

Studienrichtung Vermessungswesen  
Technische Universität Wien

# GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

Heft 11

Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung  
Vermessungswesen 1974 — 1976

Geowiss. Mitt.,  
11, 1976

Wien, im November 1976

Herausgeber, Verleger und  
presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Doz.Dr.P. Waldhäusl  
Institut für Photogrammetrie der  
Technischen Universität Wien

A 1040 Wien, Gußhausstraße 27-29

Copyright: Alle Rechte bei den Verfassern.  
Einband: Fa. F. Manhardt, Wien  
Offsetdruck: ÖH-TU -Vervielfältigung, Wien

## V o r w o r t

Wir Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen freuen uns, Ihnen wieder ein neues Heft der Geowissenschaftlichen Mitteilungen übergeben zu können. Es enthält die von uns in den beiden letzten Studienjahren im Rahmen unseres Kolloquiums beim Außeninstitut der Technischen Universität Wien, gemeinsam mit dem Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie abgehaltenen Vorträge. Seit 1970 sind nun 35 Vorträge publiziert. Das positive Echo hat uns darin bestärkt, diese Serie fortzuführen. Wir danken allen unseren Vortragsbesuchern für ihre rege Teilnahme und hoffen, daß wir auch in Zukunft Interessantes und Aktuelles beitragen können.

Für die Assistenten

Dr. Peter Waldhäusl

## INHALTSVERZEICHNIS

WALDHÄUSL, P.:	Neue Instrumente für Nahphotogrammetrie	1
PETERS, K.:	Kostendenken im Vermessungs- wesen	31
PERDICH, W.:	Aspekte bei der elektronischen Massenberechnung aus Querprofilen	57
KOHLBECK, F.:	Statistische Auswertung von Kluftmessungen	93
ASSMUS, E.:	Methoden zur digitalen Erfassung der Geländeoberfläche	97
GERSTBACH, G.:	Astro-Geodätische Messungen hoher Genauigkeit mit kleinen Instrumenten	101
HAUSWIRTH, E.K.:	Vermessungen als Grundlage geophysikalischer Aufgaben	117

Geowiss. Mitt.11

1976, 1 - 29

NEUE INSTRUMENTE FÜR NAHPHOTOGRAMMETRIE

von

P. Waldhäusl

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

Doz.Dipl.-Ing.Dr.techn.Peter Waldhäusl, Universitätsassistent  
am Institut für Photogrammetrie, Technische Universität,  
1040 Wien, Gußhausstraße 27-29.

## ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1973 besteht am Institut ein Aufgabenbereich "Nahphotogrammetrie", in dessen Rahmen die vielfältigen Sonderanwendungen der terrestrischen Photogrammetrie bearbeitet werden. Die neuen Aufnahmekammern des Institutes, WILD P 31, P 32, C 40, C 120 und JENA UMK 10/1318 FF sowie das Analogauswertegerät JENA TOPOKART B, deren spezifische Eigenschaften detailliert vorgestellt werden, bilden zusammen mit der neuen Dunkelkammereinrichtung des Institutes ein abgerundetes, modernes und leistungsfähiges System, das zur Entwicklung neuer und Verbesserung alter Technologien herangezogen wird. Bisher wurde vor allem die Hubkannelphotogrammetrie erprobt und verbessert. Eine Reihe von Forschungsaufträgen läßt erwarten, daß die Nahphotogrammetrie zu einem auch wirtschaftlich interessanten Bereich der Photogrammetrie werden wird.

## NEUE INSTRUMENTE FÜR NAHPHOTOGRAMMETRIE

### 1. Die heutigen Aufgaben der Erdbildmessung und etwas Geschichte.

Das Institut für Photogrammetrie hat in der letzten Zeit eine Reihe neuer Instrumente für die Erdbildmessung angeschafft, Aufnahme- und Auswertegeräte. Zusammen sollen alle diese Instrumente ein System bilden, das einen zweckentsprechenden Einsatz in den vielen Arbeitsgebieten ermöglicht, die sich heute der Nahphotogrammetrie eröffnen.

- Baukunst (Fassaden, Innenräume, Denkmalschutz)
- Archäologie (Grabungsvermessung, Rekonstruktionen)
- Architektur (Baulückenvermessung, Modelldokumentation)
- Wasserbau (Identitätsnachweis im Modellbau, Versuchswesen)
- Hochbau (Neubauvermessung, Montagebaukontrollen)
- Straßenbau (Volumsbestimmungen, Hangrutschungen)
- Tunnelbau (Profilmessung, geologische Dokumentation)
- Gerichtsmedizin (Obduktionsdokumentation, Tatortaufnahmen)
- Verkehrsunfallvermessung (Straßenverkehrs-, Flugverkehrsunfälle)
- Montanistik (Tagebau-, Steinbruchvermessungen, Kohlenvorräte)
- Geologie (Streichen und Fallen, Felsdokumentation ..)
- Glaziologie (Geschwindigkeitsvermessungen, Bewegungsstudien)
- Allgemeiner Ingenieurbau (Seildächer, Kraftwerksbau, Brückenbau)

Die Anfragen an das Institut haben sich in den letzten Jahren derart gehäuft, daß es die Nahphotogrammetrie zu einem der Schwerpunkte seiner Forschungs- und Entwicklungstätigkeit erklärt hat. Der Fonds zur Förderung der

Wissenschaftlichen Forschung in Österreich unterstützt die Arbeiten, insbesondere die Aufstellung eines Computerprogrammsystems für die numerische Auswertung allgemein orientierter Meß- oder Amateuraufnahmen.

Zwei weitere Forschungsprojekte, die die Anwendung der Photogrammetrie für Fassadenpräzisionsvermessungen betreffen, sind gerade begonnen worden.

Historisch gesehen war die Entwicklung der Photogrammetrie sehr interessant. Am Anfang - vor etwa 100 Jahren - galt das Interesse zunächst der Architekturbildmessung. Mit der Jahrhundertwende wurde die Photogrammetrie vorwiegend eine fortgeschrittene Tachymetrie zur Geländeaufnahme. Die Lufterkundungserfordernisse in den beiden Weltkriegen förderten die Luftbildmessung. Nach 1945 kam es zu einem Boom ohne gleichen - 58 Luftbildauswertegeräte stehen heute in Österreich. Die Haager Denkmalschutzkonvention und die immer verfeinerten Spezialanforderungen vieler Disziplinen ließen die fast in Vergessenheit geratene Erdbildmessung wieder aufleben : Die Geräteindustrie entwickelte moderne Aufnahme- und Auswertesysteme. Die Erdbild- und speziell die Nahbildmessung ist heute für Hochschulen auch deswegen attraktiv, weil numerische Mehr- und Einbildmethoden sowie immer noch neue Aufnahme- und Analogauswertetechnologien für die Praxis zu entwickeln sind. Im folgenden sollen die neuen Geräte, die das Institut für Photogrammetrie dank der Unterstützung des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung anschaffen konnte, vorgestellt werden.

## 2. Die Aufnahmegeräte:

### 2.1. Die Stereomeßkammern WILD C 120 und C 40.

Die Stereomeßkammern sind Festbasiskammern mit 120 bzw. 40 cm Basislänge.



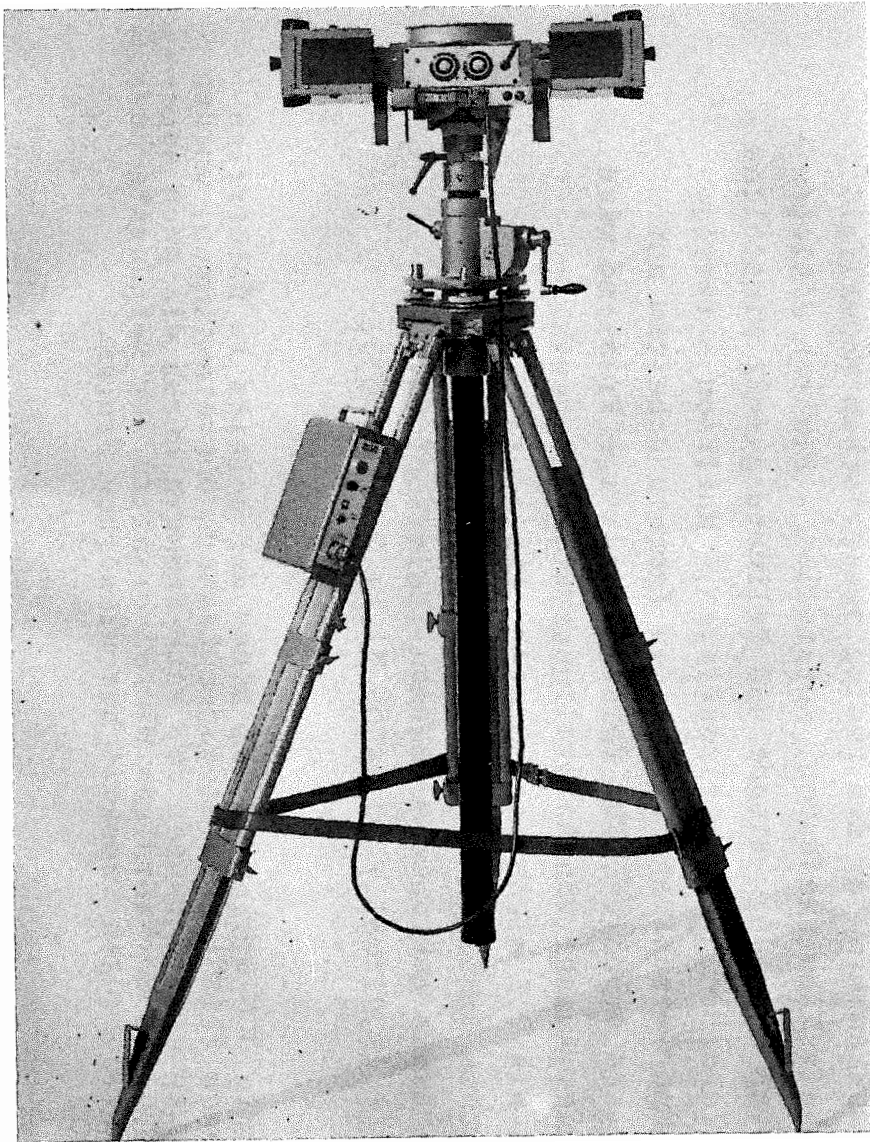


Abb. 1  
Stereomeßkammer WILD C 40

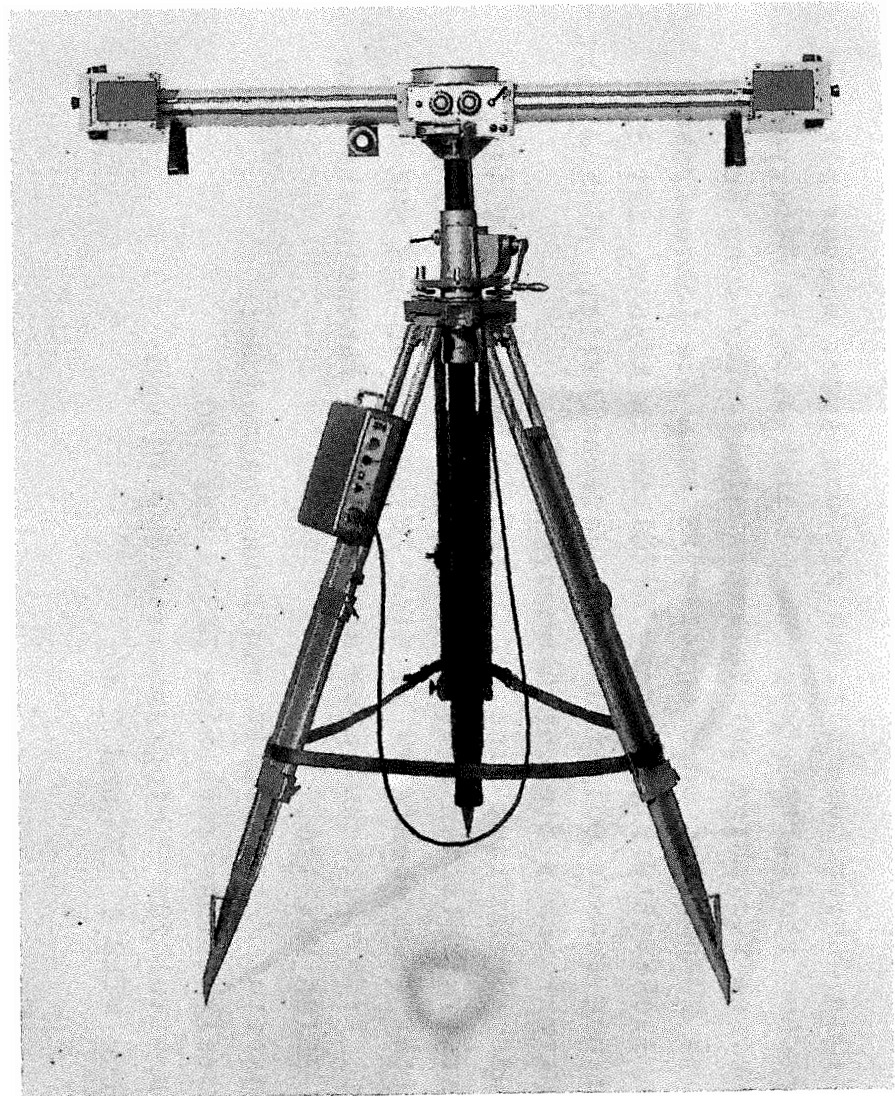


Abb. 2  
Stereomeßkammer WILD C 120

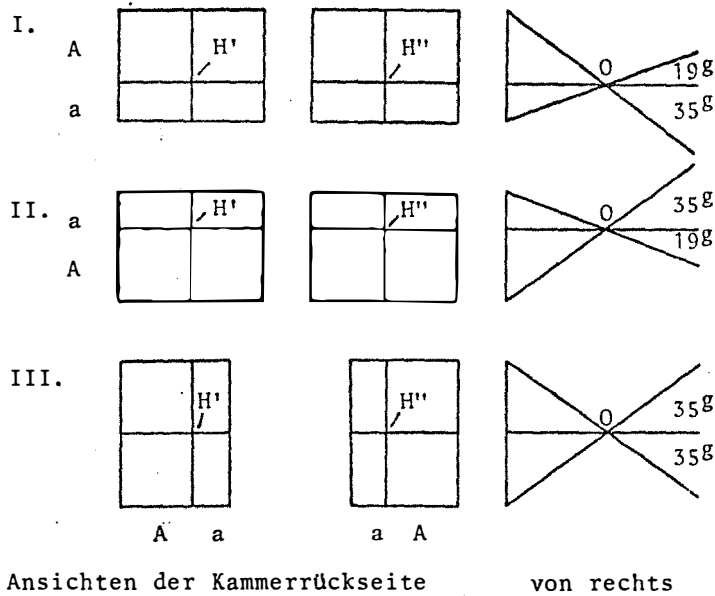
Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns immer wieder mit der forensischen Photogrammetrie. Um endlich auch in Österreich die modernen Verfahren zur Verkehrsunfallvermessung bekanntmachen zu können und um andererseits auch die Lehraufgaben für die Architekturbildmessung erfüllen zu können, ist die Anschaffung dieser beiden Kammer gerechtfertigt. Bisher gibt es in Österreich 8 Stereomeßkammern:

- im Bundesdenkmalamt eine ZEISS SMK 40 und eine SMK 120,
- am österreichischen Archäologischen Institut in der Universität Wien ebenfalls je eine ZEISS SMK 40 und SMK 120,
- in der kriminaltechnischen Abteilung des Innenministeriums eine ZEISS SMK 120,
- am Institut für Baukunst und Bauaufnahmen der Universität Innsbruck eine ZEISS SMK 120,
- am Institut für Photogrammetrie der TU Wien je eine WILD C 120 und C 40.

Da der TU Wien jederzeit die ZEISS-Stereomeßkammern des Bundesdenkmalamtes erreichbar sind, stellen WILD-Kammern für den Unterricht eine größere Bereicherung dar. Die Stereomeßkammern für den photogrammetrischen Normalfall sind einfach zu handhaben. Aufstellen - Platten einlegen - Verschluss spannen - Blende und Belichtungszeit einstellen - orientieren und fein horizontieren - auslösen - fertig. Die Compurverschlüsse der beiden Kammer arbeiten auf  $\pm 1/50$  sec synchron. Für verschiedenartige Probleme wird aus einer Anzahl von Aufstellungsvarianten gewählt: In 1,4 bis 2,5 m Höhe auf Stativ, horizontale oder senkrechte Basis (letztere für "flankierende" Aufnahmen), um die Basis gekippte Aufnahmen (Neigekopf für  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 29,9540^\circ$ ,  $\pm 70,0460^\circ$  x),  $\pm 80^\circ$ ,  $\pm 90^\circ$ ),

<sup>x)</sup> Damit die  $30^\circ$ -Neigungen mit denen der bereits in Österreich vorhandenen ZEISS'schen Stereomeßkammern übereinstimmen, wurden die  $30^\circ$  und  $60^\circ$ -Bohrungen der WILD-Kammern durch die oben angeführten, etwas merkwürdigen Winkel ersetzt. Der Neigungsrechner des Auswertegerätes Topokart hat dieselben Stufen.

normale oder gewendete Bildfeldanordnung wegen eines vorgeplanten, absichtlich 10 mm versetzten Bildhauptpunktes.



P 31 :  $a = 27,5$  mm,  $A = 57,5$  mm  
P 32 :  $a = 20$  mm,  $A = 40$  mm  
C 120 und C 40 wie P 32.

Abb.3.: Schematische Darstellung der möglichen Bildfeldanordnungen für die Kammern mit versetztem Hauptpunkt WILD P31 und P32 (I-III), C40 und C120 (I-II).

Das Hochleistungsobjektiv hat eine Kammerkonstante von 64 mm und liefert bei einer maximalen Verzeichnung von  $\pm 4 \mu\text{m}$  ein flächengewichtetes mittleres Auflösungsvermögen AWAR (Area weighted average resolution) von 90 L/mm über das Bildfeld 60 mm x 80 mm (Plattenformat 65 mm x 90 mm). Die Optik ist auf 10 m bei der C 120 bzw. 2,5 m bei der C 40 fest fokussiert. Wenn die Objektentfernung von dieser Einstellentfernung abweicht, muß man sich - und das ist etwas, was man in der Luftbildmessung nicht braucht - von der Tiefenschärfe in seinem Interessenbereich überzeugen. Die Kammern der Fernbildmessung sind auf  $\infty$  fokussiert, die der Nahbildmessung auf einen endlichen Abstand, der zwischen 1,5 und 100 m liegen kann.

Aufnahmeentfernungen unter 1,5 m gehören bereits zur Makrophotogrammetrie).

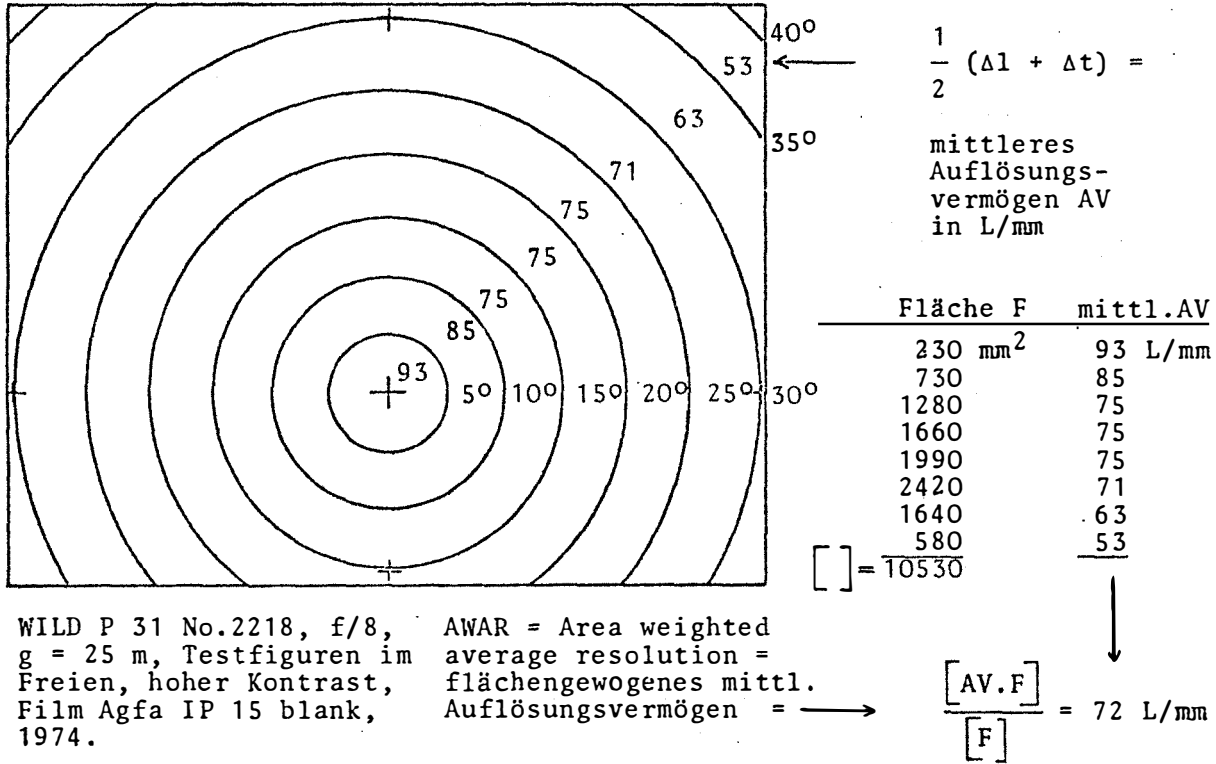
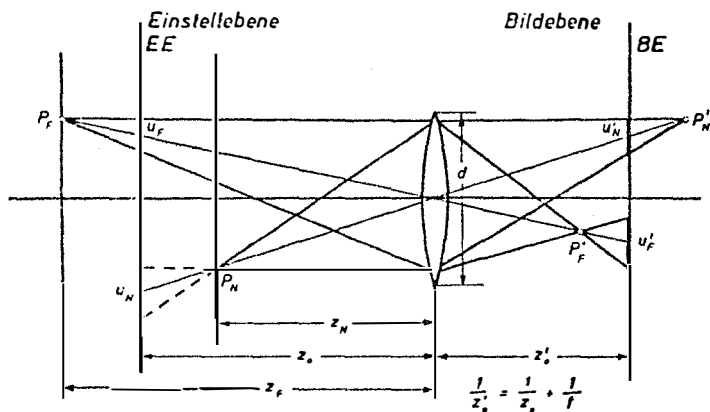


Abb. 4: Zur Erläuterung der A W A R



Beispiel:

- k = 11
- Z<sub>0</sub> = 10 m (C120)
- u' = 20 μm
- c = 64 mm
- Z<sub>N</sub> = 6,5 m
- Z<sub>F</sub> = 21,6 m

Abb. 5: (Aus Jordan Eggert Kneissl, Bd.IIIa, S.83)

Schärfentiefe - Tiefenschärfe:  
 Schärfentiefe ist der Tiefenbereich Z<sub>F</sub> - Z<sub>N</sub>, die Tiefenschärfe wird mit dem maximalen (bzw. maximal zulässigen) Durchmesser des Zerstreuungskreises u' im Bereich (Z<sub>F</sub>, Z<sub>N</sub>) angegeben.  
 Normal gilt: (k = Blendenzahl):

$$Z_0 = \frac{2 Z_N Z_F}{Z_N + Z_F} \text{ und } Z_{N,F} = \frac{Z_0}{1 \pm \frac{u' k (Z_0 - f)}{f^2}}$$

Während man in der Erd- und Luftbildmessung mit Einzelkammern das Basisverhältnis trotz wachsender Aufnahmeentfernung konstant halten kann, verändert es sich bei der Anwendung der Festbasiskammern proportional der Entfernung. Die Entfernungsmeßgenauigkeit nimmt daher mit dem Quadrat der Entfernung ab, was bei der Planung einer stereophotogrammetrischen Nahaufnahme besonders zu beachten ist.

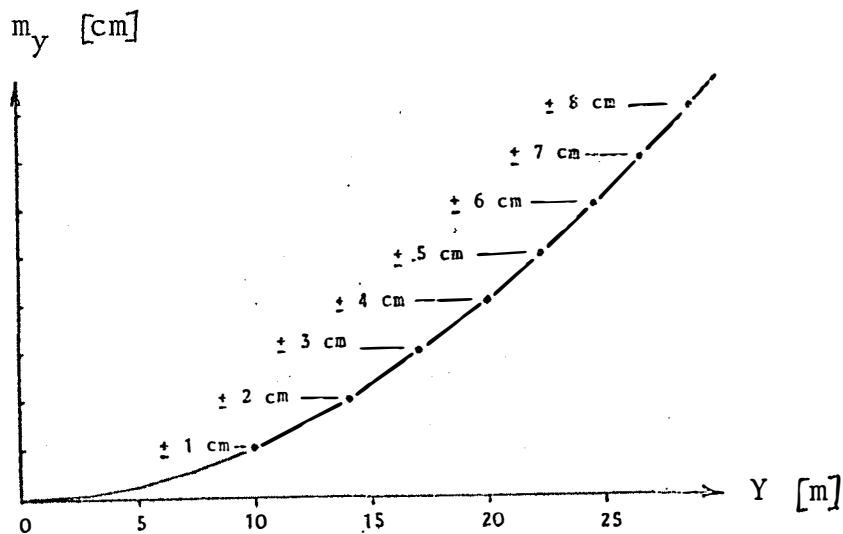


Abb. 6: Photogrammetrische Entfernungsmeßgenauigkeit mit Stereomeßkammer, B = 1,20 m.

$$m_y = \pm \frac{Y^2}{B \cdot c} m_{px} = \pm Y^2 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-6}}{1,20 \cdot 0,064} = \pm Y^2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-5}$$

$$\approx \pm Y^2 \cdot 10^{-4}$$

## 2.2. Die Theodolit-Aufsatz-Kammer WILD P 32.

Die Genauigkeit der Stereophotogrammetrie kann durch Vergrößern der Basis, durch Vergrößern des Bildmaßstabes und durch Verbessern der Aufnahme- und Auswertesysteme gesteigert werden. Mit der WILD P 32 ist in jeder Richtung vorgesorgt worden. In den Dimensionen entspricht die Theodolit-Aufsatzkammer den Kammeren der C 120 bzw. C 40. Bildformat und Kammerkonstante sind gleich. Das Objektiv wurde jedoch verändert. Eine Planplatte mit Einpaßkreuzen wurde in die Optik eingerechnet. Damit

kann die P 32 auch mit Film, dem gewöhnlichen 6 cm x 9 cm Rollfilm, in schwarz-weiß oder Farbe (billig !) verwendet werden.

