUNGSVERFAHREN

Kann eine Aufgabe der Bodenmechanik über eine physikalische Modellvorstellung gelöst werden, so sprechen wir von einem theoretischen Lösungsverfahren. Bei ihrer Anwendung müssen die in den entsprechenden Gln. auftretenden Koeffizienten experimentell bestimmt werden. Dies sind bei Erddruck-, Tragfähigkeits- und Stand sicherheitsberechnungen die Kohäsion c und der Reibungswinkel ϕ , bei Setzungs berechnungen der Steifemodul E_s . Diese Werte werden im allgemeinen durch Laborversuche ermittelt, es gibt aber auch eine Reihe von Feldversuchen, aus denen man Angaben über diese Werte erhält.

Ein Feldversuch zur Bestimmung der Scherfestigkeit von feinkörnigen Böden ist die *Flügelsonde*. Sie besteht aus einem an der Spitze mit vier Flügeln versehenen Gestänge, welches zur Ausschaltung der Reibung von einem Mantelrohr umgeben ist (Abb.4). Das Gerät wird in den Untergrund eingebracht und der Flügel mit einem Hebel verdreht. Die Winkelverdrehung und das Drehmoment werden gemessen. Es ist nicht möglich, die gemessene Festigkeit in einen Reibungs- und Kohäsionsanteil zu zerlegen. Dazu müßten die auf die Zylinderflächen wirkenden Normalkräfte bekannt sein. Da dies nur unter recht ungenauen Annahmen der Fall ist, wird ein eindeutiges

Ergebnis nur in wassergesättigten, wenig durchlässigen Böden bei der Bestimmung der Kohäsion c_u erhalten.

Eines der einfachsten bodenmechanischen Versuchsgeräte ist das Taschenpenetrometer der Fa. SOILTEST. Damit kann die Zylinderdruckfestigkeit von feinkörnigen Böden in Schürfen oder Baugruben unmittelbar bestimmt werden. Es wird ein Stempel von 1/4" Durchmesser bis zu einer Marke (1/4" tief) in den Boden eingedrückt; die Zylinderdruckfestigkeit kann an einer aus Eichversuchen abgeleiteten Skala in kp/cm^2 abgelesen werden. Die Ermittlung einer derartigen Eichskala ist in Abb.5 gezeigt (HARGITAI, 1974). Die Streuungen liegen bei $\pm 15\%$ des Wertes; Ausreißer ergeben sich, wenn dieses Verfahren an nicht umgrenzten Proben oder an Proben mit grobkörnigen Einschlüssen angewendet wird.

Ein Feldversuch zur Bestimmung der für Setzungsberechnungen erforderlichen Kennwerte ist die Probelastung. Dabei wird der Baugrund in der Geländeoberfläche oder in der Sohlfläche von Gründungen mit einer Lastfläche, der Lastplatte, beansprucht, die Belastung in Stufen gesteigert und die Setzung in Abhängigkeit von der Zeit kontrolliert. Die Auswertung erfolgt bei einem homogenen Untergrund mit den in Abb.6 angegebenen Formeln von SCHLEICHER (1926) oder CYTOVIC (1951). Dabei ist w ein von der Form und Steifigkeit der Sohlfläche und von der Tiefe der setzungsempfindlichen Schichte abhängiger Beiwert, F ist die Lastfläche, q_m der mittlere Sohldruck und s die dabei eintretende Setzung. Das Verhältnis $C_b = q_m/s$ wird als Bettungsmodul bezeichnet. Dieser Wert spielt bei einigen erdstatischen Berechnungen eine wichtige Rolle, er darf aber nicht als ein konstanter Bodenkennwert aufgefaßt werden, da er u.a. auch von der Größe der Lastfläche abhängt.

Bohrloch 3

Tiefe Bodenprobe Nr. (m)