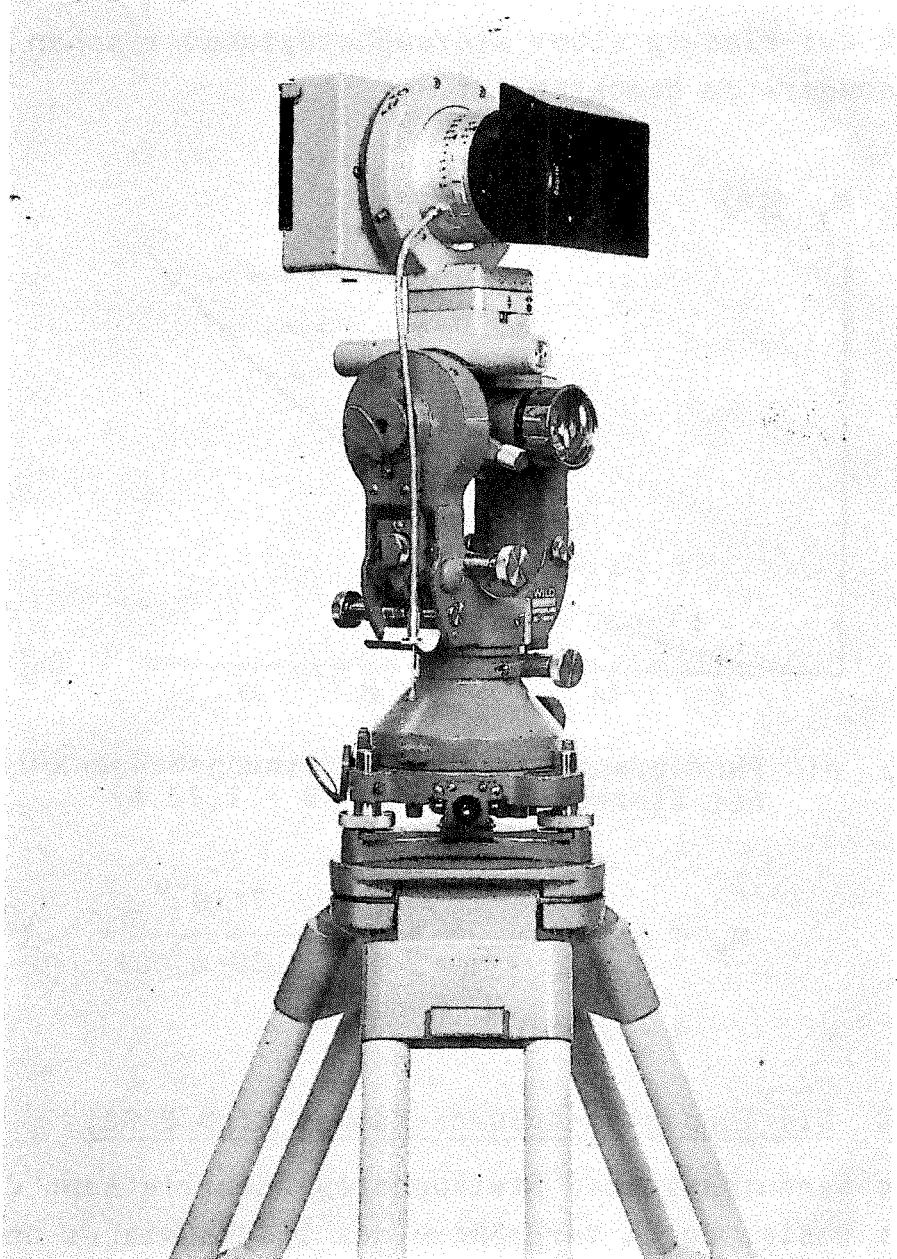


Abb. 7: Aufsatz-Meßkammer WILD P 32

Die Optik ist für das gesamte sichtbare Spektrum wie für das nahe Infrarot farbkorrigiert, hat eine Verzeichnung  $\pm 4 \mu\text{m}$  und bei hohem Kontrast ein AWAR von sogar 90 L/mm. Die Bildfeldanordnung ist, wie bei der C 120, asymmetrisch zur optischen Achse, der Bildhauptpunkt ist wieder um 10 mm gegenüber dem Bildmittelpunkt verschoben. Das kleine, effektiv nutzbare Bildformat von 6 cm x 8 cm kann damit bestmöglich genutzt werden.

Bei der Planung einer Hochformat-Stereoaufnahme muß allerdings beachtet werden, daß die den Stereobereich der Aufnahme beschneidenden Randstrahlen die der kürzeren Bildhalbseite  $a$  sind.

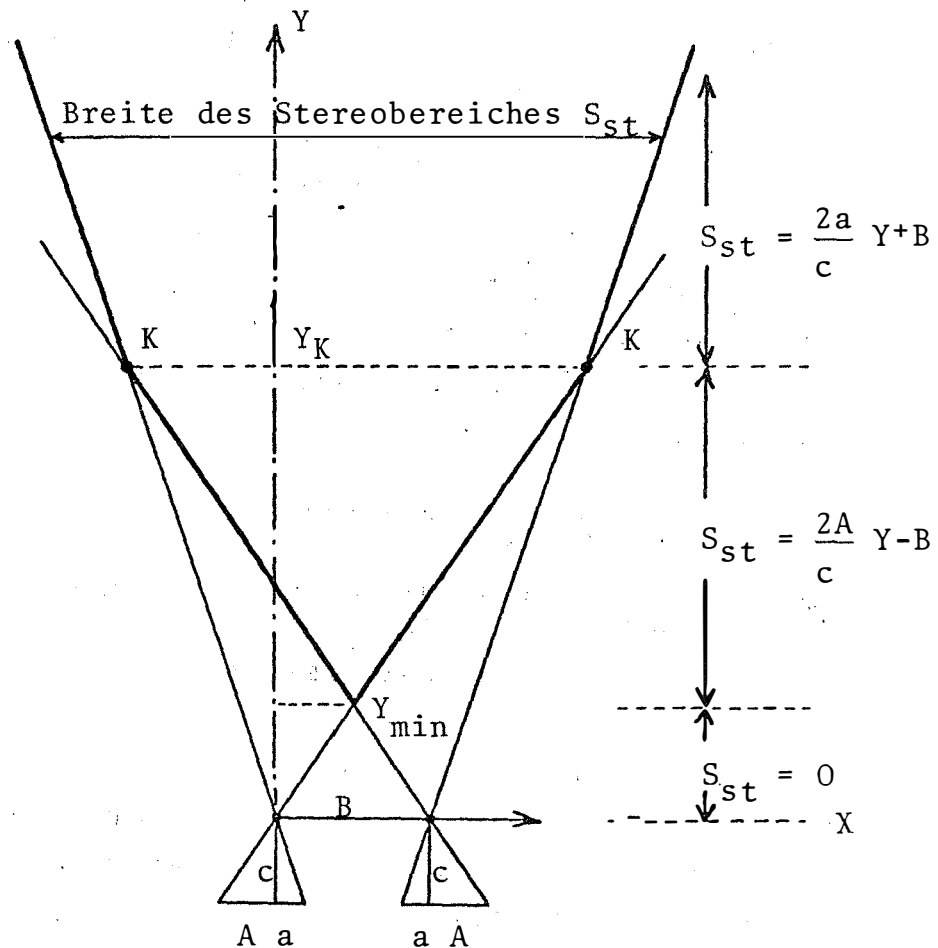


Abb. 8: Stereobereich bei asymmetrischer Hauptpunktlage (WILD-Kammern P 31, P 32, C 120, C 40)

$$Y_{min} = \frac{B \cdot c}{2A}$$

$$Y_K = \frac{B \cdot c}{A-a}$$

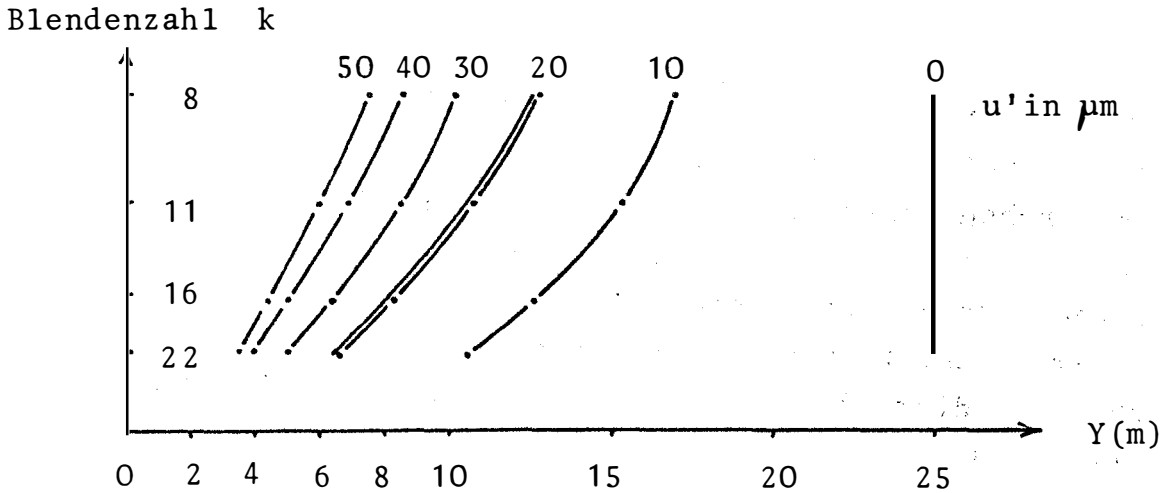


Abb. 9: Zerstreungskreisdurchmesser  $u'$  der Wild P 32  
(  $Z_0 = 25 \text{ m}$  )

Die Optik ist auf eine Gegenstandsweite von 25 m fix fokussiert. Die Schärfentiefe reicht daher praktisch bis zum Unendlichen, die Nahgrenzen können Abb.9 entnommen werden. Die P 32 ergänzt somit die C 40 und C 120 im anschließenden Entfernungsbereich. Da sie mit dem Theodolitfernrohr neigbar ist, erschließt sie vertikal den Höhenwinkelbereich von  $-65,6$  bis  $+69,6^\circ$ , im Ring der später zu besprechenden P 31 sind auch Zenitaufnahmen möglich. Da die WILD P 32 eine echte Vielzweckweitwinkelkamera für Aufnahmeentfernungen ab 10 m darstellt, gibt es davon auch bereits deren drei in Österreich:

beim Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der  
Universität Innsbruck,

beim Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen  
Doz.Dr.Hans Beyer in Villach und

bei uns an der Technischen Universität.

### 2.3. Die Großformat-Präzisionsmeßkammer WILD P 31:

In vielerlei Hinsicht ist die P 31 nur eine vergrößerte Ausgabe der P 32: Fast die gleichen Bildwinkel, exzentrische Hauptpunkt-lage, ins Objektiv eingerechnete Filmanpreßplatte, diesmal aber nur für Planfilm. Das Objektiv hat hervorragende Qualitäten:



Verzeichnung  $\leq \pm 1 \mu\text{m}$ , Fixfokus für 25 m, bei hohem Kontrast beträgt das flächengewichtete mittlere Auflösungsvermögen AWAR 72 L/mm, ein ausgezeichneter Wert für 100 mm Kammerkonstante. Der Schärfentiefenbereich kann durch Austausch von Zwischenringen den Erfordernissen der Praxis angepaßt werden. Aus Abb. 10 erkennen wir die Abhängigkeit des Zerstreungskreisdurchmessers  $u'$  von Einstellentfernung, Aufnahmeentfernung und Blendenzahl. Abb. 10 zeigt aber auch, daß die Firma WILD bei der Planung der serienmäßig lieferbaren Zwischenringe sehr großzügig war, nämlich in dem Sinne, daß sie in den Grenzbereichen bis zu  $30 \mu\text{m}$  Zerstreungskreisdurchmesser zuläßt. JENOPTIK JENA dagegen setzte sich hier engere Toleranzen: Maximal  $15 \mu\text{m}$ , wie aus einem Vergleich mit der Jenaer UMK 10/1318 ersehen werden kann (Abb.11).

$n'(k=22)$  in  $\mu\text{m}$

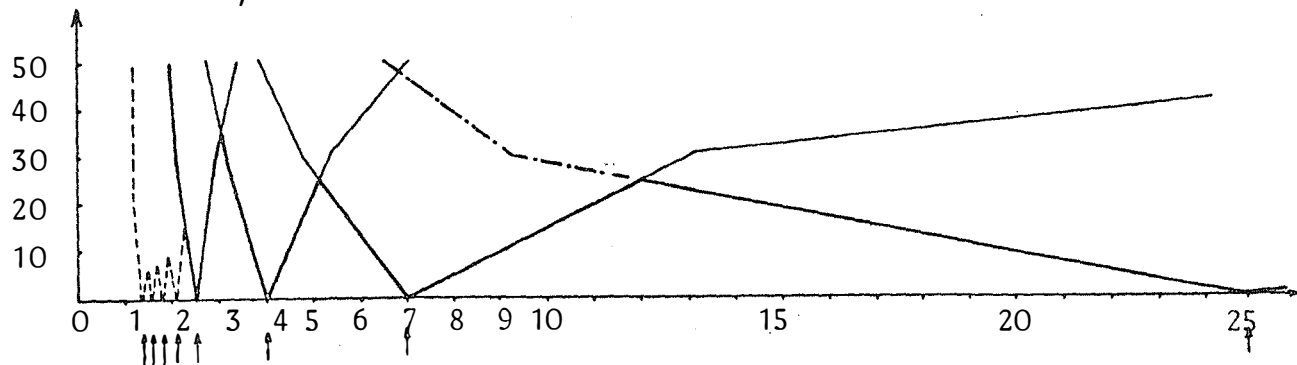


Abb. 10 Schärfentiefe (in m) und Tiefenschärfe (in  $\mu\text{m}$ ) der WILD P 31. Die Pfeile geben die erhältlichen Zwischenringe für die Bildweiteverstellung an.

$n'(k=32)$  in  $\mu\text{m}$

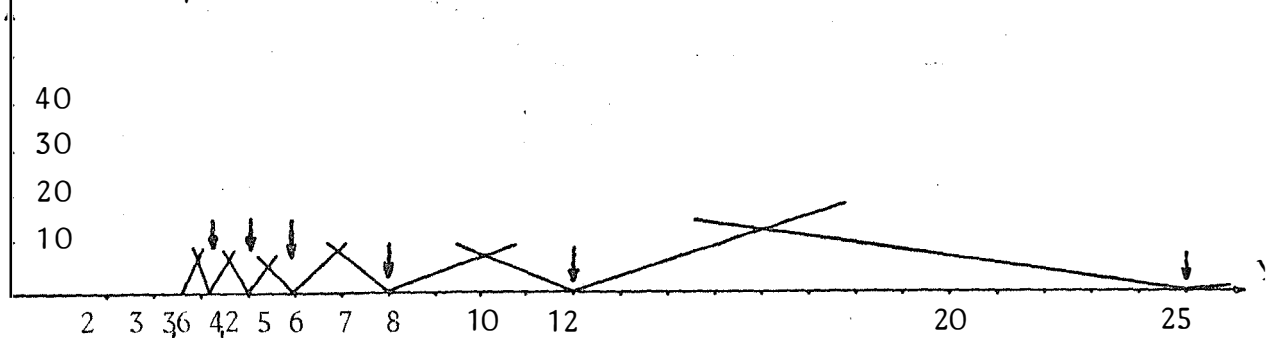


Abb. 11 Schärfentiefe (in m) und Tiefenschärfe (in  $\mu\text{m}$ ) der JENA UMK 10/1318 FF. Die Pfeile geben die vorgesehenen Entfernungseinstellungen der Optik an.

Die Firma WILD Heerbrugg liefert jedoch bei Bedarf sicherlich auch weitere Zwischenringe.

Ganz hervorragend gelöst ist die praktische Handhabung der P 31. Sie zeigt völlig neue Konstruktionsprinzipien in der terrestrischen Photogrammetrie. Es gibt keine Teilkreise mehr sondern nur einige Präzisionsrasten: Kammer aufstellen - Nullraste einfangen - mit dem Orientierungsfernrohr Richtung einstellen. Das ist der ganze Orientierungsvorgang. Auch vertikal wird nicht über Teilkreisablesungen sondern nur noch mit Einraststellen gearbeitet, die mit der 30"-Libelle kontrolliert werden. Der Vertikalbereich der P 31 - siehe Abb. 12 - weist allerdings eine kritische Stelle auf, die leicht durch zwei weitere Rasten gedeckt werden könnte: Die Überlappung zwischen der 30<sup>0</sup>- und der Zenitaufnahme beträgt nur 2<sup>g</sup>, und das ist für Innenraumabwicklungsaufgaben und Hallentriangulationen zu wenig.

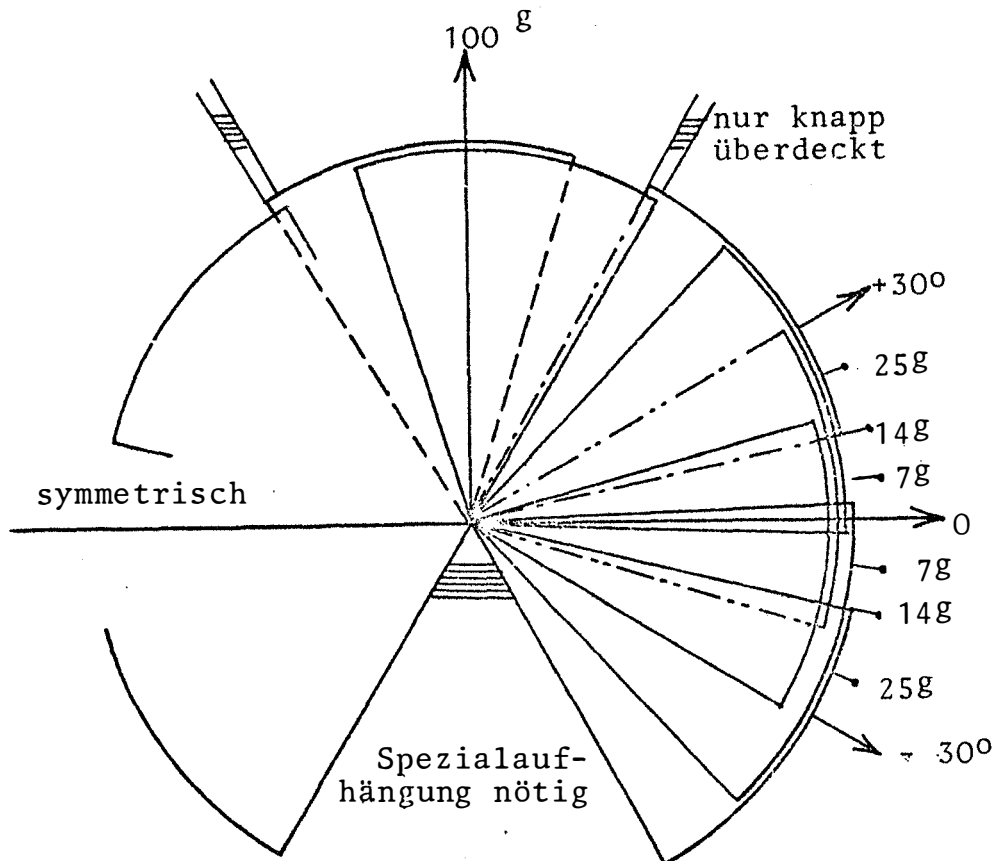


Abb. 12:  
Vertikaler Aufnahmebereich der WILD P 31

Zur WILD P 31 wurden neue Objektivstutzen mit Kammerkonstanten von 45 mm und 210 mm konstruiert, die erstmals beim Internationalen Kongreß für Photogrammetrie 1976 in Helsinki vorgestellt wurden.

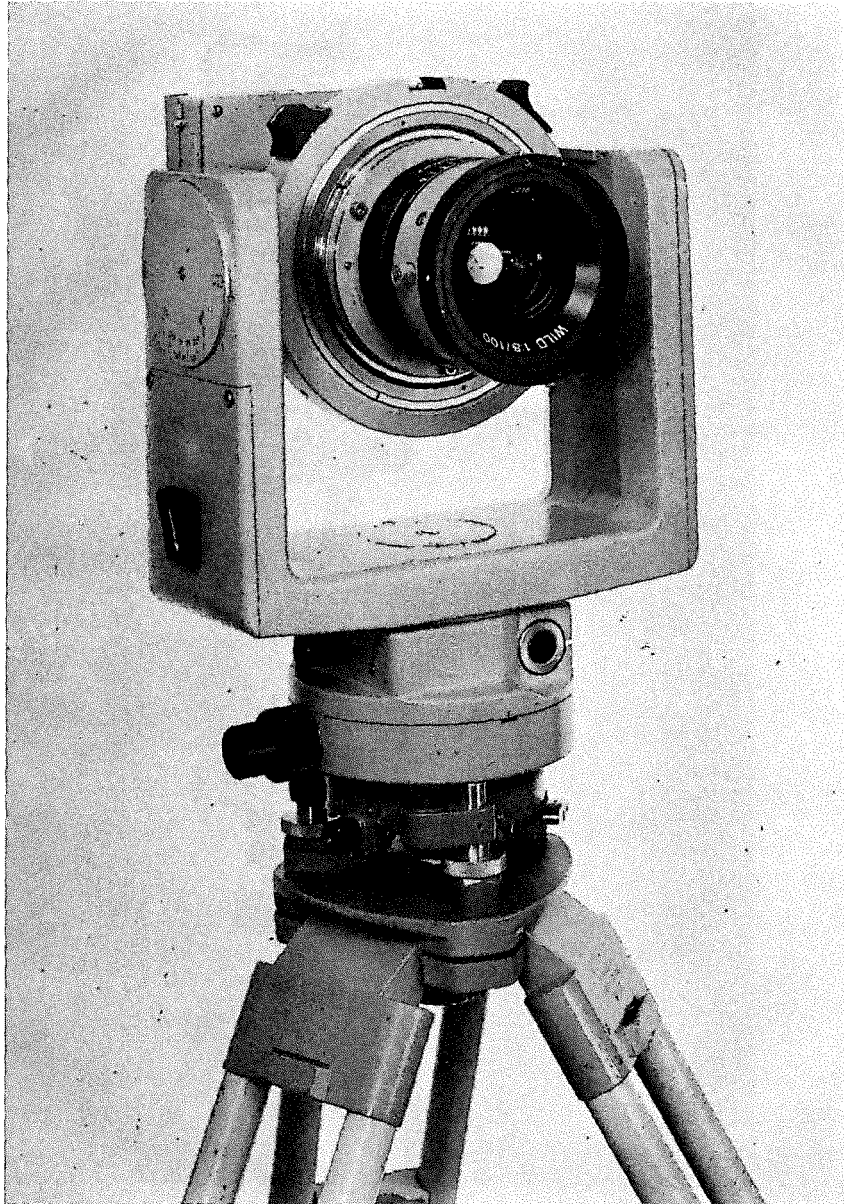


Abb. 13: Präzisionsmeßkammer WILD P 31

2.4. Die fokussierbare Großformat-Nahbereichskammer  
JENA 10/1318 FF

Die beiden Buchstaben FF bedeuten Filmversion und Fernab-  
stimmung. Die Verzeichnung ist für die Abstimmentfernungen  
größer als 3,6 m kleiner als 10  $\mu\text{m}$ .

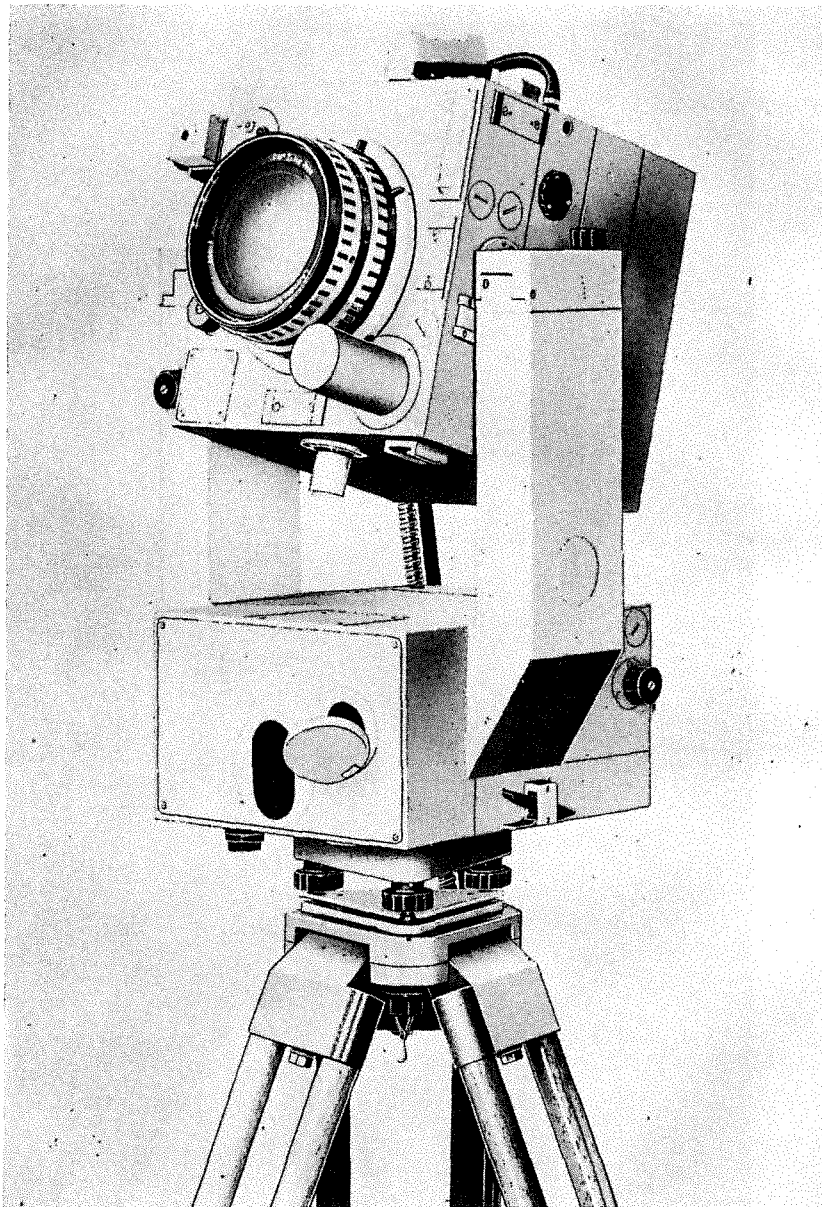


Abb.14: Die fokussierbare Großformat-Nahbereichskammer  
JENA 10/1318 FF mit angesetzter Filmkassette.  
Im Hintergrund ist auch der Vakuumschlauch erkennbar.

Bei der für die Nähe abgestimmten Version ist die Verzeichnung im Bereich 1,3 bis 4,2 m kleiner als  $10 \mu\text{m}$ , wird jedoch größer als  $10 \mu\text{m}$  im "Fernbereich". Die Kammer hat 10 cm Brennweite und ist stufenweise fokussierbar. Die Kammerkonstantenzusätze werden mit abgebildet. Außerdem ist sie kippbar (von  $-33^\circ$  in Stufen von  $16 \frac{2}{3}^\circ$  bis  $+100^\circ$ ). Außer Platten- und Planfilm kann auch ein 9 m langer und 19 cm breiter Rollfilm eingesetzt werden, sodaß pro Film 60 Aufnahmen möglich sind. Die Aufnahmen können präzise mit Intervallen von 3 bis 30 s  $\pm$  10 ms ausgelöst werden, und das eröffnet den Anwendungsbereich der Industriephotogrammetrie. Wir planen damit Anwendungen, die eine Registrierung und Vermessung von Orts- und Formveränderungen in genau definierten Zeitintervallen, sowie solche, die Großformatfarbaufnahmen verlangen. Bedarf besteht hier vor allem im technischen Versuchswesen. Eine fernabgestimmte, nur für Plattenaufnahmen eingerichtete UMK 10/1318 PF befindet sich am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Technischen Universität Graz.

#### 2.5. Die JENA TAN 19/1318

Neben den neuen Kammern bleibt natürlich die gute, alte TAN verfügbar, die mit 19 cm Brennweite eine Normalwinkelkammer darstellt, die allerdings wegen der Verschiebungsmöglichkeit des Objektivs fast eine Weitwinkelkammer ist. Die TAN dient weiter im Übungsbetrieb sowie bei geringeren Genauigkeitsanforderungen. Die TAN gibt es auch an der Technischen Universität Graz und an der Universität für Bodenkultur in Wien.

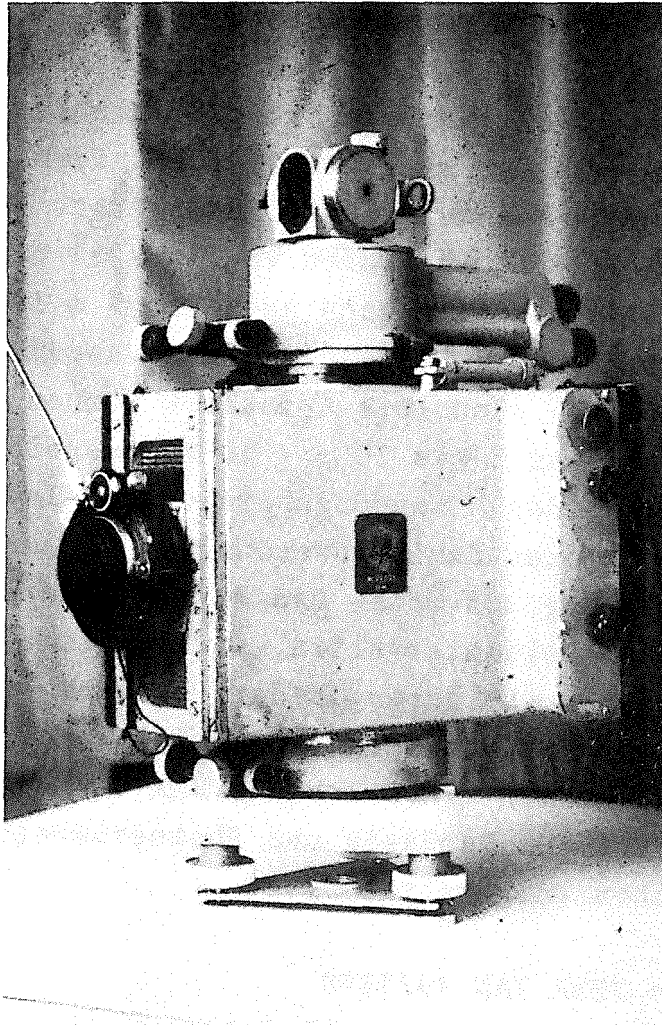


Abb.15: Die terrestrische Meßkammer TAN 19/1318 aus JENA.

## 2.6. Weitere Meßkammertypen in Österreich:

Weitere Meßkammertypen, über die wir in Österreich verfügen, sind:

2.6.1. Die alte T-2- "Untersatz"-Kammer WILD P 30, mit einer Kammerkonstanten  $c = 165 \text{ mm}$ , die in Stufen von  $7^\circ$  zwischen  $-28^\circ$  und  $+7^\circ$  kippbar ist. Sie hat eine Festblende 1:12, ist auf  $\infty$  fokussiert und arbeitet ausschließlich mit Platten  $10 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  im Querformat. Die Verzeichnung ist kleiner als  $\pm 15 \mu\text{m}$ . Eine solche Kammer befindet sich noch im Eigentum der Alpen-Photogrammetrie.

2.6.2. Die Stereomeßkammern der Firma ZEISS SMK 120, SMK 40 und die dazu passende terrestrische Meßkammer TMK 6 entsprechen der Leistungsfähigkeit der WILD-Kammern, haben für manche Aufgaben ein günstigeres Format, nämlich 9 cm x 12 cm Hochformat bei einem Nettobildbereich von 8 cm x 10 cm. Der Hauptpunkt ist zentrisch, bei vielen Aufnahmen erhält man unnötige Bildinhalte, kein Nachteil, eher ein Mangel des kleineren WILD-Formates, wenn man an Nadir-, Zenit- und flankierende Aufnahmen denkt. Dafür hat die WILD P 32 eben den Vorteil, mit handelsüblichen 6 x 9-Filmen zu arbeiten. Es wäre sehr zu hoffen, daß die Stereomeßkammern C 120 und C 40 der P 32 angeglichen werden, denn z.B. für die Polizeiphotogrammetrie wäre die einfache Filmhandhabung ein großer Vorteil. Beim letzten Deutschen Geodätentag sind bereits 2 P 32 an einem Abstandsrohr kombiniert vorgestellt worden.

ZEISS-Systeme gibt es, wie schon erwähnt, im Bundesdenkmalamt, am Österreichischen Archäologischen Institut und in der Kriminaltechnischen Abteilung des Innenministeriums.

2.6.3. Die Terrestrische Normalwinkel-Meßkammer ZEISS TMK 12 entspricht voll der TMK 6, hat nur eine längere Brennweite von 12 cm. Sie dient in der Architekturphotogrammetrie des Bundesdenkmalamtes zur Aufnahme von Türmen oder anderen Objekten in größerer Entfernung.

2.6.4. Für die Hochgebirgskartographie hatte Sebastian FINSTERWALDER 1896 einen "leichten Phototheodolit" konstruiert, der 1926 von Carl ZEISS Jena in verbesserter Form herauskam. Nach dem 2. Weltkrieg ist die TAF (Terrestrische Ausrüstung Finsterwalder) von der Technischen Universität München nochmals in Kleinserie gefertigt worden. 2 Stück davon befinden sich in Österreich: Beim Österreichischen Alpenverein in Innsbruck und am Geographischen Institut der Universität Innsbruck.

Die ganze TAF-Ausrüstung wiegt nur 12 kg, also nur eine Traglast. Die technischen Daten der Kammer sind:

$c_k = 165$  mm, Platten (in Stoffkassetten) 13 cm x 18 cm, Blende fest 1:25, Objektiv verschiebbar mit Tangententeilung für Höhenmessung, Bildfeld  $54^\circ$  horizontal und zufolge der Objektivverschiebbarkeit vertikal  $70^\circ$ , Horizontalkreis an 2 diametralen Kreisstellen ablesbar.

#### 2.6.5. Zusammenstellung der Aufnahmegeräte:

Eine Zusammenstellung aller in Österreich eingesetzten bzw. für uns eventuell in Frage kommenden Aufnahmegeräte ist notwendig, wenn man ein wirklich universelles System aufbauen und ein Auswertegerät für alle österreichischen Meßkammern suchen will. Tabelle 16 zeigt also noch einmal alle besprochenen Kammern und deren wesentlichste Daten.

<u>AUFNAHMEGERÄTE</u>	KAMMER-KONSTANTE (mm)	KLEINSTE BLENDE	KÜRZESTE BEL. ZEIT (sec)	FORMAT (cm)	FOKUSSIER-DISTANZ (m)	OBJEKTIV-VERSCHIEBUNG	KAMMER - KIPPUNG	ZENITAUFG - NAHMEN	FILM	PACKFILM	PLATTE
JENA SMK 40; 120	55	11	1/400	8/ 8	4; 8	.	X	X	.	.	X
WILD C 40 ; 120	64	32	1/500	6/ 9	2,5;10	.	X	X	.	.	X
ZEISS SMK 40; 120	60	11	1/400	9/12	4; 9	.	X	X	.	.	X
JENA TAL	55	25	.	6/ 9	$\infty$	X	.	.	.	.	X
ZEISS TMK 6	60	11	1/400	9/12	9	.	X	X	.	.	X
WILD P32	64	22	1/500	6/ 9	25	.	X	X	X	.	X
ZEISS TMK 12	120	11	1/400	9/12	9	.	X	X	.	.	X
JENA UMK, IMK	100	32	1/400	13/18	var.	.	X	X	X	X	X
WILD P31	100	22	1/500	10/13	var.	.	X	X	.	X	X
WILD P30	165	12	1/500	10/15	$\infty$	.	X	.	.	.	X
JENA TAN	194	25	.	13/18	72	X	.	.	.	X	X
MÜNCHEN TAF	165	50	.	13/18	$\infty$	X	.	.	.	.	X

Tab. 16: Zusammenstellung der wichtigsten Aufnahmegeräte



### 3. Auswahl von Auswertegeräten:

Eine Zusammenstellung der Kenndaten der für Österreich in Frage kommenden Analogauswertegeräte für die terrestrische Photogrammetrie finden wir in Tabelle 17.

Interessant wird aber erst Tabelle 18, die uns zeigt, mit welchen der Auswertegeräte Aufnahmen welcher Aufnahmekammern ohne Kunststücke ausgewertet werden können. Der Normalfall der Photogrammetrie läßt sich auch affin fehlerfrei auswerten d. h., man kann mit längeren oder kürzeren Brennweiten auswerten, als bei der Aufnahme verwendet wurden. Aber schon bei leicht parallel-verschwenkten oder gekippten Aufnahmen können Schwierigkeiten auftreten.

Die Normalfall-Modellkoordinaten werden zwischen Modell und Zeichentisch mit Zahnrad-Getriebeneigungsrechnern in das Auswertekoordinatensystem transformiert. Zahnrad-sätze gibt es aber nur für ganz bestimmte Neigungswinkel. Eine Differenz, falls vorhanden, muß mit den Kammerdrehungen, also mit dem Modell im Auswertegerät korrigiert werden.

Von den nach Tabelle 18 verbleibenden drei Möglichkeiten scheidet für uns der Technokart aus, weil die kleinen Kammerneigungen  $\varphi$  und  $\omega$  weggelassen worden sind. Und die braucht man. Warum? Erstens müßten sonst die Neigungsrechner für jede mögliche Kammerneigung Zahnrad-sätze aufweisen und zweitens könnte keine dreidimensionale Präzisionsauswertung von nicht zugänglichen Fassaden vorgenommen werden, da die Basis immer streng parallel zur Fassade sein müßte. Die Entscheidung zwischen den letzten beiden in Frage kommenden Auswertegeräten Topokart B aus Jena und dem Planimat aus Oberkochen ist aus finanziellen Gründen für den Topokart B ausgefallen.

AUSWERTEMÖGLICHKEITEN  
(ohne Affinauswertung)

		AUFNAHMEGERÄTE												
		JENA SMK 40, 120	WILD C 40, C 120	ZEISS SMK 40, 120	JENA TAL	ZEISS TMK 6	WILD P 32	ZEISS TMK 12	JENA UNK, IMK	WILD P 31	WILD P 30	JENA TAN	MONCHEN TAF	
AUSWERTEGERÄTE	ZEISS TERRAGRAPH			X		X								
	WILD A 40	X	X				X							
	JENA AUTOGRAPH 1318									X	X	X		
	ZEISS C 8							X	X	X	X	X	X	
	WILD A 7							X	X	X	X	X	X	
	JENA STEREOMETROGRAPH							X	X	X	X	X	X	
	KERN PG 3							X	X	X	X	X	X	
	WILD A 10							X	X	X	X	X	X	
	JENA TOPOKART	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	JENA TECHNOKART	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ZEISS PLANIMAT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 18: Auswertemöglichkeiten (ohne Affinauswertung).  
Mit einigen Auswertegeräten können nicht alle  
verschiedenartigen Aufnahmen ausgewertet werden.

AUSWERTEGERÄTE								
Wesentliche Parameter für die terrestrische Photogrammetrie								
	$c_k$ (mm) von...bis	Y (mm) von...bis	+ by (mm)	$\Delta\varphi$ $\Delta\omega$	$\Omega$	auch Film	auch Aero- phot-	Bild- for- mat (cm)
ZEISS TERRAGRAPH	52... 67	60...610	.	.	X	.	.	9 x 12
WILD A 40	54...100	40...440	25	.	X	X	.	8 x 8
JENA STEREOAUT.1318	157...198	50...400	30	.	X	X	.	13 x 18
ZEISS C 8	in Stufen	170...605	20	X	.	X	X	in Stufen
WILD A 7	98...215	140...490	27	X	.	X	X	23 x 23
JENA STEREOMETROGRAPH	85...310	135...350	15	X	X	X	X	23 x 23
KERN PG3	84...310	255...660	50	X	.	X	X	23 x 23
WILD A 10	85...308	130...450	35	X	.	X	X	23 x 23
JENA TOPOKART	50...215	70...320	15	X	X	X	X	23 x 23
JENA TECHNOKART	50...215	35...350	15	.	X	X	.	23 x 23
ZEISS PLANIMAT	55...310	40... <sup>ck+</sup> 310	42	X	X	X	X	23 x 23

Tab.17: Zusammenstellung der verfügbaren Analogauswertegeräte und ihrer  
wesentlichsten Parameter für die terrestrische Photogrammetrie.

Die wesentlichsten Merkmale des Topokart B und seine wichtigsten technischen Daten seien hier kurz zusammengestellt: Der Topokart B ist ein topographisches Auswertegerät für Kartierungen in großen, mittleren und kleinen Maßstäben. Hauptanwendungsgebiet ist die Auswertung von Einzelmodellen zur Erstellung neuer Kartenwerke bzw. zur Laufendhaltung bereits vorhandener Karten. Auswertbar sind Meßbilder mit Nadirdistanzen bis zu  $7^{\circ}$  und den verschiedensten Formaten bis 23 cm x 23 cm. Diese können als Negative oder Positive sowohl auf Glas als auch auf Film und Papier vorliegen. Der große Kammerkonstantenbereich  $c_k = 50$  mm bis  $c_k = 215$  mm ermöglicht die Auswertung von Überweitwinkel-, Weitwinkel- und Normalwinkelmeßbildern ohne zeitaufwendige Umrüstungen des Gerätes. Das Verhältnis vom Bild- zum Kartenmaßstab kann zwischen 0,1 bis 10-fach gewählt werden.

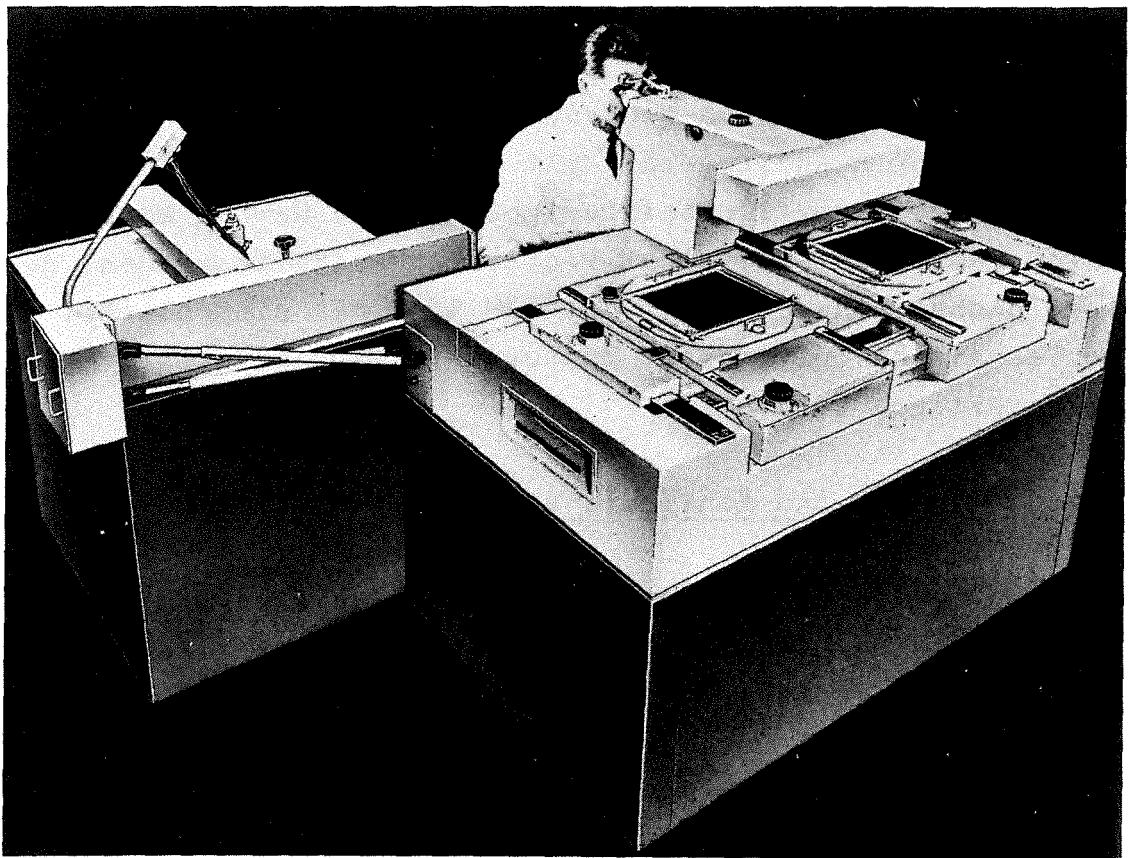


Abb. 19: JENA Topokart B

Entsprechend den normalen Anforderungen bei der terrestrischen Photogrammetrie wurde ein größerer Zeichentisch mit einer Zeichenfläche von 90 cm x 120 cm angeschafft. Der Z-Bereich des Auswertegerätes ist derart, daß bei einer Auswertung von Gebirgsmodellen keine einschränkenden Faktoren auftreten.

Die Verbindungsgelenke zwischen dem X- und Y-Handrad sowie der Fußscheibe und den einzelnen Spindeln sind untereinander vertauschbar, sodaß auch terrestrische Meßbilder ausgewertet werden können. Die Kartierungen können sowohl im Grundriß als auch im Auf- oder Seitenriß erfolgen. Weitere Risse werden durch den Anschluß eines Neigungsrechners an die Achsen der einzelnen Koordinatenrichtungen ermöglicht. Mit dem Topokart B können wir also praktisch alle graphischen Auswertungsaufgaben der Photogrammetrie lösen, im Falle der terrestrischen Photogrammetrie haben wir nur in einem Punkt Schwierigkeiten: Die Basiskomponente  $bz = \pm 20$  mm ist etwas zu klein.

Unter den Analoggeräten gibt es bisher leider überhaupt kein einziges Auswertegerät, mit dessen Hilfe alle Aufgaben der Nahphotogrammetrie befriedigend gelöst werden könnten. Hierzu müßte ein Analytical Plotter angeschafft werden, der einen Rechner in der Größe der IBM 1130 mit einschließt. Die Technische Universität Hannover verfügt bereits über ein derartiges Gerät.

#### 4. Zur Planung und Kontrolle nahphotogrammetrischer Aufgaben:

Bei der Planung nahphotogrammetrischer Projekte sind gegenüber der Luftbildmessung einige Parameter zusätzlich zu berücksichtigen; es gibt natürlich auch solche, die wegfallen. In Tabelle 20 sind einige dieser unterschiedlichen Planungsparameter zusammengefaßt. Zu beachten sind auch die Unterschiede bei den Paß- bzw. Kontrollpunktmessungen.

NAHBILDMESSUNG	FERNBILDMESSUNG (* = Luftbildmessung)
$c_k = c_\infty + \Delta c(Y_0)$ Tiefenschärfe Schärfentiefe	$c_k$ - -
Objektbewegung	Kammerbewegung *)
Normalfall streng	Normalfall genähert *)
Neigungsrechner	-
Auch Stereomeßkammern $B = \text{const} \rightarrow$ $m_y = \pm Y^2 \frac{m_{px}}{B \cdot c} = \alpha_s Y^2$	Nur Einzelmeßkammern $\frac{Y}{B} = \text{const} \rightarrow$ $m_y = \pm Y \cdot \frac{Y}{B} \cdot \frac{m_{px}}{c} = \alpha Y$
Äußere Orientierung kann bekannt sein	Äußere Orientierung ist unbekannt

Abb. 20: Charakteristische Unterschiede zwischen Nah- und Fernbildmessung.

	ERDBILDMESSUNG	LUFTBILDMESSUNG
Äußere Orientierungselemente	sind meist bekannt	sind meist unbekannt
Modelldeformationen	Einflüsse 1.Ordnung zufolge $d\gamma, d\varphi, db$ müssen kontrolliert werden: 1 Paßpunkt nah } $X_c$ 1 Paßpunkt fern } 1 Paßpunkt links } $Y_c$ 1 Paßpunkt rechts }	Einflüsse 1.Ordnung fallen bei absoluter Orientierung weg. Die Glieder 2.Ordnung sind kleiner als die Meß- genauigkeit.
Einpaßmittel	Vollpaßpunkte XYZ Lagepaßpunkte XY Höhenpaßpunkte Z Strecken Höhenunterschiede Rißpaßpunkte YZ Rißpaßpunkte X Z X Y Lote (Dachlot WILD) Horizontale Parallele Rechte Winkel Meßplatten, ebene oder räumliche Paßpunktfiguren	Höhengleichen an Seeufern
Paßpunktskizzen	Polaroidaufnahmen und ev. Skizzen	Arbeitskopien und Skizzen, PUG-Stiche.

Abb. 21: Charakteristische Unterschiede bei der Orientierung von Erd- bzw. Luftmeßbildern.

Tabelle 21 stellt diesbezüglich Erd- und Luftbildmessung einander gegenüber. Während in der Luftbildmessung fast immer über Paßpunkte absolut orientiert wird, wonach nur noch kleine, nicht mehr meßbare Anteile der Modelldeformation übrig bleiben können, wirken sich in der Erdbildmessung Meß-, Orientierungs- und Instrumentalfehler der äußeren Orientierung voll aus, wenn deren Elemente in der Natur bestimmt werden und ohne Kontrollpunkte gearbeitet wird. Zur Vermeidung störender Auswirkungen wird in der Terrestrischen (Nah-) Photogrammetrie mit vereinfachten Hilfsmitteln gearbeitet: Mit Rißpaßpunkten, Loten, Horizontalen, Parallelen und mit rechten Winkeln. Häufig genügt es, Meßplatten oder sogenannte Paßpunktfiguren bekannter Dimensionen mit aufzunehmen, um die Fehlergrößen erster Ordnung zu beherrschen. In der Architekturbildmessung hat es sich etwa als äußerst praktisch herausgestellt, zwei hochgelegene, markante Kontrollpunkte abzuloten und damit eine Vertikalebene zu definieren. Der Abstand der Lotpunkte kann zur Maßstabskontrolle verwendet werden. Zum Abloten selbst wird von uns ein Dachlot WILD verwendet, eventuell in eine Stativausnehmung gestellt zur ruhigeren Feinlotfindung. Die Paß- bzw. Kontrollelemente werden während der Feldarbeit in Polaroidaufnahmen festgehalten.

## 5. Einige Beispiele praktischer Anwendungen:

5.1. Hubkanzelphotogrammetrie: Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde von Herrn Friedrich Waschak und der Firma ROST eine Kammerbefestigung für Hubkanzeln verschiedener Typen entwickelt. Damit können wir nun auch genäherte Nadirstereo-aufnahmen aus "größeren" Höhen (z.Zt. bis 25 m Schwebhöhe über Grund erprobt) für die Vermessung stark frequentierter Kreuzungen, komplizierter Geleiseanlagen, größerer Rohrleitungssysteme, archäologischer Grabungs-

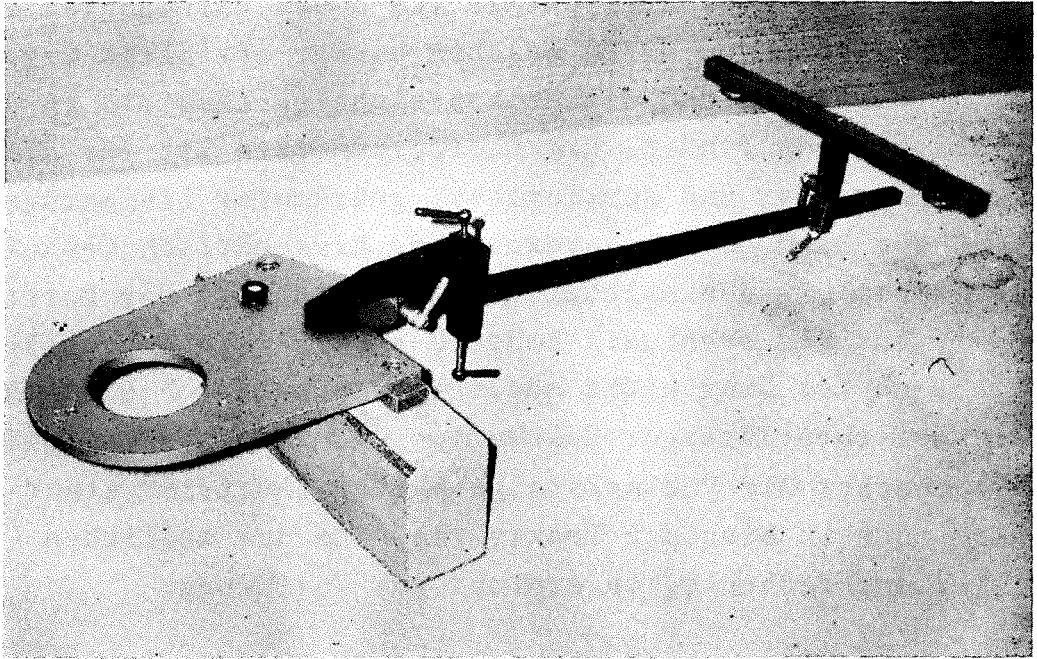


Abb. 22: Halterung für die Stereomeßkammern von WILD (C 120, C 40) zur Aufnahme aus Gelenksteigerkanzeln nach F. Waschak.

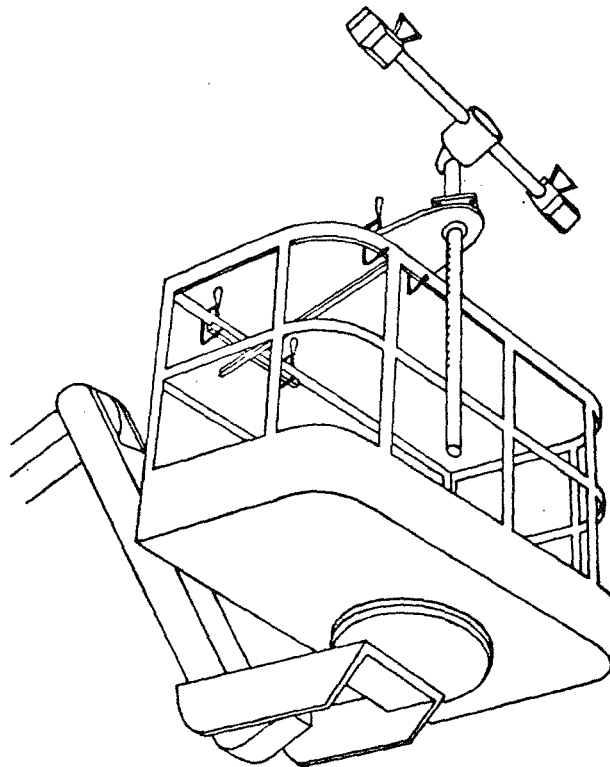


Abb. 23: C 120 auf Gelenksteigerkanzeln montiert.

stätten, aber auch horizontale von hohen Fassadenteilen usw. ausführen. Die von Herrn Waschak bisher erzielten Ergebnisse lassen erwarten, daß die Hubkancelphotogrammetrie in die Praxis Eingang findet. Die Photogrammetrie ist für die Aufnahme vieler und schwieriger, gekrümmter Linienzüge auf engem Raum der Bodenvermessung hinsichtlich Genauigkeit gleichwertig und hinsichtlich Verläßlichkeit der Darstellung überlegen. Die eventuell höheren Kosten (ein genereller Vergleich ist hier nicht möglich) werden durch die Schnelligkeit der zuverlässiger dokumentierenden Aufnahmen teilweise wettgemacht. Die "Gelenksteigerphotogrammetrie" steht damit auch in Wien der Praxis als eine der möglichen Vermessungstechnologien erprobt zur Verfügung.