Kornverteilung

Atterbergsche Zustandsgrenzen

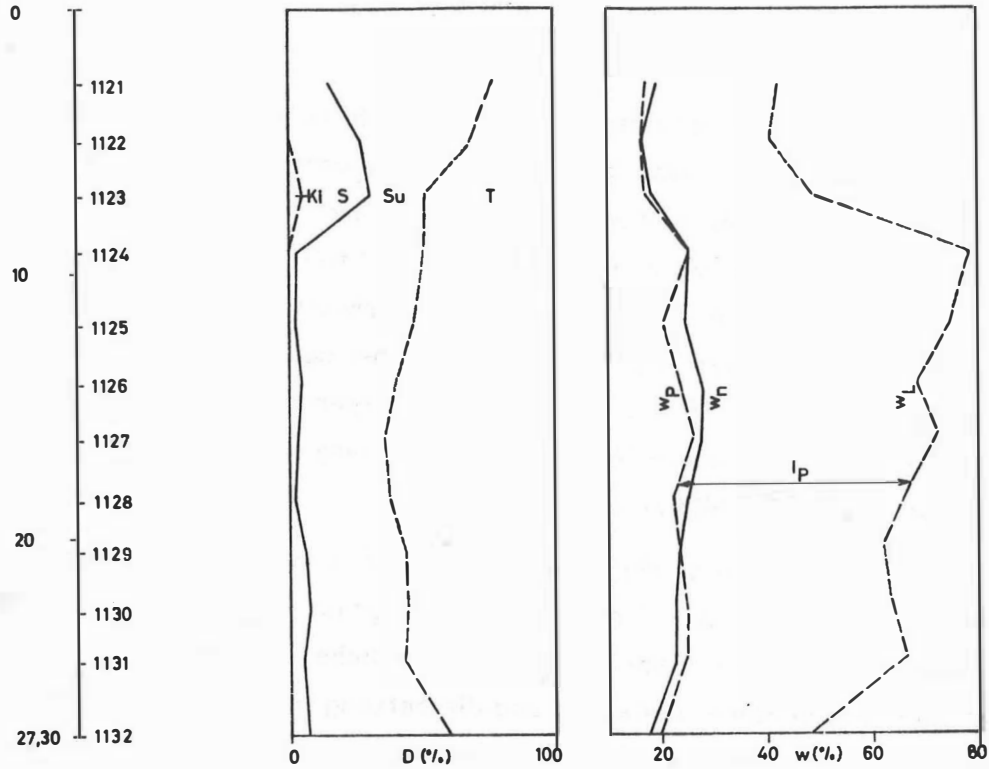
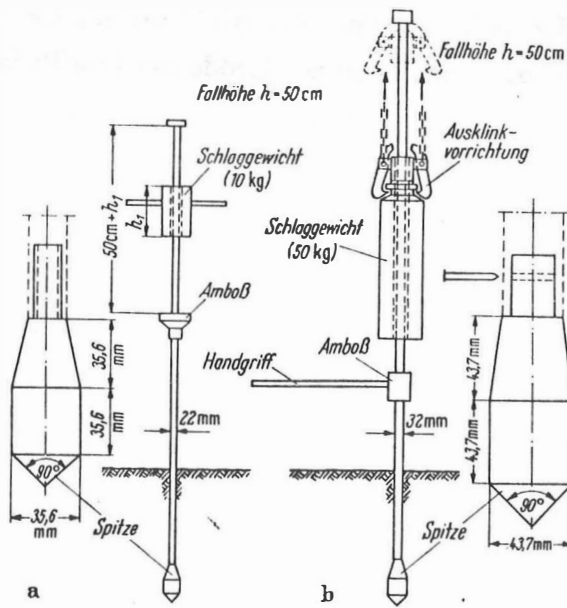


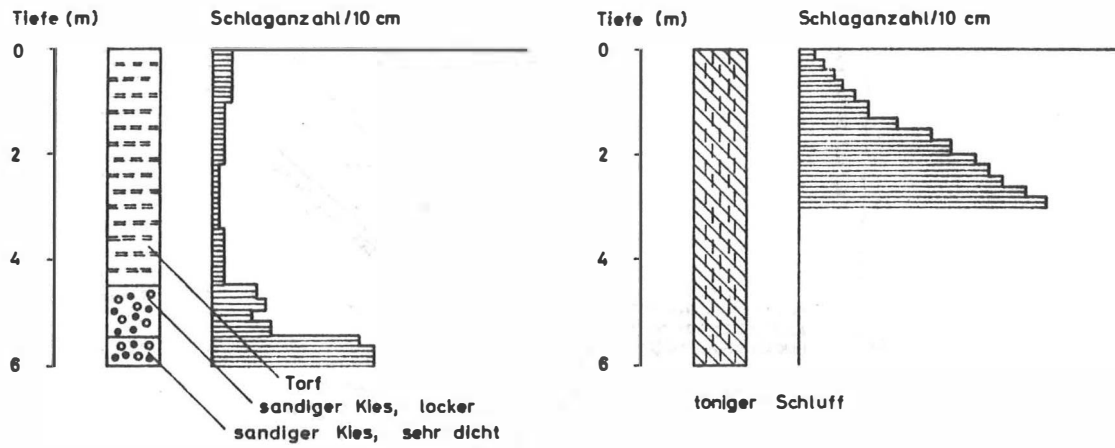
Abb. 1

Kl Kies, S Sand, Su Schluff, T Ton,
 w_L Fließgrenze, w_p Ausrollgrenze, w_n natürlicher Wassergehalt, I_p Bildsamkeit,