#### 5.2. Aufnahme archäologischer Grabungsstätten:

Während der letzten Feldübungen zur Photogrammetrie wurden z.B. oben auf dem Pfaffenberg bei Bad Deutsch-Altenburg die Grabungsstellen des Österreichischen Archäologischen Institutes photogrammetrisch aufgenommen. Die Auswertungen sind zur Zeit in Arbeit. Es handelt sich um das bisher vermißte Capitol von Carnuntum, um den Tempel der kapitolinischen Trias Jupiter, Juno und Minerva.

5.3. Das letzte der gotischen Giebelhäuser der Wiener Altstadt befindet sich bereits im Besitz eines Abbruchunternehmens. Das Institut für Baukunst und Bauaufnahmen hat uns gebeten, dieses Haus "Zum Alten Jordan" am Judenplatz photogrammetrisch aufzunehmen. Die Arbeiten wurden mit Studenten der Architekturbildmessung im vergangenen Jahr durchgeführt.

#### 5.4. Lichtprofilmessungen für den Tunnelbau.

Sowohl Dr. Otepka vom Institut für Photogrammetrie als auch Dozent Dr. Beyer, Villach, haben während des letzten Jahres Tunnelprofilmessungen mit einer WILD P 32 ausgeführt. Dr. Beyer hat dafür einen eigenen starken Lichtrotor ent-



wickelt, der sich in der Praxis ausgezeichnet bewährt haben soll. Dr. Otepka hat in Wien in einem Fußgängertunnel mit dem einfacheren Lichtrotor der Magistratsabteilung 41 gearbeitet, die ihn uns dankenswerterweise zur Verfügung gestellt hat. Die Profilauswertungen können mit jedem Entzerrungsgerät, Vergrößerungsgerät, falls die Bildebene hinreichend parallel zur Lichtebene orientiert werden konnte, oder Analogauswertegerät graphisch oder numerisch vorgenommen werden.

#### 5.5. Anwendungen im Hochbau.

Das Institut für Photogrammetrie hat einen Auftrag erhalten, einen Neubau zu Kontrollzwecken äußerst präzise zu vermessen. Die Baufirma hat unsere Ergebnisse nachgemessen und konnte in keinem Fall einen Fehler größer als 2 cm finden (P32).

5.6. Die P 32 ist auch für glaziologische Messungen in Österreich eingesetzt worden. Das Institut für Kartographie arbeitet an einem Forschungsprojekt "Untersulzbachkees", an dem sich auch das Institut für Photogrammetrie mitbeteiligt. Im Sommer haben wir die Feldarbeit für einen Vergleich der Leistungsfähigkeit der TAF mit der P 32 für Gletscherbewegungsmessungen abgeschlossen. Die Ausarbeitungen sind derzeit im Gange.

5.7. Im Auftrag des Institutes für Geologie hat das Institut für Photogrammetrie vor der Abtragung der beiden Stadtbahnstationen Karlsplatz die Deformationen der Carrara-Marmorplatten photogrammetrisch festgehalten. Es ist nicht ganz klar, ob diese sehr groben Plattenverbiegungen durch Temperaturspannungen oder durch langsame Gebirgsdruckentspannungsvorgänge im Platteninneren verursacht worden sind.

Geowiss. Mitt.11

1976, 31 - 55

KOSTENDENKEN IM VERMESSUNGSWESEN

Von

K.PETERS

Vortrag gehalten am 12.März 1975  
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten  
der Studienrichtung Vermessungswesen

Univ.Doz.Dr.Kornelius Peters, Universitätsassistent am  
Institut für Landesvermessung der Technischen Universität Wien  
1040, Gußhausstraße 27-29

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Zusammenhang mit dem Kostendenken als Entscheidungshilfe werden erwähnt: die Stellung des Vermessungswesens in der Wirtschaft; einige kostenrelevante Probleme der Vermessungspraxis; Elemente der Kostenrechnung; Verfahren der Unternehmensforschung, welche bei Entscheidungen des Vermessungsbetriebes eingesetzt werden oder eingesetzt werden könnten.

Es wird festgestellt, daß die Ablaufplanung, wo sie bei uns überhaupt eingesetzt wird, kapazitäts- und nicht kostenorientiert wirkt. Wegen unserer Betriebsgrößen und -strukturen sowie der mit großer Streuung wahrscheinlichkeitsverteilten, schwierig zu abstrahierenden Betriebsprobleme scheint der Einsatz strenger Operations Research-Methoden größtenteils noch nicht rationell. Empirische Kostenrechnung und Betriebsorganisation wurde vor allem von Seiten der Photogrammetrie sehr erfolgreich betrieben. An strengen Verfahren ist die Optimierung Geodätischer Netze zu erwähnen; allerdings scheint auch hier die Abstraktion schwieriger zu sein als jene bei der verwandten Optimierung von Baukonstruktionen. Die Placierung von Personal- und Sachinvestitionen wird derzeit von der allgemeinen technisch-wirtschaftlichen Entwicklung, persönlichen Präferenzen sowie politischen Entscheidungen von außen her eher geprägt als durch eine ad hoc-Kostenrechnung.

## KOSTENDENKEN IM VERMESSUNGSWESEN

K.Peters

Im Berufsbild des Technikers und Wissenschafters ist ein bemerkenswerter Motivwechsel zu erkennen. Wirtschaftliches Denken bedeutet nicht mehr Profitgier, sondern Verantwortungsbewußtsein gegenüber der Gesellschaft. Gerade das Vermessungswesen hat hier eine große Tradition aufzuweisen, so schrieb HELMERT 1868 seine "Studien über rationelle Vermessungen" und JORDAN beschäftigte sich in den Achtziger-Jahren mit Wirtschaftlichkeits-, ja sogar Tariffragen. Nach den an heute gemahnenden, häufig publizierten Gedanken in der Krisenzeit um 1930 veranstalteten die AVN 1934 ein Preisausschreiben über "Wirtschaftlichkeit im Vermessungswesen"; dieses wurde aber im Kielwasser der folgenden politischen Indoktrinierung verwirbelt. Heute sind Rationalisierungsüberlegungen verbreitet, vor allem ein Verdienst der Photogrammetrie, welche als abgeschlossenes System sich nicht zuletzt hiemit ihren Platz erargumentiert hat. Trotzdem bedeutet das Kostendenken in unserem Vermessungswesen nirgends Motiv, sondern nur eine Entscheidungshilfe; in diesem Sinne soll auch dieser kleine Beitrag gelten.

### 1. Stellung des Vermessungswesens in der Wirtschaft.

Von den drei Sparten wirtschaftlicher Tätigkeit: Erzeugung, Verteilung, Dienstleistungen muß man die des Vermessungsingenieurs fast ausschließlich der erstgenannten, also der Produktion, zuordnen. Als "Dienstleistung" könnte die Lehrtätigkeit auf den Hochschulen sowie der Parteienverkehr der Ämter dienen, wobei man die Lehre als "Schaffung von Werten" auch der Produktion zuordnen könnte. Handel (Verteilung von Gütern oder Dienstleistungen) üben auch die Ziviltechniker nicht aus.

### 1.1 Vermessung als Unternehmen und Betrieb.

Wer es unternimmt, die mit einer wirtschaftlichen Handlung verbundene Gefahr bewußt zu tragen, ist Unternehmer. Für den technischen Vollzug der Produktion schafft er den Betrieb. Der Begriff des Unternehmers ist dadurch eingeschränkt, daß das Risiko beruflicher Nachteile zufolge Fehlleistungen nicht zu den o.a. Gefahren zählt. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ist z.B. ein Unternehmen mit dem Staat als Unternehmer; man kann es auch als Betrieb ansehen, doch können auch seine Abteilungen, Vermessungsämter usw. als Betriebe gelten. Entscheidungen von wirtschaftlicher Tragweite hat selbstverständlich nicht nur der Unternehmer im engeren Sinne zu treffen; solche zählen zu den primären Tätigkeitsmerkmalen einer Führungskraft.

Die Produktion unserer Betriebe ist vor allem "Auftragserzeugung", und somit sicher "bedarfsdeckend". Hierunter fallen auch Landesvermessung und Erstellung der topographischen Karten (Vermessungsgesetz!), sowie Forschungsaufträge von Hochschulinstituten und die problemorientierten Entwicklungsarbeiten öffentlicher und privater Dienststellen. Lediglich selbständig initiierte "wertfreie" Forschungstätigkeit kann als "Lagererzeugung" gelten. Wegen knapper Termine bzw. rascher Innovationen tritt das Problem der Lagerhaltung in unserem Beruf nicht auf, abgesehen von jener der Produktionsmittel. Aus Gründen der Berufsstruktur scheint extensive Absatzwerbung nicht möglich, wenn man von der Analogie zum "publish or perish" im Forschungsbetrieb absieht.

Während bei uns die Hochschulinstitute in ihrer Produzentenrolle weitgehend autark sind, verschwimmen die Grenzen zwischen Auftraggeber-, Auftragnehmer- und Mitbewerbertum manchmal zwischen öffentlichen Dienststellen und Ziviltechnikern innerhalb des Vermessungswesens, häufiger zwischen Vermessungsingenieuren einerseits und Geophysiker, Bauingenieur, Planer, Sozialgeograph usw. andererseits.

Die Rechtsformen unserer Unternehmen: öffentliche Dienststellen bzw. Einzelunternehmen mit Eigenfinanzierung bedingen verschiedenartige Budgeterstellung. Beim öffentlichen Amt liegt ein fixer

Rahmen vor, welcher eher auf Grund von im weitesten Sinne politischen Motiven denn vorgelegter Kalkulation abgesteckt wurde. Bei Forschungsprojekten der Hochschulen liegt das Schwergewicht auf der sachlichen Motivation, nicht auf Kostengrundlage; ein einmal errechneter voraussichtlicher Aufwand kann aber schwer überschritten werden. In beiden Fällen ist die latente Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber (der Gesellschaft) zu beachten. Beim Ziviltechniker ist die Unternehmensstrategie durch offensichtliche Eigenverantwortlichkeit mit baldiger Erfolgsmeldung gekennzeichnet; die bei uns üblichen Betriebsgrößen lassen empirische oder autodidaktische Führungstätigkeit zu. In diesem Zusammenhang ist das aus der Literatur (z.B. "Vermessungstechnik") ersichtliche Interesse in den Oststaaten an wissenschaftlicher Betriebsplanung und -führung bemerkenswert. ANNAU forderte auf der "Konferenz über die Ausbildung und Fortbildung von Geodäten und Kartographen" in Székesfehérvár für alle Vermessungsingenieure Kenntnisse in Kostenkalkulation, Arbeitsprogrammierung, Betriebsorganisation. Darauf soll später eingegangen werden.

### 1.2 Ausstrahlung der wirtschaftlichen Entwicklung auf das Vermessungswesen.

In diesem Rahmen kann auf die Geodäsie und ihre Wechselwirkung mit anderen Erdwissenschaften und deren wirtschaftliche Verflechtung nicht eingegangen werden. Die Aufgaben des Vermessungswesens gliedern sich bei uns hauptsächlich in: Schaffen von Planungsgrundlagen für bauliche oder raumordnende Maßnahmen; geometrische Maßangabe bzw. Ausführungskontrolle bei der Realisierung der Planungen; Bestandsaufnahme nach Planungsvollzug; technisch-rechtliche Arbeiten bei Veränderungen des Besitzstandes an Grund und Boden.

Hiebei ist vor allem eine starke Verflechtung mit der Bauwirtschaft im weitesten Sinne zu bemerken, welche heute nicht mehr vertikal, sondern horizontal akzentuiert ist. Manche einschlägige Arbeiten werden allerdings zwar von Vermessungstechnikern, aber nicht vom Vermessungswesen durchgeführt.

Eine Baukrise wirkt sich auf das Vermessungswesen in zweifacher Hinsicht depressiv aus:

- o die freiwerdenden Kapazitäten werden (nach innen) mit "Vermessung" im eigenen Wirkungsbereich beschäftigt,
- o man sucht (nach außen) an der "Vermessung" zu sparen, um Kampfpreisehalten zu können bzw. (in der Relation Bautenministerium-Bundesamt) politisch-wirtschaftlich interessantere Teilgruppen zu stützen.

Antizyklisch bei Krisen wirkt international der Rohstoff- und Energiebedarf, welcher nach Planungsgrundlagen auf kleinstmaßstäblicher Grundlage schreitet (vgl. den Aufschwung der "Fernerkundung") sowie national die hektische Kapitalanlage in Grund und Boden, welche das Teilungs-"Geschäft" quantitativ belebt.

Eine Internationalisierung der Vermessungstätigkeit schien früher durch andersgeartete Finanzierungs- und Gesellschaftsformen des Auslandes (Kapazität und Kosten), jetzt eher durch verschiedenartige Devisenparitäten (Dumpingkosten der Briten) für uns bedrohlich, doch die österreichische Lebensart zeigt sich in der Auftragsvergabe nach außen bis jetzt, von Ausnahmefällen abgesehen, solidarisch. Von uns aus exportoffensive Tätigkeit auf Grund von Preis- und Terminwürdigkeit scheint wegen unserer Betriebsstrukturen schwer möglich, eher aber auf speziellen Marktnischen durch Qualität analog dem Planseewerk in Reutte; dies betrifft aber nur höchstens einzelne Betriebe.

Abb.1 zeigt unsere Preise in Relation zu Baupreis, Angestelltenlohnindex und Verbraucherpreisindex. Obwohl letzterer kein signifikanter Indikator ist, wurde er erst in den letzten Jahren überholt; unsere derzeitige Gradiente liegt phasenverschoben zurück, aber parallel zu Lohn-Baupreisindex.

### 1.3 Anteil des Vermessungsingenieurs an der Gesamtwirtschaft.

Schätzt man Budget des Bundesamtes, der weiteren öffentlichen Dienststellen und der Ingenieurkonsulenten zu je ein Drittel des Gesamtanteiles des Vermessungshaushaltes mit je 250 Millionen (1973),

so beträgt unser Jahresumsatz etwa 2% des Umsatzes der Bauwirtschaft. Der Anteil der Vermessungskosten am Gesamtaufwand von "zweidimensionalen" Bauprojekten (Verkehrswege, Türme u.dgl.) beträgt 1% bis 3%, an "dreidimensionalen" (flächenhafte Verbauung, Satellitenstädte) 1% bis 2%. Ebenfalls im unteren Prozentbereich liegt der Parzellierungspreis am Verkehrswert der Grundstücke (vgl. den degressiven Wertzuschlag beim Kammertarif!). Übrigens betrug der Budgetanteil vermessungstechnischer Vorhaben (Prof. RINNER) am Gesamtbudget des Geodynamikprojektes 1975 etwa 2%. Diese Raten scheinen im Sinne der Betriebswirtschaft ein überaus dürftiger "Risikolohn".

Tab.1 gibt einen Überblick über die Verflechtung der Topographischen Vermessungsetats mit der Gesamtwirtschaft; einige Daten (UdSSR!) hieraus wirken überraschend.

In der Industrie stellen die Verhütungskosten grob ein Drittel, die Fehlerkosten zwei Drittel der Qualitätskosten und diese wieder zwischen 5% und 30% der Gesamt-Selbstkosten; den als "Fehlerkosten" bezeichneten Ausschußprozentsatz der Industrie können sich aber weder unsere Auftraggeber noch wir leisten - sie, sonst würden sie uns nicht brauchen, wir, da dies unser Berufsethos darstellt.

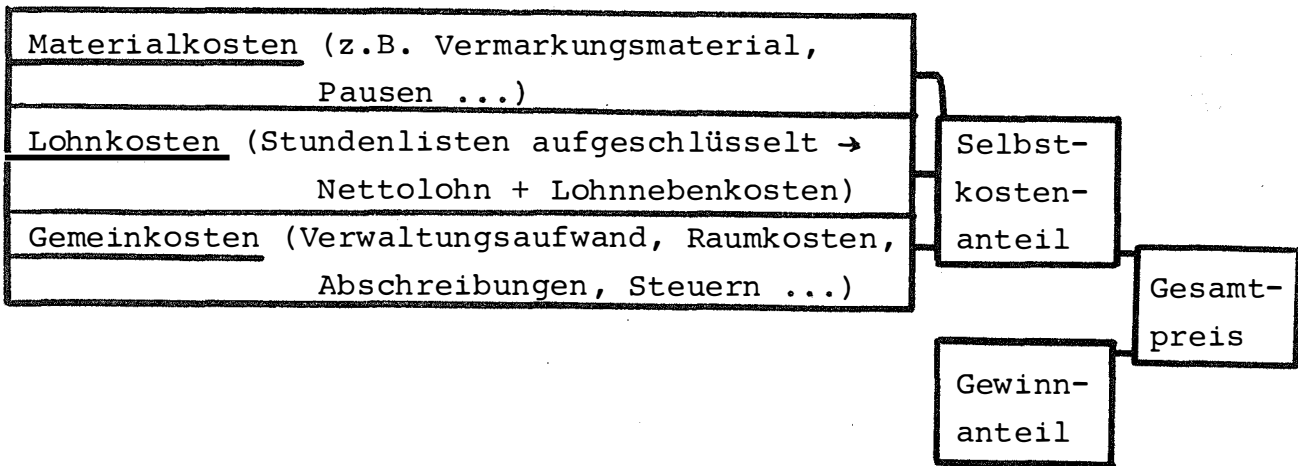
Die in Abb.2 von VOLBEDA angegebene qualitative Präzisierung der kostenrelevanten Baugenauigkeitsforderung bei Fertigteilbau zufolge deutlicher Steigerung der Montagekosten bei steigenden Fertigungs- und Absteckungsunsicherheiten läßt sich möglicherweise auch auf exakter zu formulierende Anforderungen an Planungsgrundlagen zufolge automatischer Auswertungen u.dgl. übertragen. Die Tendenzen der Navigation - viele relativ unscharfe, doch kontinuierlich verarbeitete Informationen stabilisieren den Kurs - liegen allerdings entgegengesetzt.



## 2. Beispiele betriebswirtschaftlicher Überlegungen aus der Vermessungspraxis.

### 2.1 Kostenrechnung.

In Industrie und Gewerbe werden die Kosten meist wie folgt errechnet (Abb.3):



Aus diesen Elementen lassen sich alle Arten vermessungstechnischer Preise kombinieren oder rückrechnen, wobei Teilelemente manchmal entfallen. Obwohl jede unserer Arbeiten (bis zur Einrichtung einer Landesvermessung!) als Einzelstückproduktion auf Bestellung oder sogar als "Reparatur" (bei Reambulierung von Altplänen) gelten kann, liegen doch verschiedenen Gattungen verbindliche Tarife nach Leistungsumfang und -stufen zugrunde. Die Mindesttarife der Kammern sollen eine Schranke für Honorarvereinbarungen liefern und legen den Gesamtpreis (abgesehen von Materialkosten) auf Zeitaufwand, also fiktive Lohnkosten, um. Die ähnlich angelegten internen Kostenberechnungen des Bundesamtes erreichen trotz fehlenden Gewinnanteils zufolge höherer Gemeinkosten fast jene der Ziviltechniker.

Aus dem Motiv der Preisgestaltung ergibt sich die Art des Angebotes: bei gegebenem Aufwand den Erlös zu maximieren oder bei gegebenem Erlös den Aufwand zu minimieren, wobei neben den Ausschreibungsbedingungen als zusätzliches Ziel die Auftragserlangung (gegen Konkurrenz oder Nulllösung) vorliegt.

Die Erstellung verbindlicher Leistungstarife ist daher eine überaus schwierige Aufgabe; ebenso ist noch umstritten, ob Index- oder Tariferhöhungen in kleinen und häufigen oder in großen und seltenen Stufen eingeführt werden sollen. Meiner privaten Meinung nach ist der zweiten Variante der Vorzug zu geben. Interne Aufzeichnungen sowie Aufteilung der Leistungen auf Kostenstellen können bei Erfolgsmeldung in Analogiefällen die Kalkulation erleichtern oder aber wirksame Hinweise auf notwendige Umstellungen in der Betriebsorganisation geben.

## 2.2 Ablaufplanung.

Auf die Bedeutung der Ablaufplanung sowie der hiezu herangezogenen Netzplantechnik hat in diesem Rahmen EGGER bereits hingewiesen. In der BRD hat sich vor allem SCHRADER (in der ZfV) damit beschäftigt. Sie liegt im allgemeinen in der logischen Erfassung eines Problems; wirtschaftliche Vorteile lassen sich nur bei selbständigen Großaufgaben und hier bei Zusammenarbeit mit Kosten- und Organisationsplanung erzielen. Bei Verbindung mit Aktivitäten von außen ist auf mögliche Veränderungen wichtiger Voraussetzungen zu achten.

## 2.3 Betriebsorganisation.

Die Betriebsorganisation ist die Summe aller Abläufe und sollte das Ergebnis aller Kostenrechnungen sein, wird aber bei diesen beiden Aktivitäten vorausgesetzt. Die Wahl des Standortes hängt ab vom zufälligen Freiwerden, vom Arbeitsmarkt, lokaler und politischer Verteilung der Aufträge. Die Investitions- und Personalpolitik hängt von der Motivation des Unternehmens ab. Die bis vor kurzem auf Senkung der Personalkosten, Förderung automatisations- und produktivitätsfreundlicher Verfahren gerichtete Tendenz hat sich auf Sicherung der Vollbeschäftigung der Mitarbeiter gewandelt. Investitionen in Renommiergeräte sind derzeit bei Privaten weniger Gegenstand wirtschaftlicher Rechtfertigungsversuche, denn Strategien zur Überstundenbegrenzung; bei Öffentlichen ist der Personalstand eher denn das Inventar zum Statussymbol geworden.

Bei einmaligen Investitionen (MDV, Handrechner, Distanzer) ist zu beachten, daß das Angebot nicht kontinuierlich, sondern in Schüben verbessert wird. Beispiel: HP 35 sofort kaufen - oder zuwarten bis Supermodell erscheint und dann HP 65 erwerben? Bei größeren Investitionen spielt auch der Kapitalbedarf eine echte Rolle und kann Kostenrechnungen ebenso beeinflussen wie die erforderliche Peripherie und hiedurch immer forciertere Festlegung auf einen Gerätetyp, vorhandene und geplante Kapazität, Konkurrenzfähigkeit, Autarkie, oder ein Eingreifen oder Checken in den Automationsfluß im Störfall. Die steigende Zuverlässigkeit kann die Placierung und Tragweite von Kontrollen völlig ändern. Ein Großgerät frißt die Arbeit, das Futter müssen Sie ihm verschaffen.

Unter publizierten kostenmäßig begründeten Organisationsentscheidungen wären die Arbeiten STICKLER's zu erwähnen; bekannt in jüngster Zeit sind die Überlegungen um selbstregistrierende elektronische Tachymeter (z.B. von ROSE), um die Organisation des photogrammetrischen Katasters (KRAUS) und an unserer Hochschule um den Blockausgleich von OTEPKA. Alle genannten Arbeiten sind engagiert, fundiert und bringen als Ergebnis weitgehende Abhängigkeit der endgültigen Entscheidung von Operatsgröße, Operatsstruktur, Formulierung des Auftrages und von eher gefühlsmäßig bis standespolitisch belegbaren Präferenzen. Im Zweifelsfall sind solche Arbeiten als vorbildliches Denkschema für eine selbst zu errechnende Entscheidungshilfe heranzuziehen.

Der Arbeitsplatzgestaltung bzw. dem Bedienungskomfort der Geräte ist ungeachtet der Lage auf dem Arbeitsmarkt großes Augenmerk zu widmen, da hier große Reserven an Produktivität und Qualität stecken; denken Sie etwa an die Automatisierung von astronomischen Arbeiten.

### 3. Elemente der Kostenrechnung.

Wie unter 2.1 angedeutet, gliedern sich bei statischer Betrachtung die Kosten für ein Produkt in feststehende und variable Kosten, wobei die feststehenden unabhängig vom Produktionsausstoß sind. Die Summe der beiden Anteile ergibt die Gesamtkosten.

Dividiert man die Kosten durch die Ausbringungsmenge (Produktionsausstoß), erhält man die jeweiligen "Durchschnittskosten", d.i. der Kostenanteil je produziertem Einzelstück. In Abb.4 entspricht dieser Division der Tangens der Verbindung des Nullpunktes mit dem entsprechenden Punkt in der Kostenkurve. Die Durchschnittskosten erreichen ihr Minimum für jene Ausbringungsmenge, bei welcher diese Verbindung der Tangente vom Ursprung an die Kostenkurve entspricht. Diese Betrachtung ist sowohl für die Gesamt- wie auch die variablen Kosten möglich.

Betrachtet man nicht den Anstieg des Radiusvektors vom Nullpunkt zum Kurvenpunkt, sondern den Anstieg der Kurve selbst (erste Ableitung der Kostenfunktion nach der Ausbringungsmenge), führt dies zum Begriff der "Grenzkosten". Diese sind minimal, wenn einem differentiellen Zuwachs der Ausbringungsmenge ein minimaler Zuwachs der Kosten entspricht. Die Kostenfunktion wird als monoton nicht fallend angenommen.

Spiegelt man die Kostenkurve an der Symmetralen der Koordinatenachsen, d.h. man tauscht die Variablen aus, wird sie zur Produktionskurve. (Sie können sich davon überzeugen, indem Sie Abb.5 im Aufricht und sodann um  $90^\circ$  verdreht im Durchlicht betrachten). Analog zu den Kosten (Abb.4) kann man den Ertrag der Produktion betrachten, wie in Abb.6 dargelegt; es gelten analoge Definitionen für Durchschnitts- und Grenzertrag, sowie für die Optima. Bei zweidimensionalem Produktions-Faktoreinsatz wird aus der Ertragsfunktion in Schichtliniendarstellung das "Ertragsgebirge". Die Erfahrung zeigt, daß in der Praxis die Produktions- oder Ertragsfunktion sinusartig, bzw. die Kostenfunktion s-förmig genau wie in Abb.5 (bzw. Abb.6 und 4) verläuft. Einige solche Analogien

wurden in Abb.5 erwähnt; besonders auf die allgemein geläufige Betrachtung über Kilometerkosten eines Kraftfahrzeuges soll hingewiesen werden.

In Abb.7 wird eine Optimierung des Durchschnittsertrages für ein hypothetisches Ziviltechnikerunternehmen durchgeführt, unter der Annahme, daß sowohl Produktionsmittel als auch Mitarbeiterstand stabil gehalten werden sollen. Der optimale Durchschnittsertrag von  $S\ 240.000 / (130 * 10.000) \doteq 18\%$  ist offenbar auf etwas optimistische Annahmen über den Aufwand zurückzuführen. Die Weiterverrechnung der Fixkosten wird verschiedenartig gelöst. Nach dem "partialen Satz" werden sie anteilmäßig zur Ausbringungsmenge verrechnet (z.B. Kammertarif).

Die "Differentialkalkulation" verrechnet alle Fixkosten einem gewissen Kundenstock, während dem restlichen nur die variablen Durchschnittskosten anfallen. In Abb.4 würde das bedeuten, daß die Auftraggeber der Arbeiten Null bis  $y$  je Arbeit die Durchschnitts-Gesamtkosten  $k_g$  je Arbeit, die weiteren nur mehr die Durchschnittskosten  $k_v$  je Arbeit zahlen müßten. Beispiele:

- 1) Fixer öffentlicher Auftraggeberstock. Verrechnet werden die Durchschnittsgesamtkosten, aber kein Gewinnanteil. Die restlichen Preise können risikofrei kalkuliert werden und auf variablen Gewinn oder/und Werbeeffekt gestaltet werden.
- 2) Fixer privater Kundenstock (z.B. aus Standort, good will). Dieser trägt die gesamten Fixkosten und die variablen Durchschnittskosten- und Gewinnanteile. Des weiteren können öffentliche Auftraggeber zu Dumpingpreisen bedient werden.

Bei Einwirkungen von außen oder dynamischen Kosten- oder Produktionsfaktoreneinsätzen können Systeme wie gemäß Abb.7 nicht mehr gehalten werden. Das entsprechende "Denken in Netzwerken" sowie "Dynamische Denken" führt aber zu sehr schwierigen, wenig anschaulichen und instabilen Systemen, welche freilich der Wirklichkeit eher entsprechen, wie unsere derzeitige Wirtschaftslage zeigt.

#### 4. Elemente des Operations Research.

Operations Research ("Unternehmensforschung") beschäftigt sich mit der optimalen Lösung eines Problems oder eines Systems von Problemen. Das Ziel des Unternehmens (zumindest hinsichtlich des vorliegenden Problems) wird als Funktion  $Z$  von für das System charakteristischen Größen formuliert; diese werden in System- oder Entscheidungsvariable  $X_i$ , Systemparameter  $P_s$  sowie Umweltparameter  $P_u$  unterschieden. Weiters existieren noch  $m$  Randbedingungen zwischen den genannten Größen, so daß das ganze vorliegende Problem durch eine Zielfunktion und  $m$  Randbedingungen mathematisch definiert werden kann:

$$Z = f(X, P_s, P_u) \quad \text{und} \quad R_m = \bigcap_m (X, P_s, P_u)$$

Beispiel hierzu aus dem Alltag:

System: Biereinkauf

$Z$  : Kostenminimum (je Monat)

$X_i$  : Anzahl der im Geschäft  $i$  ( $i=1$  Greißler,  $i=2$  Supermarkt) je Monat gekauften Flaschen; Häufigkeit des Einkaufes im Geschäft  $i$

$P_s$  : Bierpreis; Entfernung zum Geschäft; Wartezeit im Geschäft  $i$

$P_u$  : Kosten für Wegzeit und Wartezeit; Kosten je Auto-km; Geh- bzw. Fahrgeschwindigkeit

$R_m$  : Schranke für Fußweglänge; für Anzahl der jeweils zu Fuß bzw. per Auto beförderten Flaschen; für Stauraum des Eiskastens, der Wohnung; für je Tag, je Monat zur Verfügung stehende Zeit; für täglichen und monatlichen Bierbedarf jeweils nach oben und unten

Die Zielfunktion kann nun sein:

o Maximum des Gewinns, Höchstkosten eine Randbedingung:

$Z = T, S \leq S_{\max}$  "Maximierungsprinzip". Im Vermessungswesen

z.B. "größte Genauigkeit, Kosten dürfen nicht größer als vorgesehener Betrag sein."

- o Minimum der Kosten, Mindestgewinn eine Randbedingung:  
 $Z = S, T \geq T_{\min}$  "Sparprinzip". Im Vermessungswesen z.B.  
"geringste Kosten bei Einhaltung der Genauigkeitsforderung."
- o Maximum der Differenz Gewinn minus Kosten:  $Z = T - S$
- o Maximum des Gewinns, Minimum der Kosten. Diese Formulierung ist unkorrekt, obwohl sie teilweise außerhalb des Vermessungswesens verwendet wird. Korrekt ist vielmehr der Ansatz von WOLF mit  $Z = R_T T + R_S S$  mit von Fall zu Fall zu bestimmenden Standardisierungsfaktoren  $0 \leq R_T \leq 1$  und  $0 \leq R_S \leq 1$ , für  $R_T = 1, R_S = 0$  erscheint das Maximierungs-, für  $R_T = 0, R_S = 1$  das Sparprinzip.

4.1.1 Ingenieurprobleme können nach der mathematischen Formulierung wie folgt klassifiziert werden (aus JURECKA-ZIMMERMANN):

- o Diskrete Probleme: Nur bestimmte (meist ganze) Zahlen als Lösung für die Systemvariablen zugelassen. Die Lösungen sind meist schwieriger zu erlangen als für kontinuierliche Probleme. Das vorgenannte Beispiel wie auch die meisten des Vermessungswesens sind diskret.
- o Haben die Parameter eines Problems feste Werte, spricht man von deterministischen, sind sie durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung charakterisiert, von stochastischen Problemen. Deterministische Probleme haben auch deterministische Lösungen; im Sinne der Entscheidungstheorie liegt Sicherheits-situation vor (Alternative: Risikosituation bei stochastischen Problemen). Unser Beispiel ist deterministisch. Häufig werden stochastische Probleme durch Einsetzen der Parametermittelwerte deterministisch behandelt; die so erhaltenen Lösungen fallen zu optimistisch aus. (Beispiel: Zeit- und Material-Aufwandsschätzungen).
- o Sind die Beziehungen  $Z = f(X, P)$  und  $R_m = \phi_m(X, P)$  durchwegs linear, spricht man von linearen, andernfalls von nicht-linearen Problemen. Das Bier-Beispiel in seiner vorliegenden Fassung ist nicht-linear; es könnte linearisiert werden, indem man die Randbedingungen (Ungleichungen) für die jeweilige Einkaufskapazität mit der Anzahl der jeweils im Monat gekauften Flaschen gemeinsam zu Systemparametern umformt.

- o Probleme, bei denen eine einzige Zeitperiode betrachtet wird, bezeichnet man als statische, die anderen als dynamische Probleme. Im Sinne der Entscheidungstheorie handelt es sich dabei um ein- bzw. mehrstufige Entscheidungen. Unser Beispiel ist statisch; es könnte dynamisch werden, wenn z.B. unter Eindruck einer Kundenabwanderung das i-te Geschäft die Preise verbilligt.
- o Für viele Probleme der Praxis ist eine exakte Lösung, sei es mangels eines strengen Lösungsverfahrens, sei es wegen fehlender Eingabedaten oder wegen zu großen Rechenaufwandes nicht zu erhalten (Beispiel: Ablauf- und Kostenplanung einer großen Triangulation in unseren Breiten). Statt dessen sucht man an Hand von Erfahrung, Intelligenz und Intuition heuristische (empirische) Lösungen, die zwar nicht unbedingt zum Optimum führen, aber doch häufig in dessen ausreichende Nähe (Beispiel: OTEPKA's Dissertation). Man bedenke dabei die Unsicherheit einer "exakten" Lösung durch Abstraktion der betrieblichen Realität im Modell.

#### 4.1.2 Praxisorientierte Einteilung der Ingenieurprobleme.

- a) Zuweisungsprobleme: Die günstigste Zuteilung von Betriebsmitteln (Faktoreinsatzmengen) an eine Anzahl von Benützern ist gesucht.  
Beispiele: Transportproblem; Beobachtungsanordnung in geodätischen Netzen; Produktionsanteil verschiedener geodätischer Geräte im Firmenprogramm; Sach- und Personalaufwand je Abteilung, je GZ, je Sachgebiet; Anlage von Erhebungs- und Kundenbetreuungsfahrten; ...
- b) Lagerhaltungsprobleme, Ersatz- und Instandhaltungsprobleme: Gesucht werden die günstigsten Einkaufs-, Lagerbewirtschaftungsmöglichkeiten bzw. der günstigste Zeitpunkt zum Ersatz eines Gerätes.  
Beispiele: Einkauf und Lagerung von Vermarktungs-, Büro- und Vervielfältigungsmaterial; Instrumenten- und Peripherieankauf, Autoreparaturen, Serviceverträge; Anmieten oder Ankauf; Evidenthalten von Dateien.



- c) Kapazitäts- und Ablaufprobleme: gesucht wird die günstigste Ausnützung von Kapazitäten der Produktion.  
Beispiele: Kapazitätsreihenfolge Außen/Innendienstpartien in GZ-Abfolge (Aufnahme, Auswertung, Zeichnen; Automatisationsketten); Operatsplanung (horizontale und vertikale Ablaufplanung, z.B. vom Vorbereiten des Bildfluges bis zur Kartenauslieferung); Anlage multifunktionaler Planungsdatenbanken.
- d) Leistungsermittlungen: Produktionskapazitäten und Ablauf sind gegeben als stochastische Größen. Gesucht die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Produktion des gesamten Systems.  
Beispiel: Dauer eines Außendienstes; Terminerfüllungen.
- e) Konkurrenzprobleme: Solche Aufgaben liegen vor, wenn der eigenen Entscheidung des Handelnden Entscheidungen eines oder mehrerer anderer Konkurrenten mit freier Entscheidungswahl gegenüberstehen.  
Beispiele: Niederlassungsgründung im Ausland; Markterweiterung; Angebotsabgaben; Gehaltsschema; Überstundenbegrenzung.

Diese Einteilung (in Analogie zu jener in JURECKA-ZIMMERMANN) ist freilich nicht erschöpfend; tatsächliche Entscheidungen in der Praxis werden in iterativem Zusammenfügen der einzelnen Problemkreise getroffen werden müssen - man bedenke etwa, daß zu einer halbwegs korrekten Kosten-Nutzenrechnung zur eventuellen Anlage eines Versorgungs-Entsorgungskatasters zumindest die Probleme a) bis d) mehrmals verschachtelt betroffen sind. Probleme solcher Tragweite werden aber meist autoritär (politisch) oder im besten Fall heuristisch gelöst.

## 4.2 Problemlösung.

Im Allgemeinen ist die Abstraktion der betrieblichen Realität auf ein formales Modell vorher bzw. die Übertragung der Lösung auf die Realität nachher Aufgabe des Ingenieurs, die Lösung des Modells einschließlich Testens Sache des Mathematikers.

### 4.2.1 Optimierung

4.2.1.1 Aufsuchen des Optimums (durch einfaches Differenzieren) ohne Nebenbedingungen.

Beispiele: Ableitung der Normalgleichungen bei vermittelnden Beobachtungen aus  $[vv]_{\min}$  und den Verbesserungsgleichungen; Ableitung optimaler Ziellängen beim trigonometrischen Nivellement nach BRUNNER; optimales Streckenverhältnis bei Hilfsbasis-Entwicklungsnetz.

4.2.1.2 Optimum mit Nebenbedingung, Differenzieren mit Korrelate(n).  
Beispiele: a) einfach bedingte Beobachtungen: Ableitung der Normalgleichungen.

b) Optimierung einer Funktion von unabhängigen, nicht überbestimmten Beobachtungen. Hieher fallen alle Arbeiten von KÖHR, welcher 1965 bis 1967 mehrmals über Wirtschaftlichkeitsfragen in der ZfV referiert hat. Sein "Wirtschaftlichkeitsfaktor" Genauigkeit / Kosten = (mittl. Fehler mal  $\sqrt{\text{Kosten}}^{-1}$  will "Unabhängigkeit von der Anzahl der Messungen" erreichen. Schon einfachste Aufgaben scheinen verwickelt zu lösen.

Weiteres Beispiel: Es sei die durch praktische Erfahrungen nahegelegte Annahme getroffen, daß die Kosten für Vermessungsprodukte im gängigsten Bereich genauigkeitsproportional wachsen,

$$S_i = k_i \sigma_i^{-1}.$$

Die Faktoren  $k_i$  sind für jedes  $i$ -te Vermessungsprodukt charakteristisch, z.B. soll ein Festpunkt bei  $\sigma_j = \pm 1 \text{ cm}$   $S_i = 5000,- \text{ ö.S}$  kosten, was ein  $k_i = 5000 [\text{ö.S} * \text{cm}]$  bedeutet (für  $\sigma_i = \pm 0,5 \text{ cm} \rightarrow S_i = 10.000,-$ ).

Ein System von Vermessungsprodukten, z.B. die Grenzkatasterkoordinate eines vermarkten Neupunktes, kostet  $S = \sum k_i \sigma_i^{-1}$ .  
Gleichzeitig soll sein Gesamtfehler  $\sqrt{[\sigma_i^2]} \leq T$  (vorgegeben).

Aus bekannten  $k_i$  lassen sich jene  $\sigma_i$  berechnen, welche die letzte Ungleichung erfüllen und  $S$  minimieren, und daraus Aussagen über Organisation und Genauigkeit der einzelnen Schritte ziehen:

Für 1 Festpunkt auf 100 Detailpunkte ergibt sich bei  $T = 5 \text{ cm}$  folgende Genauigkeitsstruktur, unabhängige  $\sigma_i$  vorausgesetzt:

	Festpunkt	Aufnahme	Auswertung	Vermarkung
$k_i$ in [ö.S * cm] Punkt	50	10	10	100
$\sigma_i$ (Grundgenauigkeit des Vermessungsschrittes) [cm]	2,7	1,5	1,5	3,7
$s_i$ Kosten auf Grund der Optimierung in [ö.S]	19 (→1900)	7	7	27

#### 4.2.2 Programmierung

Im Unterschied zur Optimierung einer differenzierbaren Funktion mit Hilfe der Differentialrechnung, spricht man von Programmierung, wenn die Zahl der Lösungen in irgendeiner Weise beschränkt ist.

4.2.2.1 Lineare Programmierung. Sind Zielfunktion und Randbedingungen lineare Gleichungen:

$$Z = \mathbf{c}^T \mathbf{x} \quad (\text{mit } \mathbf{x} \text{ Spaltenvektor der } n \text{ Systemvariablen})$$

$$R_m: \mathbf{A}_{mn} \mathbf{x} \quad \{ \leq = \geq \} \mathbf{b}$$

liegen zur Problemlösung leistungsfähige Algorithmen, für  $n=2$  auch ein einfaches graphisches Verfahren vor. Sollen die Lösungen  $x_i$  ganzzahlig sein, spricht man von ganzzahliger Programmierung. Anwendungen: Zuweisungs-, Lagerhaltungs- und Kapazitätsprobleme; das bekannteste Beispiel ist das "Transportproblem". Im Vermessungswesen wurde die LP z.B. auch von MEISSEL auf Optimierung von Transformationen angewandt.

4.2.2.2 Nichtlineare Programmierung. Hierher fallen die gängigen vermessungstechnischen Genauigkeitsplanungen. Das früheste Beispiel ist die optimale Anordnung von Richtungsbeobachtungen (bzw. deren Wiederholungszahl) im Basisvergrößerungsnetz (nach SCHREIBER); Zielfunktion der mittlere Fehler der Vergrößerungsseite, Randbedingung die vorgegebene Anzahl der Beobachtungen.

Als Zielfunktion bei "Gewinnmaximierung" werden in geodätischen Netzen derzeit angesetzt:

- o Verallgemeinerte Varianz (Determinante der Kovarianzmatrix bzw. Volumen des Konfidenzellipsoids der Neupunkte) durch PELZER u.a.;
- o Spur der Kovarianzmatrix (Analogon zur Minimierung des Punktlagefehlers);
- o "Nachbargenauigkeit" durch "Taylor-Karman-Dekomposition" nach GRAFAREND; die einzelnen Fehlerellipsen werden kreisförmig und ident ("isotrop und homogen"), die Korrelationsglieder zwischen ihnen sind abhängig vom Abstand.
- o Eine bestimmte Funktion der Neupunktskoordinaten, z.B. eine diskrete Strecke oder Richtung (PELZER u.a.).

Die Bedeutung dieses Problemkreises wurde dadurch stark erhöht, daß Satellitennetze viel weniger anschaulich, dafür aber viel kostenintensiver zu entwerfen sind als konventionelle terrestrische. Das Resultat der Programmierung ist (nach GRAFAREND) die Netzkonfiguration (wo werden die Neupunkte optimal placiert, "First Order Design") oder die Verteilung der Beobachtungen (welche Beobachtung soll welches Gewicht haben, "Second Order Design").

Die Lösungsverfahren sind schwierig, vor allem bei ganzzahliger Programmierung. Hauptproblem ist Einleiten und Beschleunigung der Konvergenz.

#### 4.2.3 Entscheidungsbaumverfahren.

4.2.3.1 Vollständige Enumeration. Das Problem wird nicht analytisch durchgerechnet, sondern es werden alle Varianten durch ziffernmäßiges Einsetzen bestimmt und die zum ersichtlichen Optimum gehörigen Variablen ermittelt.

4.2.3.2 Branch und Bound-Verfahren. Dieses schließt sich eng an das vorgenannte an, es wird jedoch auf jeder Stufe des Entscheidungsbaumes jeweils sofort überprüft, ob die Lösung noch optimal sein kann. Ein sehr verbreitetes Verfahren für einfach strukturierbare und auch für schwer abstrahierbare Probleme, auch für uns geeignet und häufig "unbewußt" angewandt.

4.2.3.3 Dynamisches Programmieren. Es ist anzuwenden, wenn mehrstufige Probleme vorliegen oder ein einstufiges Problem durch Umwandlung in ein mehrstufiges vereinfacht werden kann. Die Variablen auf den einzelnen Stufen werden rekursiv vom Wert der Zielfunktion nach der letzten Stufe ermittelt. Bei uns noch nicht gebräuchlich, zu empfehlen für Lagerhaltungs- und Ersatzprobleme.

#### 4.2.4 Warteschlangentheorie.

Sie wird bei stochastischen Problemen, welche die Leistungen von Produktionssystemen beschreiben, angewandt. Paradebeispiel: Warten auf Telefongespräche, Durchsatz bei Verkehrsampeln usw. Bei uns leider nicht angewandt, da die Wahrscheinlichkeitsverteilungen unserer Parameter hierfür ungeeignet sind: sie sind zu wenig bekannt; streuen zu viel oder zu wenig; oft ist eine deterministische Lösung für den konkreten Fall erwünscht; schwieriges mathematisches Modell.

#### 4.2.5 Theorie der Spiele.

Bereits 1928 begründete J.v.NEUMANN die Theorie der Spiele, welche Entscheidungen nicht nur von einer Seite her zuläßt.

Der Spieler ist in der "Unsicherheitssituation", d.h. er weiß nicht wie bei deterministischen Problemen, daß er bei gewissen Entscheidungen ein gewisses sicheres Resultat erhält, oder bei stochastischen, daß seine Entscheidung ein gewisses Resultat mit dem Sicherheitsrisiko der stochastischen Aussage ergibt. Man unterscheidet Zwei- und Mehrpersonenspiele. Meist werden Matrixspiele betrachtet, d.h. die Elemente der "Gewinnmatrix" bedeuten für den in der Zeile i angeführten Spieler jenen Gewinn, den er bei der in der Spalte j eingesetzten Strategie erzielt. Es gibt reine und gemischte Strategien; die letztgenannten werden nicht durch ja/nein Entscheidungen, sondern durch Vektoren dargestellt, deren Elemente die Wahrscheinlichkeiten darstellen, mit denen die einzelnen Strategien zu spielen sind.

Aufgabe ist die Ermittlung der für jeden Spieler jeweils optimalen Strategie. In unserem Bereich sind hier alle unternehmerischen Probleme in Konfliktsituationen (4.1.2.e) zu behandeln.

#### 4.2.6 Simulation.

Die Zielfunktion wird nicht optimiert, sondern unter Variation der Entscheidungsvariablen mehrmals berechnet (Unterschied zur vollständigen Enumeration: dort werden alle Möglichkeiten, und zwar für den Entscheidungsbaum, durchgerechnet; die Simulation ist ein heuristisches, die vollständige Enumeration ein exaktes Verfahren). Sind die in die Simulation eingehenden Parameter stochastisch formuliert, sind ihre Werte bei der Variation durch die entsprechenden Verteilungen angehörende Zufallszahlen zu ersetzen; dies nennt man "Monte-Carlo-Methoden", da das Roulette als Zufallsgenerator (für Gleichverteilung?!) gilt.

Die Simulation, besonders Monte-Carlo-Methoden, werden u.a. bei sehr umfangreichen geodätischen Netzen zur Genauigkeits- und Aufwandsschätzung bzw. -optimierung verwendet.

#### 4.3 Bestehende Algorithmen.

Für Linearprogrammierung, Spieltheorie und Monte-Carlo-Methoden bestehen leistungsfähige EDV-Algorithmen; trotzdem ist die Aufbereitung der spezifischen Daten hierzu schwierig. Für die gängigen geodätischen Optimierungen bzw. "Programmierungen" liegt das Programmpaket von HERZOG's Habilitationsschrift (Literatur) vor.

Im Allgemeinen wird jeder, der strenge Verfahren anstrebt, viel Datenverarbeitungs- und Rechenarbeit bei großem Risiko sowohl bei Ablaufplanung als auch Kostenrechnung im Vermessungswesen leisten müssen.

LITERATUR.

EGGER, H., Netzplantechnik. Geowiss.Mitt. Heft 1, S.103-124.

FISCHER-LEXIKON, Wirtschaft.

GRAFAREND, E., Optimisation of Geodetic Networks. The University of New Brunswick, Canada, 1974.

HERZOG, H., Zur Optimierung geodätischer Beobachtungen. DGK R.C, Nr.180, München 1972.

HOITZ, H., Einsatz des Reg-Elta 14 in der Praxis. Sammlung Wichmann, Neue Folge, Heft 19, S.149-164.

JURECKA, W., Wirtschaftslehre. Skripten der Vorlesung an der TH Wien, 1975.

JURECKA, W., ZIMMERMANN, H.-J., Operations Research im Bauwesen. Springer-Verlag 1972 (Standardwerk)

KÖHR, J., Die Optimierung von Messungen auf Kostengrundlage. zfv 3/1967, S.92-97.

KRASENSKY, ., Wirtschaftskunde. Verlag für Geschichte und Politik, Wien

KRAUS, K., Die Katasterphotogrammetrie im praktischen Einsatz. AVN 4/1973, S.121-137.

MEYER's Handbuch über die Wirtschaft.

OTEPKA, G., Untersuchung über die Einsatzmöglichkeit der Blockausgleichung in Österreich. Dissertation an der TH Wien, 1974.

ÖST.STATISTISCHES ZENTRALAMT, Kennst Du Österreich? Wien 1973.

ÖST.STATISTISCHES ZENTRALAMT, Jahrbücher 1973, 1974.

PELZER, H., Die Genauigkeit elektromagnetisch gemessener Streckennetze. DGK R.C, Nr.136, München 1969.

PELZER, H., Einige Aspekte der Genauigkeitsoptimierung in geodätischen Netzen. AVN 9/1972, S.350-361.

ROSE, W., Planung und Organisation des Feldeinsatzes elektrooptischer Tachymeter. Sammlung Wichmann, Neue Folge, Heft 19, S.26-37.

WOLF, H., Polarität und Optimierung bei freien und eingeschalteten geodätischen Netzen. AVN 1970, S.291-298.

Statistische Daten aus Brandenberger: World-Wide Mapping Survey (1970). Zusammengestellt von A. Stickler

Staat	Bevölkerung Millionen	Fläche Millionen km <sup>2</sup>	Bevölkerung		Bevölkerungsdichte Pers./km <sup>2</sup>	Festpunkte		Karten				Vermessungspersonal			GNP Billionen öS	p.e. Billionen öS	Ausgaben für Mapping Milliarden öS	Verm. o/oo von GNP	Verm. o/oo von p.e.	Vermessungsausgaben				
			Stadt	Land		Lage	Höhe	1 :				Akad. Techn. Sonst. Σ	Sonst.	Jahres- gehalt öS						pro Kopf öS	pro km <sup>2</sup> öS	Lohnkosten- Relation	Vergleichszahl	
								< 100 000	100 000	50 000	25 000													
			Punkte							Anzahl	Anzahl	öS												
USA	197	9,4	75	9	21	Main Network 70 %   80 % 115 000   400 000	100 %	.....	40 %	.....	3 400 7 600 5 000 16 000		260 000 170 000	20,7	5,90	18,00	0,9	3,1	91,0	1900	14	14		
Indien	520	3,1	18		170	Main Triang. 40 %   weniger dicht, wie USA			20 %		25 000	keine	18 000 10 500 8 000	1,0	0,23	0,26	0,3	1,1	0,5	100	1	10		
USSR	234	22,7		36	10	Main Triang. I. 100%   weniger dicht, wie USA II. gr.Teile III. gew.Teile			teilw.	Städte	20 000 45 000 35 000 100 000	?	75 000 52 000 42 000	6,9	4,50	7,30	1,1	1,6	31,0	300	4	8		
China	760	11,6		80	(600x) 66	I. 930   I. 30 000km II. 9 140   II. 56 000km III. 62 400		?	?	100 %	100 %		20 000 60 000 90 000 170 000		52 000 18 000 16 500	2,0	1,04	4,10	2,0	3,7	5,5	400	2	20
Durchschnitt																1,0	2,5							
Österreich																0,3	0,06	BA) 0,20	0,7	3,3	26,7	2400	6	40

x) Die Bevölkerung lebt auf 11% der Fläche

GNP Bruttonationalprodukt

xx) Vergleichszahl = Relation der zur Verfügung stehenden Mittel unter Berücksichtigung der Lohnkosten =

p.e. öffentlicher Konsum

Verzerrungsausgaben . km<sup>-2</sup> / (10 x Lohnkostenrelation)

BA) für "Mapping" → Bundesamt eingesetzt

Tab. 2 Genauigkeitskostenoptimierung für Grenzpunktkoordinaten

$$\text{Annahmen : } Z : S = \sum k_i G_i^{-1} = \sum S_i$$

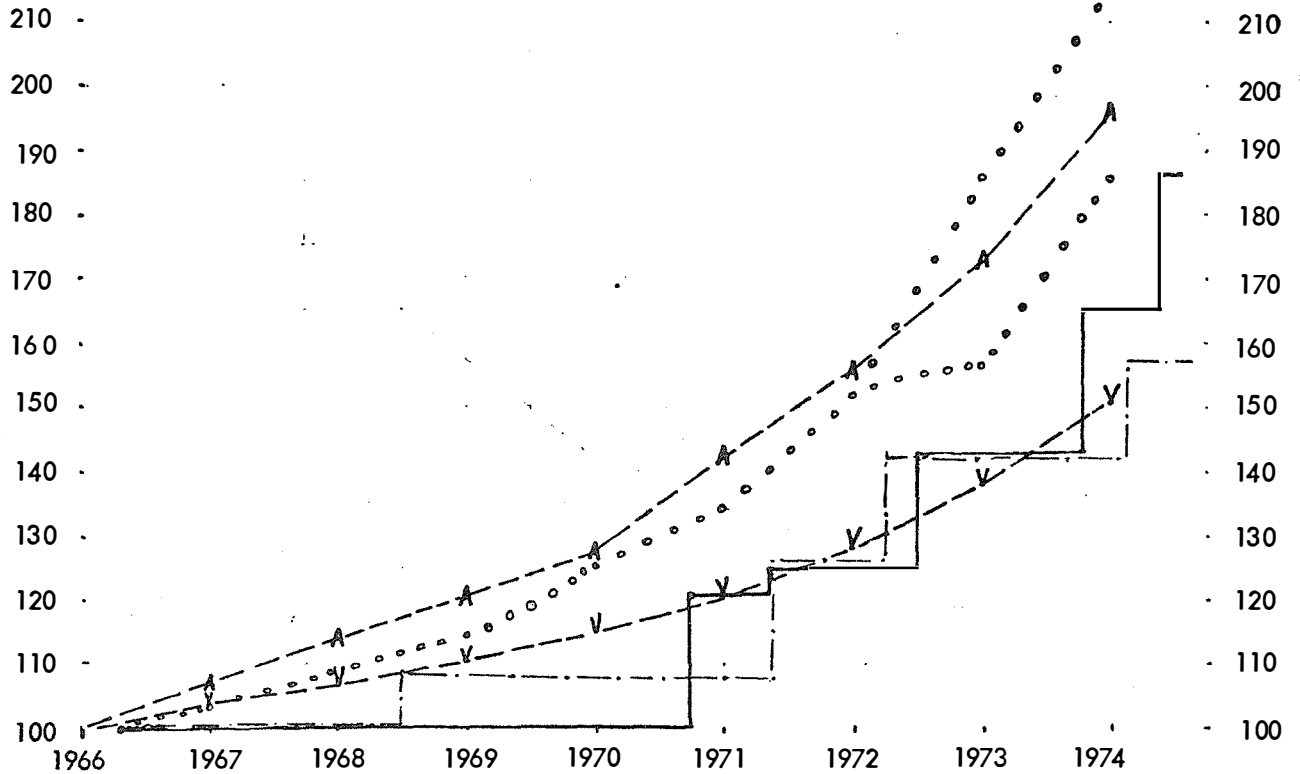
$$R : \sqrt{\sum G_i^2} \leq T$$

1 Festpunkt / 100 Grenzpunkte T = 5 cm	Festpunkt	Aufnahme	Auswertung	Vermarkung
k <sub>i</sub> in [ö.S * cm] Punkt	50	10	10	100
G <sub>i</sub> (Grundgenauigkeit des Vermessungsschrittes) [cm]	2,7	1,5	1,5	3,7
S <sub>i</sub> Kosten auf Grund der Optimierung in [ö.S]	19	7	7	27