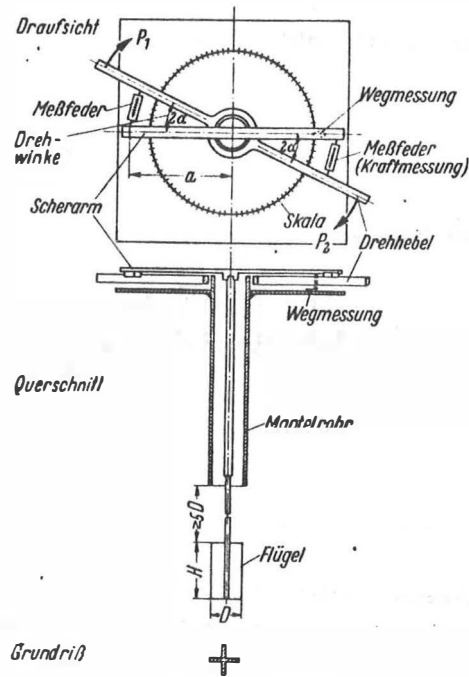
Rammsondengeräte.
 a) Leichte Rammsonde; b) schwere Rammsonde.

Abb. 2



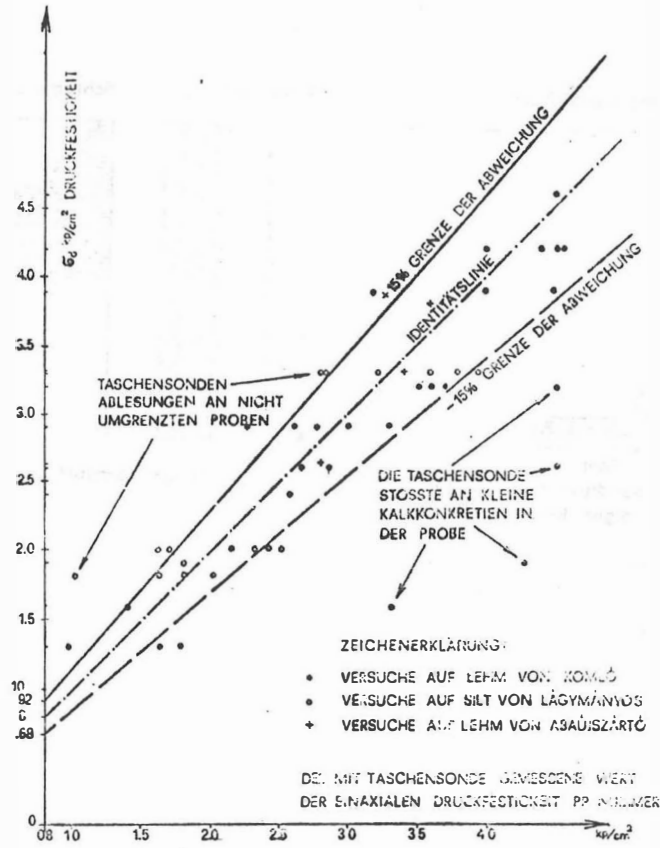
Nach Gruber et al. (1974)

Abb. 3



Prinzip der Flügelsonden.

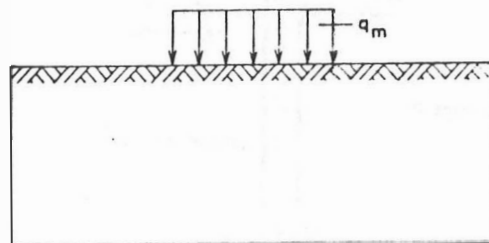
Abb. 4



Nach Hargitai (1974)

Abb. 5

Probelastung



Schleicher (1926): $E_v = \omega \cdot \sqrt{F} \cdot C_b$
 starre Kreisfläche $E_v = 1,40 r \cdot C_b$
 schlaffe Kreisfläche $E_v = 1,77 r \cdot C_b$

Cytovic (1951): $E_s = A \cdot \omega \cdot \sqrt{F} \cdot C_b$

Abb. 6

FACHGEBIET GEOLOGIE

v. G. Riehl-Herwirsch

Bevor hier auf die konkrete Arbeit im Verlauf der Lehrveranstaltung eingegangen wird, einige Worte zur Geologie als Fachrichtung.