Abb. 1

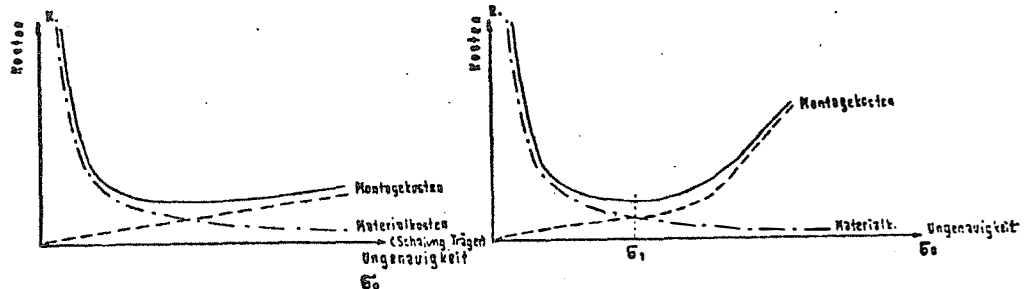
Kosten - und Tarifentwicklung 1966 - 1974



- A Angestellten - Tariflohnindex ( Stat. ZA )
- V Verbraucherpreisindex ( Stat. ZA )
- o Baupreisindex ÖIAB Wohnungsbau ( ab 1973 mit und ohne MWSt. 16 % )
- Stundensatz Kammertarif ( ohne 5.82 % USt bzw . ohne 8 % MWSt )
- . - . - Autobahn - und Bundesstraßen - Index für Vermessungsarbeiten ( seit 1966 parallel)

Abb. 2

Entwicklung der Baugenauigkeitskosten



a) Ortsbeton  
flache Kurve

b) Fertigteile  
bei  $G_1$  ausgeprägtes  
Kostenoptimum

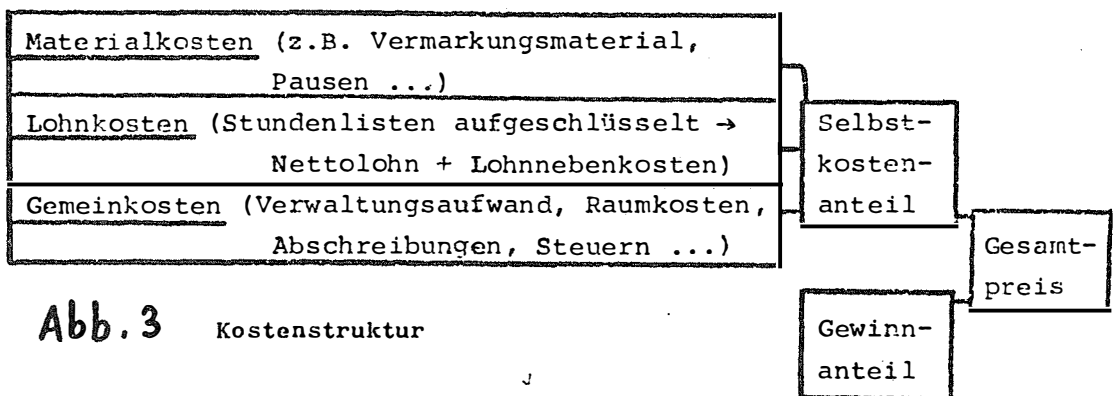
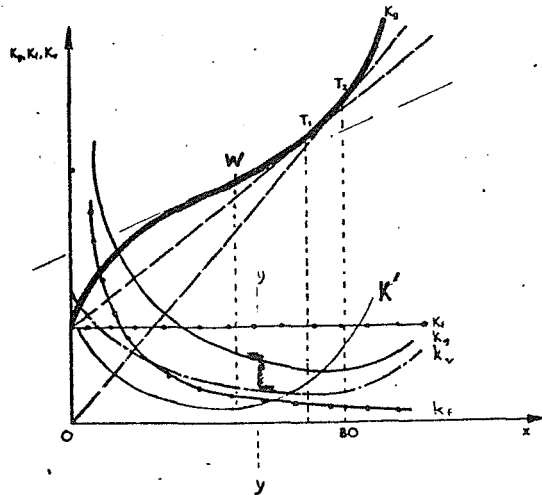


Abb. 3

Kostenstruktur

Abb. 4 : Zergliederung der Gesamtkostenkurve



- $K_g$  Gesamtkosten
- $K_v$  variable Kosten
- $K_f$  feste Kosten
- $K'$  Grenzkosten
- $k_g$  gesamte Durchschnittskosten
- $k_v$  variable Durchschnittskosten
- $k_f$  feste Durchschnittskosten
- $x$  Ausbringungsmenge Produktionsausstoß
- $W$  Wendepunkt
- $T$  Tangentenberührungspunkt
- $BO$  Betriebsoptimum (Minimum von  $k_g$ )

Abb. 5 : Beispiele für Kosten- bzw. Produktions- und Ertragskurven

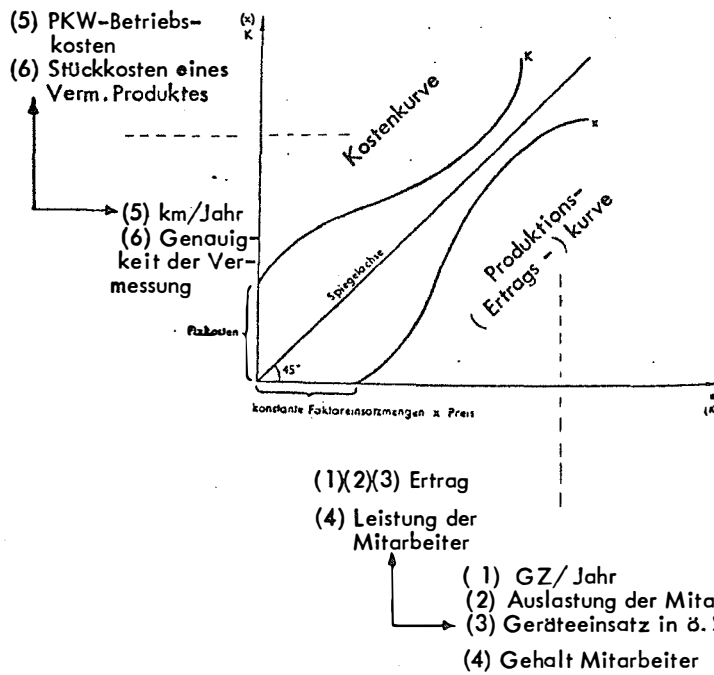
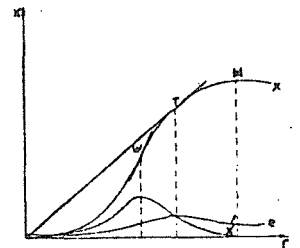


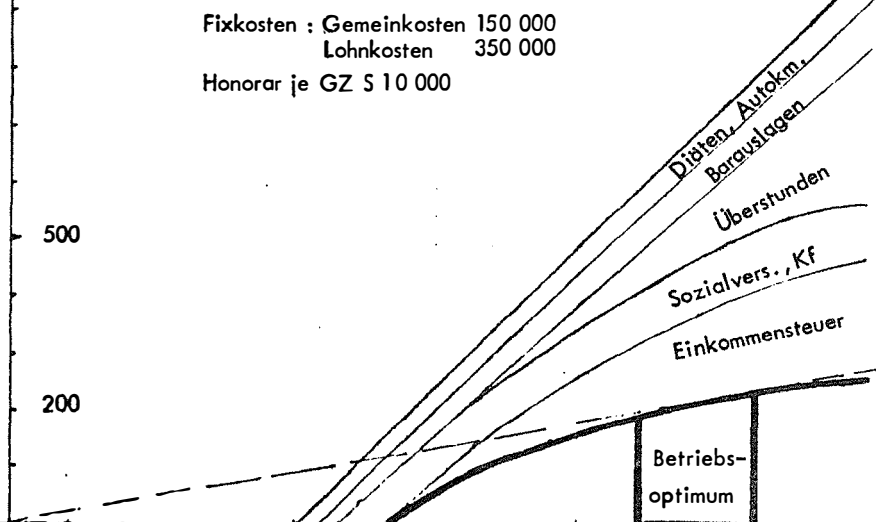
Abb. 6 Ertragskurve

- $x$  Ertrag
- $x'$  Grenzertrag
- $e$  Durchschnittsertrag
- $M$  Maximum



- $T$  Tangentenberühr. Pkt.
- $W$  Wendetangente
- $r_i$  Einsatzmenge des Produktionsfaktors  $i$

Abb. 7 Konstruktion des Auftragsoptimums für ein hypothetisches Ingenieurbüro, mit 3 Fixangestellten und Geräten im Wert von S 250 000,-



Geowiss. Mitt. 11

1976, 57 - 92

ASPEKTE BEI DER ELEKTRONISCHEN  
MASSENBERECHNUNG AUS QUERPROFILEN

von

W. Perdich

(Erweiterte Fassung eines Vortrags, gehalten  
am 14. Mai 1975 im Rahmen des Kolloquiums der  
Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.-Ing. Walter Perdich, Universitätsassistent am Institut für Allgemeine Geodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien.

## ZUSAMMENFASSUNG

Einer generellen Durchführung der im Zuge von Bauabrechnungen anfallenden Arbeiten mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung werden heute noch viele zum Teil nicht unberechtigte Argumente entgegengestellt. Die vorliegende Veröffentlichung versucht die bei der Massenberechnung aus Querprofilen vor allem aufgrund der gegebenen theoretischen wie praktischen Voraussetzungen nach wie vor bestehende Problematik aufzuzeigen, welche durch den Einsatz der EDV auch nur zum Teil bewältigt werden kann.

Neben der Angabe der wichtigsten für die Punkteinschaltung im Profil notwendigen Formeln werden die Flächenberechnung und einige damit verbundene Sonderfälle behandelt. Die wesentlichsten Einflüsse, welche das Ergebnis einer Massenberechnung verfälschen können, nämlich der Raum- und Krümmungsfehler, werden erläutert, bereits für deren Berücksichtigung bestehende Lösungsvorschläge diskutiert und im Hinblick auf ihre programmtechnische Durchführbarkeit untersucht. Dabei werden die heute allgemein gültige Formel zur Bestimmung der Lage des Schwerpunkts einer Fläche analog der Gauß'schen Flächenformel abgeleitet und die Zusammenhänge aufgezeigt. Angaben über einige der bedeutendsten, im deutschsprachigen Raum für die elektronische Bauabrechnung geltenden Richtlinien beschließen diese Arbeit.

## EINLEITUNG

Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet ist der Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung überall dort vertretbar, wo umfangreiches Datenmaterial durch gleichartige Berechnungsvorgänge zu verarbeiten ist. Die weitaus kompliziertere Thematik technisch-wissenschaftlicher Applikationen dürfte unter anderem ein Grund dafür sein, daß hier die Entwicklung wesentlich langsamer und zögernder vor sich geht, als im rein kommerziellen Bereich. Die Problematik straßenbau - und vermessungstechnischer Aufgaben verhalf der EDV jedenfalls rascher zum Durchbruch, als es in anderen technischen Fachgebieten der Fall war. Trotzdem gibt es auch hier immer wieder Aufgabenstellungen, deren elektronischer Behandlung in öffentlichen wie zivilen Kreisen oft nicht unberechtigte Kritik und Skepsis entgegengebracht wird. Dazu gehört nicht zuletzt der Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung bei der Durchführung von Bauabrechnungen unter Zugrundelegung der auf diesem Wege ermittelten bewegten Erdmassen. Die Berechnung des Umfangs der bei der Errichtung eines neuen Verkehrsweges durchgeführten Erdbewegungen und dessen Überprüfung gehörten lange Zeit zu den umfangreichsten und aufwendigsten Arbeiten im Straßenbau, welche bei Großvorhaben oft erst Jahre nach Baufertigstellung abgeschlossen werden konnten. Die rasche Entwicklung in der Bautechnik, insbesondere aber die zum Einsatz kommenden, immer leistungsfähigeren Maschinen sowie der bislang umfangreiche Personal- und Zeitaufwand veranlaßten Auftraggeber und Auftragnehmer gleichermaßen, echte Rationalisierungsmaßnahmen bei der Bauabrechnung zu erwägen. Seit einigen Jahren sind nun auch in Österreich intensive Bemühungen im Gange, die organisatorischen sowie theoretischen Voraussetzungen für einen Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung auf diesem Gebiet aufeinander abzustimmen und zu vereinheitlichen.

Man ist immer wieder versucht, von der EDV nicht nur eine Rationalisierung im Ablauf des Arbeitsprozesses sowie eine weitgehende Reduzierung der möglichen Fehlerquellen, sondern vor allem eine Steigerung der Genauigkeit in den durchgeführten Berechnungen zu erwarten. Gerade die letzte Forderung ist allerdings bei der oft komplizierten Form der im Straßenbau auftretenden Raumkörper und der dadurch bedingten theoretischen wie praktischen Voraussetzungen nur bedingt zu erfüllen. Geht man von der allgemein üblichen Annahme aus, eine derartige Masse aus den sie begrenzenden Querschnittsflächen und dem entsprechenden Profilabstand zu bestimmen, kann eine Genauigkeitssteigerung praktisch nur mehr in der detaillierteren Erfassung einzelner Profilflächen sowie in der Berücksichtigung verschiedener Einflüsse, wie z. B. der Vergrößerung oder Verkleinerung von Massen im Falle deren exzentrischer Lage zu einer gekrümmten Achse, erreicht werden. Gegenüber der althergebrachten Methode der graphischen bzw. halbgraphischen Flächenermittlung bietet die EDV natürlich weitaus mehr Möglichkeiten zur Erfassung der einzelnen Parameter, doch muß man sich auch hier die Grenzen vor Augen halten, die vor allem durch die theoretischen Grundlagen und die gegebene Aufnahmemethodik des natürlichen Geländes mit ihren unvermeidlichen Messungenauigkeiten gesetzt sind. Jeder Forderung nach genauerer Behandlung verschiedener Profildetails, der Berücksichtigung von Raum- oder Krümmungsfehlern muß jedenfalls immer wieder die Frage entgegengestellt werden, ob durch eine komplexere mathematische Formulierung dieser Probleme auch eine echte Steigerung der Genauigkeit des Gesamtergebnisses erwartet werden kann.

In zahlreichen Arbeiten namhafter Fachleute aus dem Bau- und Vermessungswesen wurde der Versuch unternommen, die bestehenden Rechenverfahren aufgrund theoretischer Untersuchungen zu verbessern und dadurch die Berücksichtigung verschiedenster Faktoren zu ermöglichen. Bis auf wenige Ausnahmen blieben diese Vorschläge jedoch, nicht zu-

letzt wegen ihres Einflusses auf die jahrzehntelang praktizierte Rechenmethodik vom tatsächlichen Einsatz ausgeschlossen. Die in fast allen Fällen notwendigerweise getroffenen Vereinfachungen und Generalisierungen lassen zudem die Frage offen, ob im Hinblick auf die realen Verhältnisse, deren effektive Erfassung auch durch die Anwendung komplizierter mathematischer Formelapparate nur bedingt möglich erscheint, tatsächlich eine Verbesserung gegenüber den althergebrachten und auch bezüglich ihrer Überprüfbarkeit klar durchschaubaren Methoden zu erreichen wäre. So beschränken sich die zahlreichen Programm-bibliotheken bei der Massenberechnung aus Querprofilen größtenteils nur auf die Berücksichtigung verschiedener Profildetails und des Krümmungsfehlers, dessen Auswirkung mathematisch relativ leicht zu erfassen ist. Der hinlänglich bekannte Raumfehler fällt trotz seines einseitigen Verhaltens ebenso wie die Messungsungenauigkeiten bei der Aufnahme und die Restfehler der nicht erfassbaren Geländemorphologie außer Betracht.

Trotz dieser einheitlich erscheinenden Voraussetzungen, deren formelmäßige Behandlung sowohl in den entsprechenden österreichischen wie bundesdeutschen Richtlinien ähnlich lautend existiert, tauchen bei der Anwendung verschiedener Massenberechnungsprogramme unter Zugrundelegung gleichen Datenmaterials in den Endergebnissen Differenzen auf, welche nicht mehr ausschließlich auf unterschiedliche Rechengenauigkeit zurückzuführen sind. Diese Tatsache setzte schon so manche Programmkonzeption zum Teil ungerechtfertigter Kritik aus, welche sich häufig auch als natürliche Reaktion auf die in den letzten Jahren vorbehaltlos bestehende Euphorie der elektronischen Datenverarbeitung gegenüber erklären läßt. Erst bei näherem Studium der theoretischen Grundlagen dieser einzelnen Programmsysteme lassen sich die auftretenden Abweichungen durch die unterschiedliche Behandlung einiger Detailprobleme begründen, für deren Lösungsweg in den entsprechenden Vorschriften entweder keine oder nur unzureichende Angaben ent-

REGELPROFIL

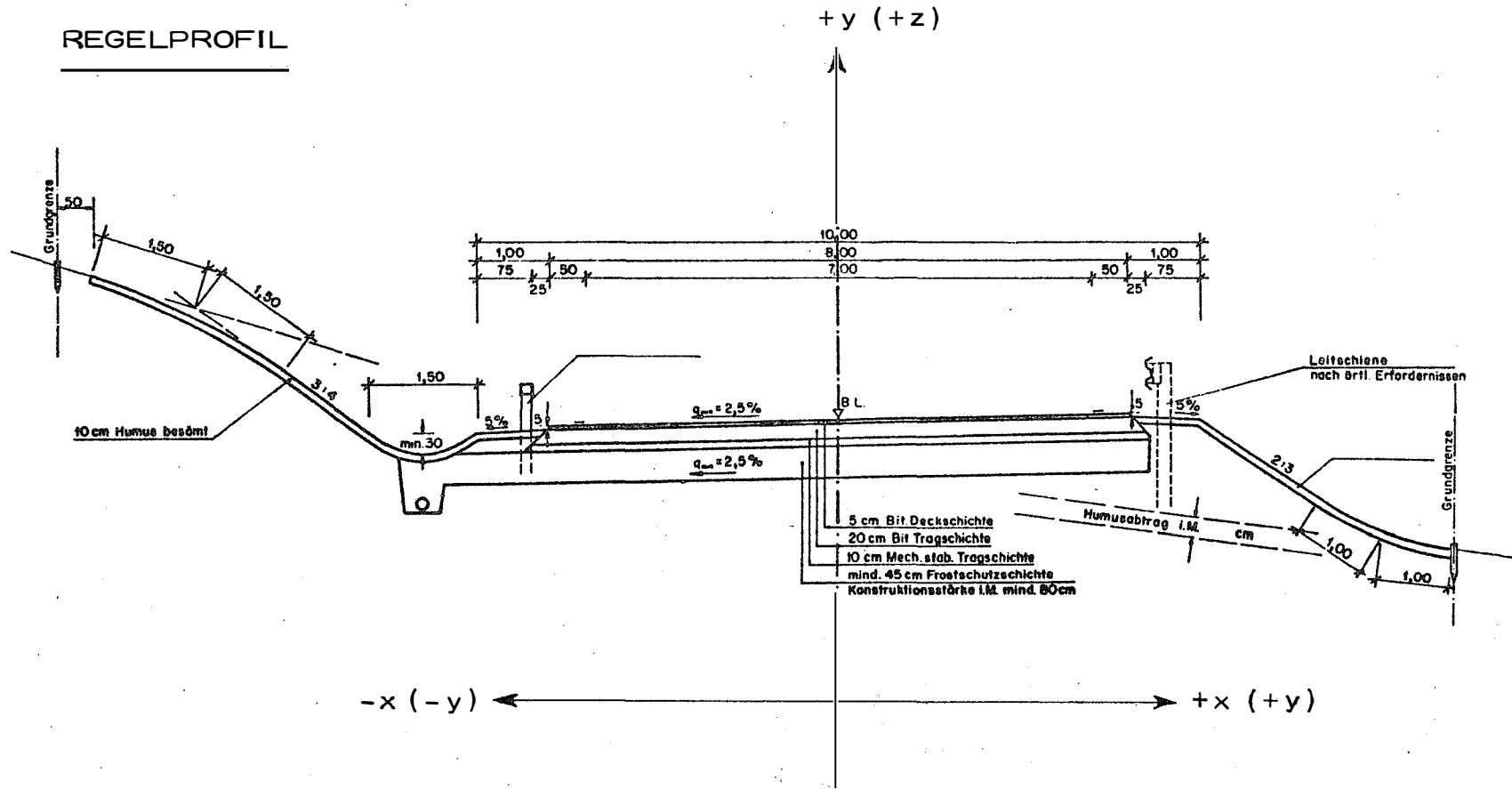


Abb. 1



halten sind. Diese Fragen betreffen zunächst die Berechnungsweise, mit der nicht geradlinig begrenzte oder nicht vollständig durch Punktkoordinaten vorliegende Flächen im Profil selbst bestimmt werden sollen, im weiteren die für die Berücksichtigung der Krümmungseinflüsse notwendige Ermittlung des Flächenschwerpunkts in einigen Sonderfällen. Obwohl es vorerst unmöglich erscheint, für die diesbezüglichen Berechnungen im Hinblick auf die unterschiedlichsten Ausbildungen der Regelprofile eine generelle Aussage zu treffen, sollte versucht werden, gerade für diese Details, deren Art der Erfassung das Gesamtergebnis nicht unwesentlich beeinflussen können, allgemeingültige Voraussetzungen zu schaffen. Diese würden nicht nur die Programmerstellung erleichtern sondern vor allem langwierige Diskussionen zwischen den Vertragspartnern und auf den von ihnen getroffenen Vereinbarungen basierende Programmadaptierungen auf ein Minimum beschränken. Im folgenden sollen nun einige auf diese Problematik bezugnehmende Fälle analysiert und ihre programmtechnische Durchführbarkeit diskutiert werden.

#### PUNKTEINSCHALTUNG IM QUERPROFIL

Die exakte numerische Bestimmung einer gerad- oder krummlinig begrenzten Fläche mit Hilfe der EDV setzt das Vorhandensein der rechtwinkligen Koordinaten ihrer Begrenzungspunkte, im weiteren z. B. im Falle der Ausbildung von Ausrundungen oder Gräben, die Bekanntgabe von Radien, Tangentenlängen oder Muldenbreiten und -tiefen voraus. Für eine in die Trassierungsberechnungen integrierte Massenermittlung bildet die Erstellung des Deckenbuchs, in der Folge die Berechnung der Koordinaten der Planums- und Böschungsknickpunkte sowie der Schnittpunkte zwischen entsprechender Kunstkörperlinien mit dem Urelände die wesentlichste Grundlage. Ausgehend von den Daten des aktuellen Regelprofils (Abb. 1) und der Höhe der Bezugslinie im betreffenden Querprofil werden dabei aufgrund der gegebenen Größen, wie

z. B. Fahrbahn- und Bankettbreiten, Querneigungen, Stärken der Elemente des Ober- und Unterbauplanums, Böschungsverhältnisse und der Punkte der Geländelinie die Koordinaten der einzelnen Profilpunkte in einem linksdrehenden Koordinatensystem mit den Achsen  $x$  und  $y$  - in der einschlägigen Literatur auch oft  $y$  und  $z$  genannt - berechnet. Die sich aus den Steigungsverhältnissen  $m : n$  ergebenden, auf die  $x$  - Achse bezogenen Richtungswinkel der entsprechenden Geraden werden dabei zum Zweck eines rascheren Berechnungsablaufs nicht über ihre Argumente sondern direkt über ihre leicht zu ermittelnden  $\sin$  - und  $\cos$  - Werte, welche in Anlehnung an die geodätische Schreibweise hier mit  $o$  und  $a$  bezeichnet werden sollen, in den Formeln verarbeitet. Da die Angabe des Steigungsverhältnisses allein noch keine eindeutige Aussage für eine quadrantenrichtige Berechnung der nachstehend angeführten Fälle zuläßt, muß eine zusätzliche Festlegung getroffen werden. Dies kann entweder durch eine einheitliche Steigungsrichtung von links nach rechts oder umgekehrt mit entsprechender Vorzeichenadaptionierung, aber auch durch vorzeichenrichtige Verarbeitung der Größen  $m$  und  $n$  erfolgen. Für diesen Fall stellt sich folgende Quadranten-situation dar (Abb. 2).

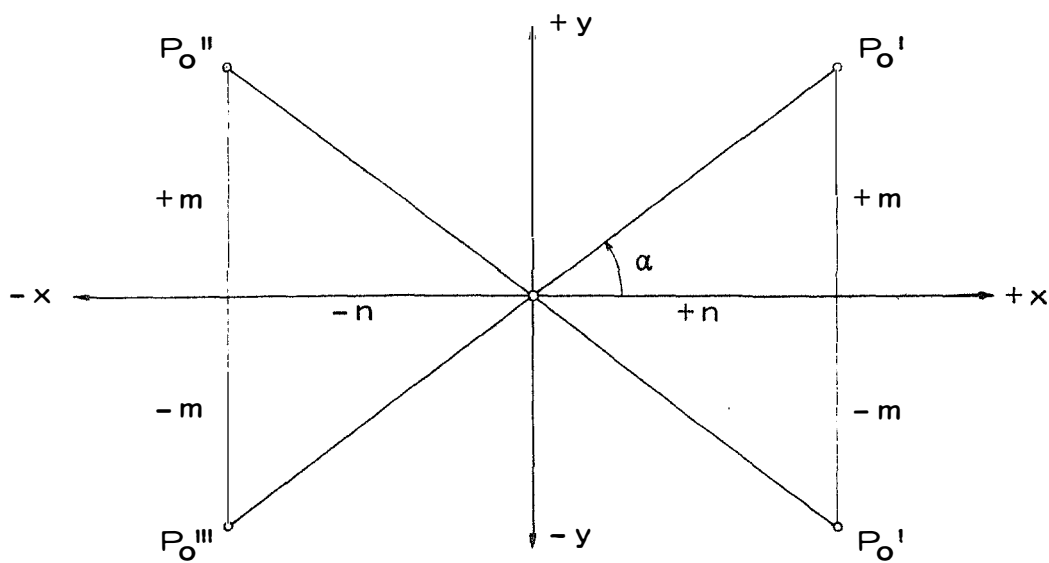


Abb. 2

Danach ergeben sich für  $o$  und  $a$  folgende Werte :

$$o = \frac{\pm m}{\sqrt{m^2 + n^2}} , \quad a = \frac{\pm n}{\sqrt{m^2 + n^2}} \quad (1)$$

Im Hinblick auf die verschiedensten Möglichkeiten in den Ausbildungen der Regelprofile und der zahlreichen Profildetails scheinen zwar in manchen Fällen, wie z. B. bei Fahrbahndecke, Tragschichte oder Mutterbodenab- und Andeckung vereinfachende Annahmen durchaus berechtigt, wobei jedoch der numerische Lösungsweg auch bei nur möglicher Anwendung von Näherungsverfahren nicht von vornherein ausgeschlossen werden sollte. Sieht man von den elementaren Fällen der Koordinatenermittlung in der direkten Horizontalen oder Vertikalen ab, stellen die nachstehend angegebenen, trigonometrischen Formeln die wesentlichsten Berechnungsschemen dar.

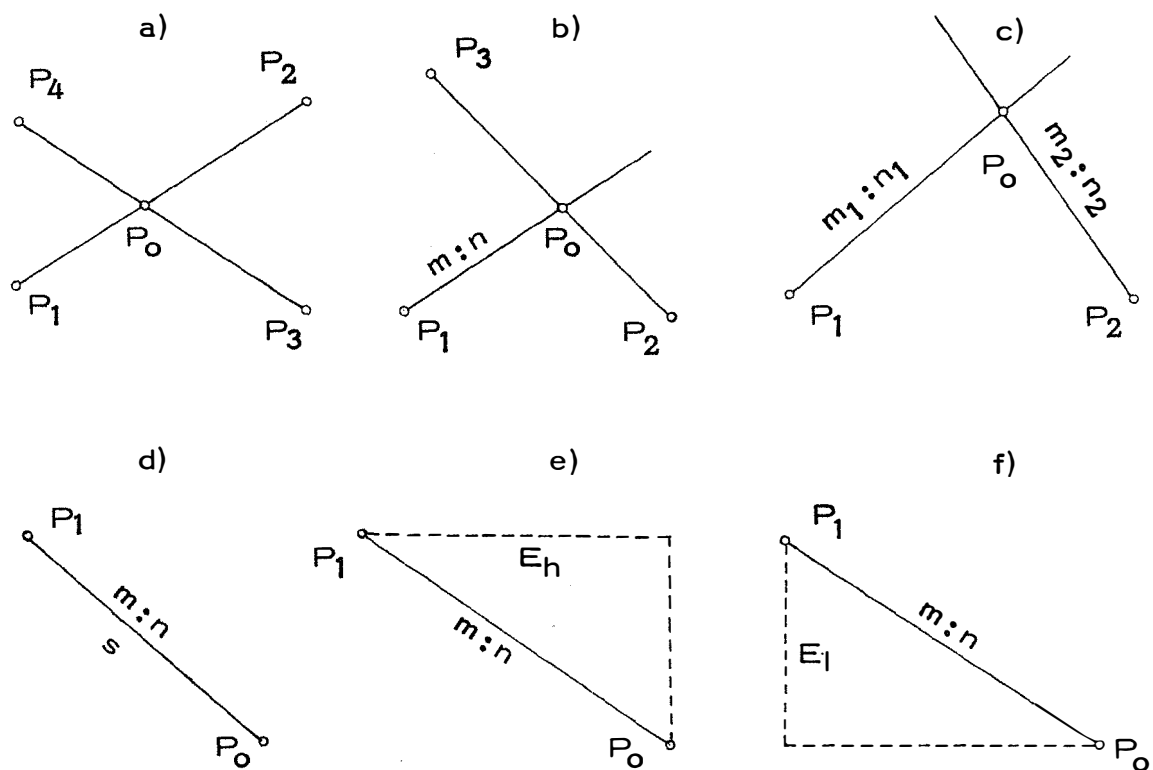


Abb. 3

Geradenschnitt - 4 Punkte (Abb. 2a)

$$x_o = x_1 + A \Delta x_{12} \quad (2)$$

$$y_o = y_1 + A \Delta y_{12}$$

mit

$$A = \frac{\Delta x_{13} \Delta y_{34} - \Delta y_{13} \Delta x_{34}}{\Delta x_{12} \Delta y_{34} - \Delta y_{12} \Delta x_{34}}$$

Geradenschnitt - 3 Punkte + 1 Steigung (Abb. 2b)

$$x_o = x_1 + B \cdot a \quad (3)$$

$$y_o = y_1 + B \cdot o$$

mit

$$B = \frac{\Delta x_{12} \Delta y_{23} - \Delta y_{12} \Delta x_{23}}{a \Delta y_{23} - o \Delta x_{23}}$$

Geradenschnitt - 2 Punkte + 2 Steigungen (Abb. 2c)

$$x_o = x_1 + C \cdot a \quad (4)$$

$$y_o = y_1 + C \cdot o$$

mit

$$C = \frac{\Delta x_{12} o_2 - \Delta y_{12} a_2}{a_1 o_2 - o_1 a_2}$$

Polarpunktberechnung (Abb. 2d)

$$x_o = x_1 + s \cdot a \quad (5)$$

$$y_o = y_1 + s \cdot o$$

Polarpunktberechnung mit horizontaler Distanz (Abb. 2e)

$$\begin{aligned}x_o &= x_1 + \frac{E_h}{|a|} \cdot a \\y_o &= y_1 + \frac{E_h}{|a|} \cdot o\end{aligned}\tag{6}$$

Polarpunktberechnung mit lotrechter Distanz (Abb. 2f)

$$\begin{aligned}x_o &= x_1 + \frac{E_l}{|o|} \cdot a \\y_o &= y_1 + \frac{E_l}{|o|} \cdot o\end{aligned}\tag{7}$$

Neben diesen exakt durchzuführenden Berechnungen ergibt sich in einigen Fällen die Frage, inwieweit eine strenge Punktbestimmung unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Ausgangsdaten überhaupt sinnvoll ist. So müßten z. B. bei der Mutterbodenabdeckung die Punkte des Ureländes ohne Humus über die Winkelsymmetrale in den Geländeknickpunkten bestimmt werden (Abb. 4).

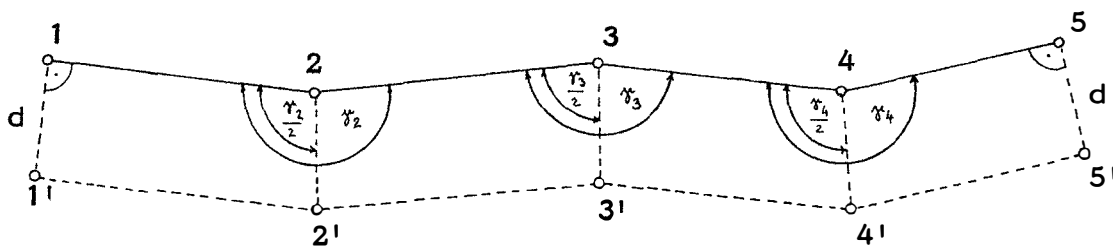


Abb. 4

Streng genommen wäre aber dann auch die im Durchschnitt über die Profilbreite angegebene Humusstärke d auf diese Richtung zu projizieren. Obwohl die programmtechnische Durchführbarkeit dieses

Problems sicherlich keine Schwierigkeiten bereitet, muß bedacht werden, daß einerseits die Humusstärke in bezug auf die Größe der damit geltend gemachten Einflüsse einen bei weitem überwiegenden Unsicherheitsfaktor beinhaltet, andererseits die Messungsungenauigkeiten bei der Aufnahme des Urgeländes eine strenge Erfassung der geometrischen Situation nicht sinnvoll erscheinen lassen. Im allgemeinen dürfte hier die Reduktion der  $y$  - Werte der Geländepunkte um den Wert  $d$  durchaus genügen, ein Vorgang, welcher durch Angabe einer durchschnittlichen lotrechten Humusstärke auch seine numerische Berechtigung voll erhalten würde.

Aufgrund dieser Überlegungen und der damit verbundenen Unsicherheit in der Erfassung der Humusbewegungen wird auch in einigen Programmkonzeptionen von einer massenbezogenen Ermittlung abgesehen, im Querprofil nur die Länge der Humuslinien bestimmt und demgemäß im Endergebnis die Größe der Ab- bzw. Auftragsflächen ausgewiesen. Diese Berechnungsweise scheint auch für einige andere Details des Straßenaufbaus wie z. B. obere Tragschichte, Fahrbahndecke, Bankette usw. durchaus angebracht, da eine vollständige punktweise Erfassung der betreffenden Profilflächen die Genauigkeit des Endergebnisses nur unwesentlich beeinflussen würde und im Hinblick auf die unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten in der Bauausführung auch die Wahrscheinlichkeit dieses Wertes nicht erhöht werden könnte.

#### FLÄCHENBERECHNUNG

Unter der Voraussetzung, daß die Begrenzungspunkte der einzelnen Profildetails in koordinativer Form vorliegen, kann mit der Berechnung der entsprechenden Flächen begonnen werden. Dabei gilt für geradlinig begrenzte Polygone die Formel von C. F. GAUSS in einer der nachstehend angeführten Formen:

$$F_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i-1} - y_{i+1}) \quad (8)$$

$$F_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+1}) (y_i - y_{i+1}) \quad (9)$$

Durch beide Formeln erhält man einen positiven Wert der Fläche, wenn die Reihenfolge der Verarbeitung der Punkte  $P_i$  im Uhrzeigersinn erfolgt, andernfalls einen negativen Wert. Von diesen an und für sich gleichwertigen Ausdrücken empfiehlt sich allerdings (9), welcher auch unter dem Namen "Trapezformel" bekannt ist, für die Anwendung in Programmen für Computer mittlerer bis kleiner Speicherkapazität, da hier im Gegensatz zu (8) pro Einzelprodukt nur die Koordinatenpaare zweier Punkte gleichzeitig benötigt werden. Geradlinig begrenzte Profilflächen können demnach, rein analytisch gesehen, durchaus exakt berechnet werden.

Aufgrund der im allgemeinen für die gesamte Trassierungsbreite geltenden durchschnittlichen Humusstärke und der dadurch bedingten, bereits erwähnten Unsicherheit der Ausgangsdaten werden für Mutterbodenab- und Andeckungen keine geschlossenen Polygone aufgebaut sondern diese Profilflächen vereinfacht als eine Vielzahl von Rechtecken oder Parallelogramme aufgefaßt und deren Größe als Produkt zwischen jeweiligem Punktabstand  $s_i$  und geltender Humusstärke  $d$  ausgewiesen. Demnach ergibt sich für einen derartigen Flächenwert:

$$F_H = d \cdot \sum_{i=1}^n s_i \quad (10)$$

Betrachten wir dieses Profildetail in einer die tatsächliche Situation übertreibenden Form (Abb. 5), wobei die Stärke  $d$  quer zur Geländeneigung ermittelt wurde, erkennt man allerdings, daß hier Fehler entstehen, deren Größe vor allem durch die Anzahl der Geländepunkte und der in ihnen bestehenden Knicke abhängig ist. Die durch Anwendung der Näherungsformel (10) entstehenden Überlappungen und Klaffungen werden nur dann auf ein Minimum beschränkt sein, wenn die Gelände-

punkte annähernd auf einer Geraden liegen, oder die Winkelhalbierenden in den Knickpunkten lotrecht sind.

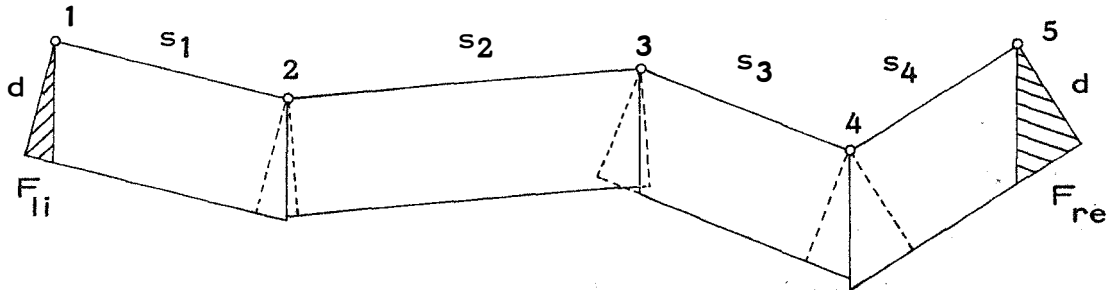


Abb. 5

Der Versuch, durch Berücksichtigung der außen liegenden Dreiecksflächen  $F_{li}$  und  $F_{re}$  die Gesamtfläche zu verbessern, bringt im Falle der Verarbeitung von mehr als drei Geländepunkten keinen wesentlichen Erfolg, da durch Anbringung derartiger Korrekturen jeweils nur eine Fehlerwirkung beseitigt werden kann. Gegenüber der exakten, als Polygon ermittelten Fläche liegen zudem diese Verbesserungen bei Anwendung von Formel (10) im allgemeinen unter der erreichbaren Gesamtgenauigkeit.

Schon OSTERLOH [7] nimmt Bezug auf die bestehende Streitfrage, ob die Mutterbodenstärke lotrecht zur Erdoberfläche oder aber senkrecht zur jeweiligen Geländequerneigung ermittelt werden sollen. Er kommt zu dem Schluß, daß bei schwach geneigtem Gelände die Berechnungsweise für die Abhubmenge eine eher untergeordnete Rolle spielt, im Gegensatz dazu bei der Mutterbodenandeckung, bei der Böschungen bis zu einem Verhältnis von 2 : 3 zu humusieren sind, einseitig wirkende Fehler durch Angabe einer durchschnittlichen lotrechten Humusstärke vermieden werden können. Neben dem Vorteil der wesentlich einfacheren Berechnung - vor allem bei der Ausbildung von Böschungsausrundungen - können in diesem Fall mit Hilfe des horizontalen Punktabstands, welcher gleich der Koordinatendifferenz  $\Delta x$  ist, auch die erwähnten Klaffungen und Überlappungen ausgeschaltet werden. Die einheitliche Festlegung auf die Angabe lotrechter Mutterbodenstärken würde diese



Fehlerquellen jedenfalls beseitigen und bei längeren Planungsabschnitten dadurch in den Positionssummen dieser Bodenart bedingte Abweichungen auf ein Mindestmaß reduzieren.

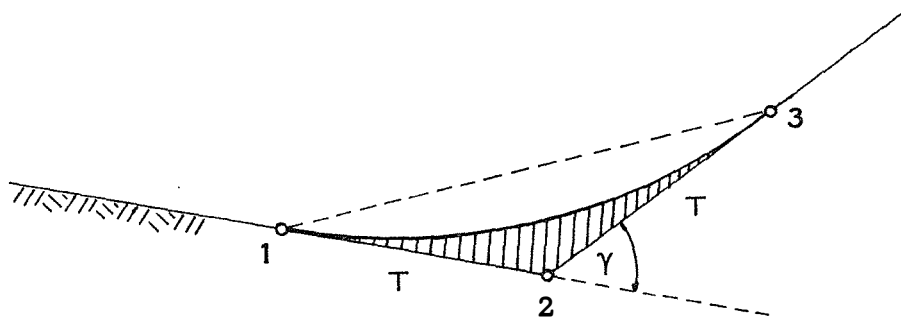


Abb. 6

Erst durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung wird die integrierte Erfassung einzelner Profildetails ermöglicht, deren Einfluß gerade bei umfangreichen Massenberechnungen nicht zu unterschätzen ist. Dazu gehören z. B. jene Zusatzflächen, welche im Falle der Ausbildung von Böschungsausrundungen am Dammfuß oder am Einschnittsrand entstehen (Abb. 6). Die Möglichkeit der Bestimmung derartiger Flächen mit Hilfe eines auf die jeweiligen Verhältnisse angepaßten Profilmaßstabes ist eher den graphischen Ermittlungsverfahren zuzuordnen und aus diesem Grunde bei einer elektronischen Behandlung auszuschließen. Im einfachsten Fall werden die Größen dieser Flächen als Differenz zwischen Dreiecks- und Segmentflächen berechnet und im Auftrags- oder Abtragspolygon vorzeichenrichtig verarbeitet. Der Winkel  $\gamma$  ist dabei als Schnittwinkel zwischen Böschungs- und jeweiliger Geländelinie zu verstehen und aus den entsprechenden Richtungswinkeln zu ermitteln. Für die Fläche  $F_A$  einer Ausrundung ergibt sich

$$F_A = T^2 \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \left( 1 - \widehat{\frac{\gamma}{2}} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \right) \quad (11)$$

und für die Bogenlänge

$$B_A = T \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \cdot \widehat{\frac{\gamma}{2}} \quad (12)$$

In einem Erlaß des Bundesministeriums für Bauten und Technik aus dem Jahre 1972 wurde für die Ausbildung von Böschungsausrundungen eine Regelung getroffen, wobei für Autobahnen und Schnellstraßen ( $A_1$  bis  $A_5$ ) und Straßen mit gemischtem Verkehr ( $B_1$  bis  $B_6$ ) die Größen  $T$ ,  $a$ ,  $c_{\min}$  und  $m$  festgelegt wurden (Abb. 7).

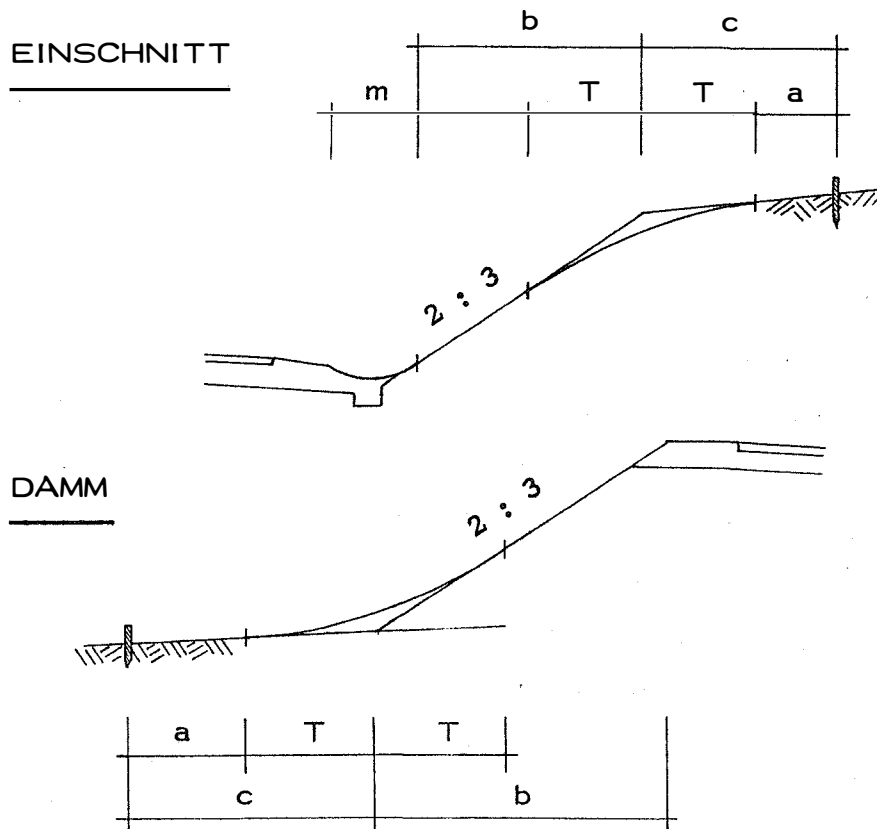


Abb. 7

Da bei den damaligen, im Zuge der Systemanalyse für ein Massenberechnungsprogramm durchgeführten Erhebungen nicht festgestellt werden konnte, ob es sich hier trotz graphischer Angabe der auf die Horizontale projizierten Tangententlängen nach wie vor um kreisförmige Ausrundungen handelt, mußte versucht werden, einen numerischen Lösungsweg für diesen Sonderfall zu finden.

Unter diesen Voraussetzungen kann für alle in der Praxis vorkommen-

den Böschungs- und Geländeneigungen die quadratische Parabel  $Y^2 = 2pX$  als gute Näherung für diese Ausrundungskurve bezeichnet werden (Abb. 8).

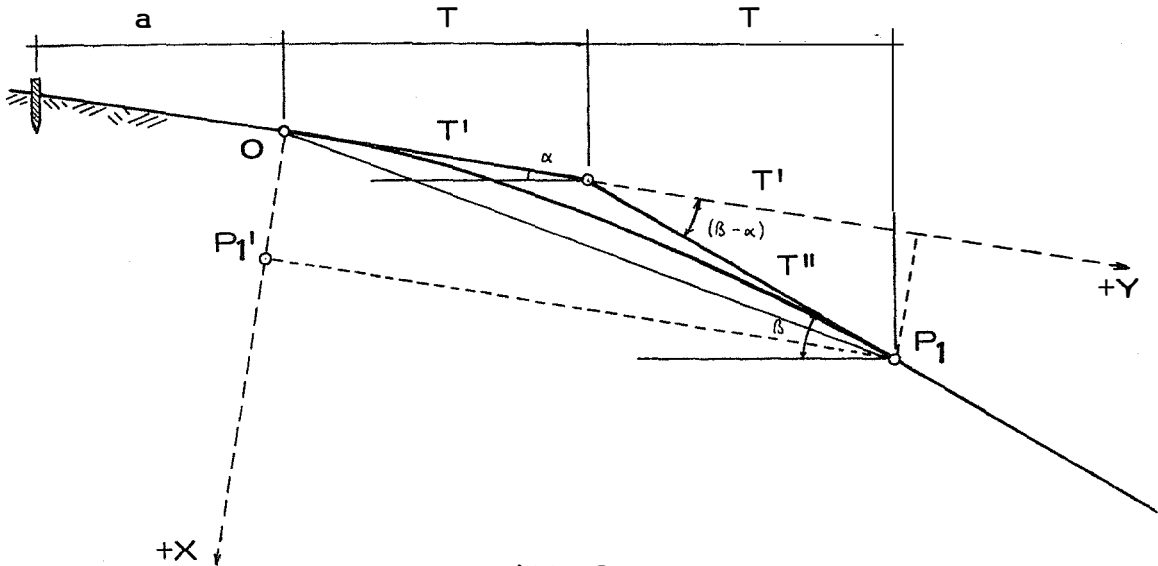


Abb. 8

Bezeichnet O den Ursprung des Parabelsystems, ergeben sich für die Koordinaten des Punktes  $P_1$  in diesem System

$$Y_1 = T \left( \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\cos \beta} + \frac{1}{\cos \alpha} \right) \quad (13)$$

$$X_1 = T \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\cos \beta}$$

und für die Parabelsegmentfläche durch Integration abzüglich der Dreiecksfläche  $OP_1P_1'$

$$F_{PS} = \int_0^{x_1} \sqrt{2pX} \, dX - \frac{X_1 Y_1}{2} = \frac{X_1 Y_1}{6} \quad (14)$$

somit recht einfache Formeln zur Bestimmung des Einflusses von Ausrundungsflächen. Da für den Quotienten  $\frac{X_1}{Y_1}$  im allgemeinen kleine Werte erhalten werden, kann zur Berechnung der Länge des Parabelbogens näherungsweise angesetzt werden:

$$\widehat{OP_1} = Y_1 \left[ 1 + \frac{2}{3} \left( \frac{X_1}{Y_1} \right)^2 - \frac{2}{5} \left( \frac{X_1}{Y_1} \right)^4 \right] \quad (15)$$

womit auch für diesen Fall die Grundlagen für eine massen- oder flächenbezogene Erfassung der Humusbewegungen gegeben sind.

Unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Ausgangsdaten, sowie der sich bei der Bauausführung ergebenden Schwierigkeiten dürfte jeder Versuch, die Ausrundungsflächen genauer zu erfassen, umstritten sein. Im Hinblick aber auf die sich im Extremfall ergebenden Differenzen zwischen Kreis- und Parabelsegmenten bei verschiedenen definierten Tangentenlängen von etwa  $1,5 \text{ m}^2$  in der Fläche und bis 2 m in der Bogenlänge, wäre eine eindeutige Festlegung zur Vermeidung größerer Abweichungen in den Endergebnissen verschiedener Berechnungen wünschenswert.

#### DER EINFLUSS DES RAUMFEHLERS

Unter dem Begriff Raumfehler versteht man jenen Wert, um den die Masse eines prismatoidischen Körpers bei Anwendung der allgemein üblichen Näherungsformel

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l \quad (16)$$

worin die Größen  $F_1$  und  $F_2$  die Flächeninhalte benachbarter Querprofile und  $l$  den Profilabstand bezeichnen, verfälscht wird. Betrachten wir einen derartigen Körper, so läßt sich dieser Massenfehler zunächst rein allgemein aufgrund der geometrischen Zusammenhänge definieren.

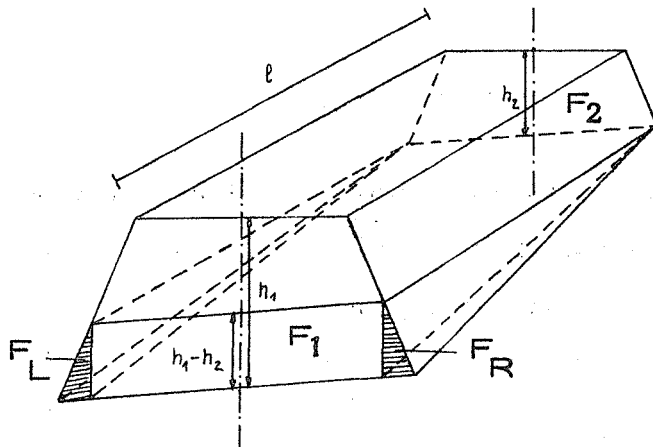


Abb. 9

Projiziert man die Fläche  $F_2$  nach  $F_1$  so setzt sich unter der Voraussetzung gleicher Geländequerneigung  $q$  das Volumen dieses Körpers aus dem Prisma mit  $F_2$ , einen Keil mit  $(F_1 - F_2 - F_L - F_R)$  und zwei Pyramiden mit  $F_L$  und  $F_R$  als Grundflächen zusammen. Da für alle diese Teilkörper der Profilabstand  $l$  als Höhe gleich ist, erhält man durch Summation der einzelnen Volumsformeln die Gesamtmasse des Prismatoids mit

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot l - \frac{F_L + F_R}{6} \cdot l \quad (17)$$

Somit ergibt sich der Einfluß des Raumfehlers bei Anwendung der Näherungsformel (16) durch

$$\Delta M_R = \frac{F_L + F_R}{6} \cdot l \quad (18)$$

als arithmetisches Mittel der Inhalte der beiden rechts und links von der Bezugsachse liegenden Pyramiden. Schon aus dieser einfachen Überlegung heraus, welche bereits MÜLLER [5] in eine mathematisch brauchbare Form gebracht und in einem graphischen Verfahren zur Massenermittlung berücksichtigt hat, ist ersichtlich, daß der Raumfehler immer einseitig wirkt, d. h. die abgerechnete Masse zugunsten der bauausführenden Stelle stets zu groß ist.