Welchen Umfang - welchen Aufgabenbereich muß man ihr zuschreiben? Nimmt man eines der bekanntesten deutschsprachigen Lehrbücher von R. BRINKMANN (Lehrbuch der Geologie) zur Hand, so findet man dort die Geologie als Wissenschaft beschrieben, die als "historisch gerichtete Naturwissenschaft" die der Beobachtung zugänglichen Teile der Erdkruste untersucht. So klar uns heute dieser Satz klingen mag, muß uns doch bewußt sein, wie lange Zeit bereits in ihren Ansätzen erfaßte Erkenntnisse von Lehrmeinungen überdeckt - verdrängt werden konnten.

LEONARDO DA VINCI war wohl der erste, der begonnen hat, in der Erdkruste zu lesen - sie als Dokument der Erdgeschichte zu verstehen. 1669 erkannte STENO das Grundgesetz der geologischen Lagerungsfolge - die primär horizontale Ablagerung der Schichtgesteine mit der sich daraus ergebenden Altersabfolge: Das Ältere liegt tiefer, darüber lagern die jüngeren Schichten. Eine weitere fundamentale Grundlage der heutigen Geologie ist der Akt u a l i s m u s, der im wesentlichen besagt, daß sich die Vorgänge bei der Entstehung des Untergrundes aus geologischer Vergangenheit prinzipiell durch Beobachtung der heute laufenden geologischen Vorgänge erklären lassen. Eng verbunden mit dieser wesentlichen Erkenntnis sind die Namen BUFFON 1749, K.v. HOFF (1822 - 1841) und LYELL mit seinem zusammenfassenden Lehrbuch 1830 - dem endgültigen Durchbruch zu den Naturwissenschaften.

Nach diesem kurzen Blick auf den historischen Werdegang wollen wir wieder bei R. BRINKMANN sehen, zu welchen Betrachtungsschwerpunkten die Entwicklung der Geologie heute geführt hat.

Als Teilgebiete werden unterschieden:

- I Die Allgemeine Geologie - stellt allgemeine Zusammenhänge auf, geht ihren Wechselbeziehungen nach und führt sie auf ihre physikalischen, chemischen und biologischen Ursachen zurück.
- II Die Historische Geologie - verknüpft die Erscheinungen zeitlich und begreift sie als geschichtlichen Ablauf.
- III Die Angewandte Geologie - bringt die praktische Anwendung für Technik und Wirtschaft; sie macht die Erkenntnisse für die Menschen nutzbar.

Diesem dritten Teilgebiet gehört nun der Aufgabenbereich an, der von der Geologie in dieser Lehrveranstaltung bestritten werden soll. Wie schon Kollege KORSCHINECK angedeutet hat, soll hier der Weg gezeigt werden, wie durch ein echtes Zusammenwirken der Erdwissenschaften optimale Unterlagen erarbeitet werden können.

Ausgang und Grundlage ist in unseren Bereichen (Mitteleuropa) meist bereits eine geologische Karte x) 1 : 75 000 (alt) oder 1 : 50 000 (neu, e Serie), seltener 1 : 25 000. Die besonders für die Bautechnik erforderliche Genauigkeit - gerade in den obersten (jüngsten) Schichten ist meist von einer vorhandenen geologischen Karte nicht im erforderlichen Maße zu erwarten. Geologische Karten werden vom Gesichtspunkt der Historischen Geologie erstellt - das Lesen dieser Karten bedarf für den Techniker sozusagen eines "Übersetzers" mit der Fähigkeit, die geologische Entwicklung des betreffenden Bereiches zu erfassen und so alle Möglichkeiten auszuschöpfen.

Als Ausdrucksmittel dienen zur Darstellung auf geologischen Karten:

Die Farbe als Zeichen für gleiches Alter bzw. die allgemeine petrographische Einteilung.

Die Übersignaturen können für die Differenzierung der an sich gleichartigen Gesteine Verwendung finden, also z.B. als Ausdruck der jeweiligen "Fazies".

Fallzeichen geben als dritte Möglichkeit Auskunft über Lagerung und Stellung der Schichten im Raum.

Kaum je, ausgenommen spezielle technisch geologische Karten, wird jedoch der Gesteinszustand - Zerstörung durch Tektonik - durch Hangtektonik - der Verwitterungsgrad usw. auf normalen geologischen Karten berücksichtigt sein. Alle diese Komponenten sind aber in der Baugeologie von entscheidender Bedeutung.

Die Verwendbarkeit, bzw. den Aussagewert einer geologischen Karte kann man am besten beurteilen, wenn man, wie es für diese Veranstaltung vorgesehen ist, selbst versucht, ein kleines Stück zu kartieren, bzw. geologisch aufzunehmen. Erst nach der eigenen Kartierung eines Abschnittes kann ein Benutzer genügend Mißtrauen gegen eine solche geologische Karte bzw. die darin dargestellten Linien und Grenzen, fassen. Natürlich ist eine Karte geologisch deshalb nicht schlecht, sie dient ja vorwiegend der rein beschreibenden Dokumentation einer Abfolge bzw. der Großsituation. (Historische Geologie bzw. Allgemeine Geologie).

x) Die vorliegende geologische Karte des Hohe Wand Gebietes 1 : 25 000 - neu aufgenommen und bearbeitet von B. PLÖCHINGER, erschienen 1964, ist eine besonders detaillierte Aufnahme.

Die Geländeaufnahme für die österreichischen geologischen Karten 1 : 50 000 erfolgte meist im Maßstab 1 : 25 000 und erbringt in der Regel nicht die Genauigkeit der Ausscheidungen wie sie für bautechnische Aufgaben gefordert werden müssen.

In diesem Sinne können für technische Fragestellungen lokale baugeologische Spezialuntersuchungen erforderlich sein. Die Grenzen der angewandten Methoden sind von Fall zu Fall verschieden und müssen für den konkreten Fall immer neu ermittelt werden. Möglichkeiten und Methoden wurden bereits von meinem Vorredner angeführt. Über die Ermittlung, Einsatz und Abwägen der einzelnen Methoden soll im vorgesehenen Praktikum Näheres gebracht werden.

Ein prinzipielles Schema eines derartigen Arbeitsaufwandes könnte, wie folgt, aussehen:

Vorarbeiten

Gemeinsame Vorerkundung, bei der am besten in persönlichem Kontakt mit dem planenden Ingenieur geologisch untragbare oder sofort als extrem schwierig erkennbare Varianten ausgeschieden werden können.

Verarbeitung aller vorhandenen Unterlagen.

(Geologische Karten, Literatur-Arbeiten, Archivmaterial)

Verwertung von Luftbildern, übersichtliche Kartierung.

Übersichtliche Beurteilung der Schwierigkeiten - z.B. Wasserführung in den einzelnen Abschnitten.

Planung von detaillierten Arbeiten - Erstellung der dazu erforderlichen Unterlagen.

Detailuntersuchungen

Gemeinsam mit den Nachbardisziplinen Geophysik und Bodenmechanik/Felsmechanik Bohrungen, Stollen, Schächte usw.

Detaillkartierungen.

Interpretation

In einer dritten Phase wird das erarbeitete Datenmaterial mit den technischen Disziplinen (Bodenmechaniker, Felsmechaniker, Statiker) zur Durchführung der gegebenen Aufgaben verarbeitet.

Für die im Vortrag gebrachte Übersicht der geologischen Situation des Hohe Wand Gebietes soll hier nicht eingegangen werden. Es wird auf das Kartenblatt 1 : 25 000 von B. PLÖCHINGER und die dazugehörigen Erläuterungen verwiesen. Dazu auch: B. PLÖCHINGER 1961, Die Gosaumulde von Grünbach und der Neuen Welt (Nie-

derösterreich mit einer geologischen Karte und Profilen.
Jb. Geol. B. A. Bd. 104 p 359 - 441, Wien 1961.)

Studienrichtung Vermessungswesen der Technischen Hochschule Wien
Geowissenschaftliche Mitteilungen

Bisher erschienen :

- Heft 1 Dez. 1973 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen 1970 - 1973. (vergriffen)
- Heft 2 März 1974 Taschenrechner HP45 und HP65, Programme und Anwendung im Vermessungswesen, von H. Egger, W. Perdich, H. Plach und G. Wagensommerer. Veröffentlichung des Institutes für Allgemeine Geodäsie. Vorstand: o. Prof. Dr. F. Hauer. (vergriffen)
- Heft 2a Juli 1974 Pocket Computer HP65. Programs for Surveying Engineering by H. Egger, W. Perdich, H. Plach and G. Wagensommerer. Members of the Department for Geodetic Surveying. Director: o. Prof. Dr. F. Hauer.
- Heft 3 Sept. 1974 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen 1973/74.

In Vorbereitung :

- Tischrechner Tektronix TEK 31 "Programmbibliothek für den Einsatz im Vermessungswesen". Veröffentlichung des Institutes für Allgemeine Geodäsie. Vorstand: o. Prof. Dr. F. Hauer.
- Die horizontale Isostasie und das isostatische Geoid. Von K. Ledersteger †. Institut für Höhere Geodäsie.