Durch die Simpson'sche Formel wird der Rauminhalt eines Körpers, der von zwei verschiedenen großen parallelen Flächen begrenzt wird, exakt aus

$$M = \frac{l}{6} (F_1 + 4F_m + F_2) \quad (19)$$

berechnet.  $F_m$  bedeutet darin den Mittelwert aller Querschnittsflächen in dem betrachteten Intervall. Neben der exakten Berechnung der Größe  $F_m$  über den Mittelwertsatz der Integralrechnung wie sie von JEPSSEN [1] und JOSCHT/STARKL [3] durchgeführt wurde, ergibt auch der näherungsweise Ansatz

$$F_m = \frac{(\sqrt{F_1} + \sqrt{F_2})^2}{4}$$

und damit

$$M = \frac{1}{3} (F_1 + \sqrt{F_1 F_2} + F_2) \quad (20)$$

die Formel für das Volumen eines Pyramidenstumpfes eine Möglichkeit zu einer verbesserten Massenbestimmung. Während allerdings OSTERLOH [7] anführt, daß selbst bei einem Flächenverhältnis von 1 : 2 der beiden Nachbarprofile durch Anwendung der allgemein anerkannten Formel (16) gegenüber jener für den Pyramidenstumpf kein größerer relativer Fehler als 2 % der Gesamtmasse zu erwarten ist, verteidigt WITTKÉ [10] den Ansatz (20) als rationellen und wirkungsvollen Berechnungsgang zur weitestgehenden Ausschaltung des Raumfehlers. Obwohl die Einfachheit dieses Verfahrens seiner praktischen Durchführung sicherlich zuträglich ist, dürften sich bei einer generellen Arbeitsweise nach diesem Prinzip insofern Schwierigkeiten ergeben, als die dabei erhaltenen Massen gegenüber den wahren Werten durchwegs etwas zu klein sind und eine Vergütung unterhalb des tatsächlich getätigten Leistungsumfanges für den Auftragnehmer unzumutbar wäre.

Um den Einfluß des Raumfehlers zumindest in bezug auf die geometrischen Bedingungen in einem idealisierten Querschnitt auch numerisch abschätzen zu können, sind also zunächst die Grundflächen der beiden seitlich von der Bezugsachse liegenden Pyramiden zu bestimmen (Abb. 10).

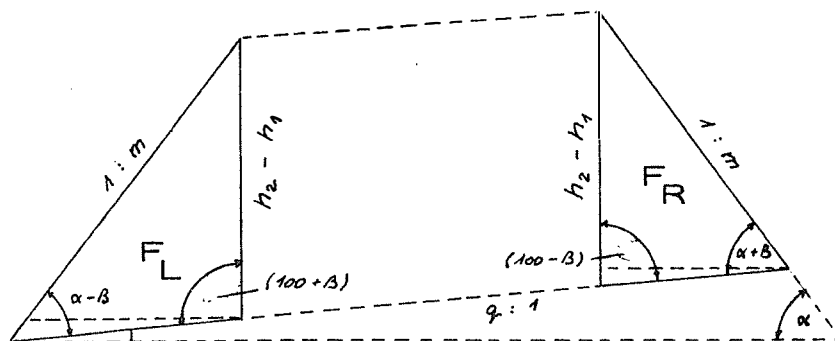


Abb. 10

$$F_L = \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{\sin(\alpha + \beta)} \sin(100 + \beta) = \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}$$

$$F_R = \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{\sin(\alpha - \beta)} \sin(100 - \beta) = \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$$

Da aber  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{m}$  und  $\operatorname{tg} \beta = q$ , ergibt sich bei Summation von  $F_L$  und  $F_R$

$$F_L + F_R = \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{1/m - q} + \frac{1}{2} \frac{(h_2 - h_1)^2}{1/m + q} = \frac{m(h_2 - h_1)^2}{1 - m^2 q^2}$$

bzw. für den Raumfehler

$$\Delta M_R = \frac{m(h_2 - h_1)^2}{6(1 - m^2 q^2)} l \quad (21)$$

Dieser Fehlereinfluß ist demnach primär abhängig von dem Unterschied in den Höhen benachbarter Profile. Da er proportional dem Quadrat von  $\Delta h_{12}$  ist, kann er zudem auf ein Viertel seiner ursprünglichen Größe verringert werden, wenn der Profilabstand  $l$  auf die Hälfte reduziert wird.

Der Raumfehler  $\Delta M_R$  nach Formel (21) soll nun anhand einer Tabelle (Abb. 11) veranschaulicht werden. Unter Annahme eines Profilabstandes von  $l = 25 \text{ m}$  und einem Böschungsverhältnis  $2:3$  ( $m = 1,5$ ) ergeben sich für verschiedene Werte  $\Delta h$  und Geländequerneigungen  $q$  die nachstehend angeführten Werte für den Raumfehler in  $\text{m}^3$ . Dabei ist deutlich zu erkennen, daß der zu erwartende Fehlereinfluß weitgehend unabhängig von der Größe der Geländequerneigung ist, umso mehr aber von der Differenz der Profilhöhen beeinflusst wird. Der prozentuelle Anteil des Raumfehlers ist bei größeren Massen wie sie z. B. bei Autobahnen oder Schnellstraßen entstehen natürlich kleiner als bei Abschnitten mit kleineren Querschnittsflächen. Diesen relativen Fehleranteil haben SCHÄFER [9] und JOSCHT/STARKL [3] in Abhängigkeit von verschiedenen Kronenbreiten  $B$  und Querschnittshöhen

$H_1$  und  $H_2$  theoretisch untersucht und anhand von Diagrammen dargestellt.

$h$ (m) \ $q$ (%)	0	5	10	15	20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,39	0,39	0,40	0,41	0,43
0,50	1,56	1,57	1,60	1,65	1,72
0,75	3,52	3,54	3,60	3,70	3,86
1,00	6,25	6,29	6,39	6,58	6,87
1,25	9,77	9,82	9,99	10,29	10,73
1,50	14,06	14,14	14,39	14,81	15,45
1,75	19,14	19,25	19,58	20,16	21,03
2,00	25,00	25,14	25,58	26,33	27,47

Abb. 11

Während MÜLLER [5] versuchte, die damals noch ausschließlich zur Anwendung gelangenden graphischen Verfahren zur Massenermittlung unter Berücksichtigung des Raumfehlers zu verbessern, gelang JEPSEN [1] die Entwicklung eines durchaus klaren und für den numerischen Lösungsweg mit Hilfe der EDV geeigneten Formelapparats. Unter Umgehung der im allgemeinen schwer zu ermittelnden Profilhöhen  $h_i$  definiert er den Begriff der "Rechenhöhe  $h$ ", welche sich aufgrund der gegebenen Kronenbreite  $B$ , des Böschungsverhältnisses  $1 : m$  und der ermittelten Profilfläche unabhängig von der Geländequerneigung folgendermaßen ergibt.

$$h = -\frac{B}{2m} + \frac{1}{2m} \sqrt{B^2 + 4mF} \quad (22)$$

Danach läßt sich eine Teilmasse unter Ausschaltung des Raumfehlers



mit dem Ausdruck

$$M = \left[ \frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{m}{6} (h_2 - h_1)^2 \right] \cdot l \quad (23)$$

berechnen, wobei sich  $h_1$  und  $h_2$  als die oben erwähnten Rechenhöhen in benachbarten Profilen aus Formel (22) ergeben.

Der Grund, warum dieses Verfahren, dessen Durchführung mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung keine Probleme bereitet, meines Wissens nach keinen Eingang in praktische Programmkonzeptionen gefunden hat, dürfte in der Schwierigkeit liegen, die Gesamtheit aller Auftragnehmer von der Notwendigkeit und Richtigkeit einer derartigen Korrektur zu überzeugen. Die aufgrund einer solchen Massenberechnung entstehende Kostenkalkulation dürfte vor allem bei längeren Planungsabschnitten gegenüber jener bei Anwendung der jahrelang praktizierten und anerkannten Näherungsformel (16) eine nicht unwesentliche Verminderung erfahren. Zudem würden entsprechende Vorschriften zur Berücksichtigung des Raumfehlers die ausschließliche Durchführung von Massenberechnungen und deren Überprüfung über EDV-Anlagen bedingen, eine Forderung, welche derzeit ohne Einschränkung noch nicht gestellt werden kann. So verbleibt als einzige Möglichkeit zur Minimierung des Einflusses des Raumfehlers eine entsprechende Wahl des Profilabstandes, so daß der Unterschied in den einzelnen Profilhöhen keine Überschreitung der gegebenen Genauigkeitsgrenzen hervorruft.

#### DER KRÜMMUNGSFEHLER

Nach dem bisher Gesagten läßt sich also die Masse eines Raumkörpers mit oder ohne Erfassung des Raumfehlers relativ einfach berechnen. Bei gekrümmten Achsen, wie sie z. B. durch Kreis- oder Klothoidenbögen dargestellt werden, erfahren diese Massen je nach Art ihrer Lage zur Bezugslinie eine Veränderung, ein Vorgang, der durch das

unter dem Namen "GULDIN'sche Regel" bekannte Gesetz festgelegt wird :

Das von einem beliebigen ebenen Flächenstück bei der Drehung um eine in seiner Ebene gelegenen Achse, die das Flächenstück nicht durchsetzt, beschriebene Volumen ist gleich dem Produkt aus dem Inhalt des Flächenstücks und dem Weg seines Schwerpunktes bei der Drehung.

Man bezeichnet nun jene Größe, welche bei Anwendung der Formel (16) zur Berechnung der Masse eines Raumkörpers bei Vorliegen einer gekrümmten Achse vernachlässigt wird, als Krümmungsfehler. Um eine exakte Ermittlung des Volumens eines derartigen Körpers durchführen zu können, wäre also das Integral aller Flächenelemente über den Schwerpunktsweg zu berechnen. Bei gleicher achsbezogener Lage aller Profilschwerpunkte würden diese eine Parallelkurve zur Mittelachse beschreiben. Da tatsächlich aber die Querschnittsflächen und demnach auch die einzelnen Schwerpunktslagen veränderlich sind, wird durch sie im allgemeinen eine Raumkurve beschrieben, zu der die aufgenommenen Profile nicht mehr senkrecht stehen.

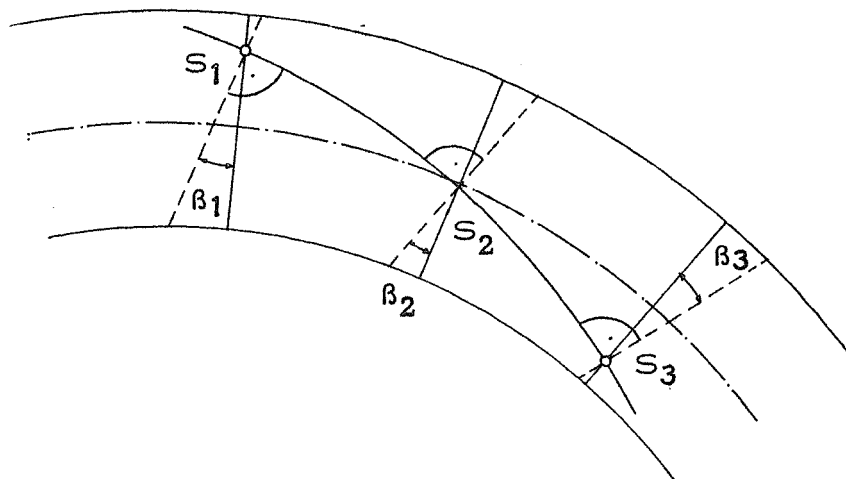


Abb. 12

Da eine Ermittlung der normal zur Schwerpunktsbahn liegenden Querprofilflächen und ihres Schwerpunkts unmöglich erscheint, sollte zur Vermeidung eines größeren Fehlereinflusses bei der Aufnahme bereits

darauf geachtet werden, daß die Winkel  $\beta$  zwischen den zur Schwerpunktsbahn liegenden Profilen und den aufgenommenen Querschnitten möglichst klein sind (SCHÄFER [9]).

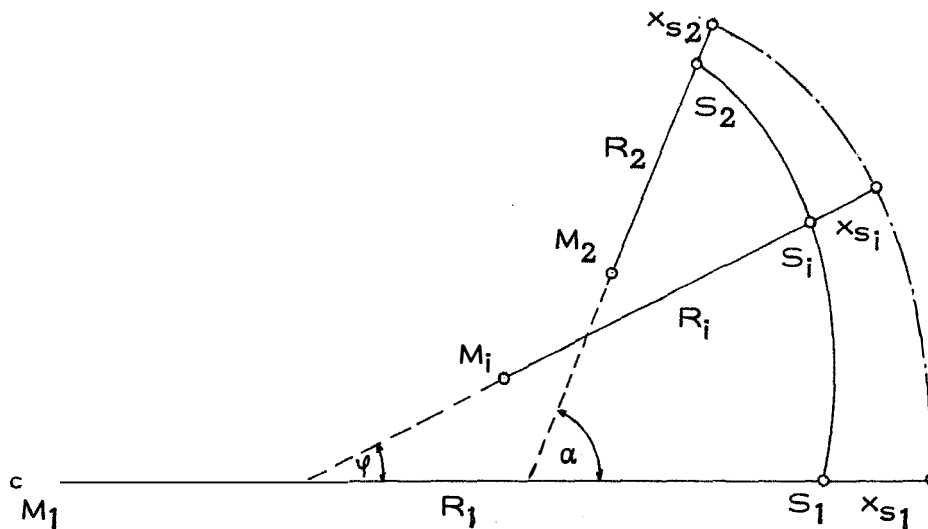


Abb. 13

Um das Volumen eines Körpers entlang einer beliebig gekrümmten Achse bestimmen zu können, muß folgender Ansatz durchgeführt werden,

$$V = \int_0^{\alpha} F(\varphi) [R(\varphi) - x_s(\varphi)] \cdot d\varphi \quad (24)$$

worin  $F$  die in Abhängigkeit des Winkels  $\varphi$  veränderliche Querschnittsfläche,  $R$  den jeweilig geltenden Krümmungsradius und  $x_s$  den Schwerpunktsabstand von der Bezugslinie bezeichnen. Die Richtigkeit dieses Ansatzes wurde von JOSCHT/STARKL [3] sehr ausführlich theoretisch begründet und im weiteren eine den praktischen Voraussetzungen angepaßte Formel abgeleitet.

Als statisches Moment einer Fläche  $F$  bezeichnet man das Produkt

$$S_F = F \cdot x_s \quad (25)$$

woraus sich andererseits der Schwerpunktsabstand mit

$$x_s = \frac{S_F}{F} \quad (26)$$

ergibt. Sind die statischen Momente mehrerer Teilflächen  $F_n$  bekannt, kann demnach der Schwerpunktsabstand  $x_s$  der Gesamtfläche  $F$  aus

$$x_s = \frac{x_1 F_1 + x_2 F_2 + \dots + x_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{F} \quad (27)$$

berechnet werden. Durch Umformung des Ansatzes (24) und Anwendung des Mittelwertsatzes der Integralrechnung erhält man schließlich

$$M = F_m \cdot k \cdot l \quad (28)$$

mit

$$F_m = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

und

$$k = 1 - \frac{S_1 R_2 + S_2 R_1}{R_1 R_2 (F_1 + F_2)} \quad \text{für variable Krümmung}$$

bzw.

$$k = 1 + \frac{1}{R} \frac{S_1 + S_2}{F_1 + F_2} \quad \text{für konstante Krümmung.}$$

In diesen Formeln bedeuten  $F_1$  und  $F_2$  die Querschnittsflächen benachbarter Profile,  $S_1$  und  $S_2$  deren statische Momente und  $R_1$  und  $R_2$  die in den entsprechenden Achspunkten geltenden Krümmungsradien. Somit liegt hier eine recht einfache Methode zur Berücksichtigung des Krümmungsfehlers vor. Setzt man für  $F_m$  und  $k$  die obenstehenden Ausdrücke in Formel (28) ein, erhält man für die Masse des Raumkörpers

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \left[ 1 - \frac{S_1 R_2 + S_2 R_1}{R_1 R_2 (F_1 + F_2)} \right] \cdot l$$

Da nach Formel (25)  $S_1 = F_1 x_{s1}$  und  $S_2 = F_2 x_{s2}$  ergibt sich

$$M = \left( \frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{F_1 x_{s1} R_2 + F_2 x_{s2} R_1}{2 R_1 R_2} \right) \cdot l$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{F_1 \frac{R_1 - x_{s1}}{R_1} + F_2 \frac{R_2 - x_{s2}}{R_2}}{2} \cdot l \\
 &= \frac{F_1 k_1 + F_2 k_2}{2} \cdot l
 \end{aligned} \tag{29}$$

Es können also auch die Einzelflächen  $F_1$  und  $F_2$  aufgrund des Krümmungsfehlers mit Hilfe von Korrekturfaktoren  $k_i$  verbessert werden, welche sich allgemein aus

$$k_i = \frac{R_i - x_{s_i}}{R_i} \tag{30}$$

ergeben. Da dem Schwerpunktsabstand wie allen  $x$ -Werten der Profilpunkte auch das entsprechende Vorzeichen zugeordnet ist, erhält man eine Vergrößerung der Flächen und demnach auch der Masse, wenn die beiden Schwerpunkte und der Krümmungsmittelpunkt auf entgegengesetzten Seiten hinsichtlich der Profilachse liegen. Die Masse wird verkleinert, wenn diese drei Punkte auf derselben Seite liegen. Für Schwerpunktslagen direkt in der Profilachse ergibt sich  $k = 1$  und demnach keine Verbesserung der Fläche.

In den Richtlinien für elektronische Bauabrechnung der Bundesrepublik Deutschland (REB-VB 21.003 und 21.013 [8] ) wird zwar auch die Berechnung des Korrekturfaktors nach (30) vorgeschrieben, seine Verarbeitung bei der Volumsbestimmung erfolgt aber in einer etwas anderen Form.

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot \frac{k_1 + k_2}{2} \cdot l \tag{31}$$

Die Differenz in den beiden angeführten Formeln (29) und (31) ergibt sich somit aus

$$\Delta M = \frac{(F_1 - F_2)(k_1 - k_2)}{4} \cdot l$$

d. h. die Ergebnisse in den beiden Berechnungsverfahren werden umso-  
mehr voneinander abweichen, je größer der Flächenunterschied in den  
Profilen und die Differenz der beiden Korrekturfaktoren sind.

An dieser Stelle möge noch eine weitere Untersuchung zur Bestimmung  
des Einflusses des Krümmungsfehlers diskutiert werden, welche von  
OSTERLOH [7] durchgeführt wurde.

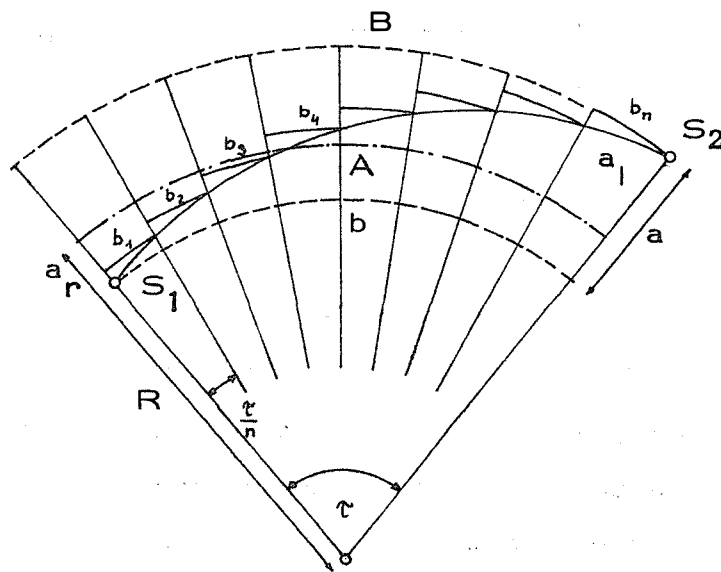


Abb. 14

Dabei geht man von der Annahme aus, daß bei Vorliegen einer kreis-  
förmigen Trasse sich der Schwerpunktsweg  $L_s$  aus den differentiell  
kleinen und gleichen Bogenstücken  $b_n$  zusammensetzt (Abb. 14). Für  
ihn erhält man bei bekannten Achs- und Schwerpunktsdaten zweier Pro-  
file im Falle des Kreises

$$L_s = \widehat{b} + \frac{a \cdot \widehat{\gamma}}{2}$$

und im weiteren

$$L_s = \widehat{A} - \frac{a_l + a_r}{2} \cdot \widehat{\gamma} \quad (32)$$

Hier bezeichnen  $A$  den Profilabstand in der Achse,  $a_l$  und  $a_r$  die  
Schwerpunktsabstände der beiden Profilflächen und  $\gamma$  den Zentri-

winkel im Bogenmaß. Für eine Teilmasse erhält man

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot L_s \quad (33)$$

Verknüpft man die Gleichungen (32) und (33) miteinander und ersetzt die darin verwendeten Symbole durch die uns bereits vertrauten, so ergibt sich

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \left( 1 - \frac{x_{s1} + x_{s2}}{2} \frac{1}{R} \right)$$

bzw. durch Umformen

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot \frac{k_1 + k_2}{2} \cdot l$$

d. h. dasselbe Ergebnis, wie es durch Formel (31) dargestellt wird. Im Falle der Klothoide als Achse wird  $\widehat{\tau}$  folgendermaßen berechnet

$$\widehat{\tau} = \frac{1}{2} \frac{L_2^2 - L_1^2}{A^2}$$

$L_2$  und  $L_1$  bezeichnen hier die Klothoidenlängen in den Achspunkten, bezogen auf den Ursprung des Klothoidensystems und  $A$  den Parameter. Um auch in diesem Fall einen Vergleich mit den bereits bekannten Formeln durchführen zu können, formen wir den Ausdruck folgendermaßen um

$$\widehat{\tau} = \frac{(L_2 - L_1)(L_2 + L_1)}{2A^2} = \frac{\frac{A^2}{R_2} + \frac{A^2}{R_1}}{2A^2} \cdot l$$

$$\widehat{\tau} = \frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2} \cdot l$$

Eingesetzt in die Gleichung (33) folgt für die Masse  $M$

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} \left( 1 - \frac{(x_{s1} + x_{s2})(R_1 + R_2)}{4R_1R_2} \right) \cdot l$$

und damit zunächst eine weitere Methode, welche in der einschlägigen Literatur zur Berücksichtigung des Krümmungseinflusses angegeben ist. Obwohl Berechnungsergebnisse einiger mit diesen Verfahren durchgerechneter Beispiele nur unwesentlich voneinander abweichen, dürfte bei der zuletzt angegebenen Ableitung insofern ein Überlegungsfehler bestehen, als bei der Klothoide für gleichmäßige Änderungen von  $\tau$  keine ebensolchen für die Bogenstücke  $b_n$  zu erwarten sind und demnach der für den Kreis zwar richtige Ansatz für die Klothoide unzulässig ist.

Die Bestimmung der Schwerpunktslage einer Fläche und die anschließende Massenkorrektur wird in allen Richtlinien zu elektronischen Bauabrechnungen, wenn auch nicht gleich so doch ähnlich lautend, als einzige Verbesserung der Massen gefordert. Um die Einfachheit dieser Berechnung und ihren logischen Aufbau zu demonstrieren, soll hier die Ableitung des entsprechenden Formelapparats analog der Herleitung der GAUSS'schen Flächenformel angeführt sein. Ausgehend von der Definition des statischen Moments werden dabei die Teilflächen eines geradlinig begrenzten Polygons bestimmt und mit dem jeweiligen Schwerpunktsabstand multipliziert.

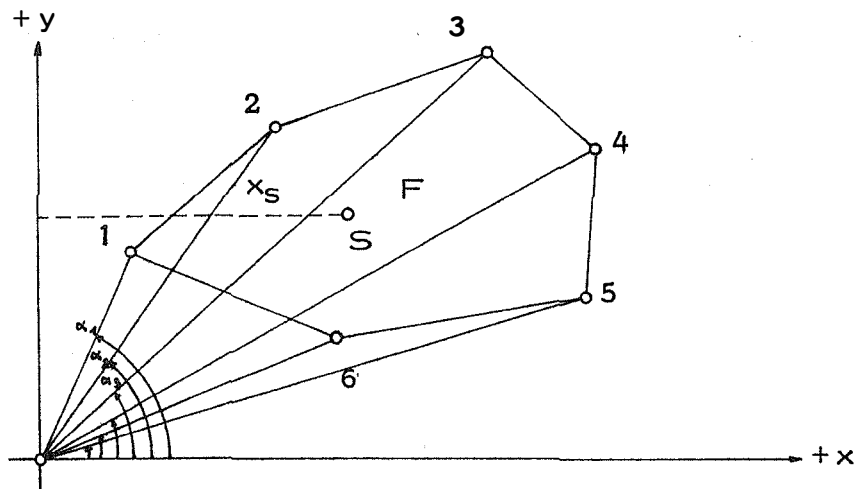


Abb. 15



Dabei werden die Flächen jener Dreiecke ermittelt und vorzeichenrichtig aufsummiert, welche von jeweils 2 Begrenzungspunkten der Gesamtfläche mit dem Ursprung des Koordinatensystems O gebildet werden können. Das statische Moment des Polygons ergibt sich dann als Summe aller Einzelmomente der Dreiecksflächen, welche ihrerseits wie oben beschrieben, ermittelt werden. Da für den Krümmungsfehler nur der horizontale Abstand des Schwerpunkts von der y-Achse ausschlaggebend ist, erhält man im Falle des Dreiecks für diesen Wert

$$x_{S_i} = \frac{x_o + x_i + x_{i+1}}{3}$$

bzw. da  $x_o = 0$

$$x_{S_i} = \frac{x_i + x_{i+1}}{3}$$

Nach den bisherigen Überlegungen ergibt sich also für das statische Moment der Gesamtfläche

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n r_i r_{i+1} \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \cdot \frac{x_i + x_{i+1}}{3}$$

wobei  $r_i$  und  $\alpha_i$  die Polarkoordinaten der Punkte  $P_i$  darstellen. Setzt man für  $x_i = r_i \cos \alpha$  und  $y_i = r_i \sin \alpha$  folgt

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{6} \left[ (y_1 x_2 - y_2 x_1)(x_1 + x_2) + (y_2 x_3 - y_3 x_2)(x_2 + x_3) + \right. \\ &\quad \left. + \dots + (y_i x_1 - y_1 x_i)(x_i + x_1) \right] \\ &= \frac{1}{6} \left[ x_1 x_2 y_1 + x_2^2 y_1 - x_1^2 y_2 - x_1 x_2 y_2 + \right. \\ &\quad \left. + x_2 x_3 y_2 + x_3^2 y_2 - x_2^2 y_3 - x_2 x_3 y_3 + \dots \right. \\ &\quad \left. \dots + x_i x_1 y_i + x_1^2 y_i - x_i^2 y_1 - x_i x_1 y_1 \right] . \end{aligned}$$

Erweitert man diese Gleichung auf folgende Weise

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{6} \left[ x_2^2 y_1 + x_2^2 y_2 - x_2^2 y_2 + x_1 x_2 y_1 - x_1 x_2 y_2 + \right. \\ &\quad \left. + x_1^2 y_1 - x_1^2 y_1 - x_1^2 y_2 + \right. \\ &\quad \left. + x_3^2 y_2 + x_3^2 y_3 - x_3^2 y_3 + x_2 x_3 y_2 - x_2 x_3 y_3 + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + x_2^2 y_2 - x_2^2 y_2 - x_2^2 y_3 + \dots \\
 \dots & + x_1^2 y_i + x_1^2 y_1 - x_1^2 y_1 + x_i x_1 y_i - x_i x_1 y_1 + \\
 & + x_i^2 y_i - x_i^2 y_i - x_i^2 y_1 ]
 \end{aligned}$$

ergibt sich nach entsprechender Zusammenfassung

$$\begin{aligned}
 S = \frac{1}{6} & \left[ (y_1 - y_2)(x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2) + \right. \\
 & + (y_2 - y_3)(x_2^2 + x_2 x_3 + x_3^2) + \dots \\
 & \left. + (y_i - y_1)(x_i^2 + x_i x_1 + x_1^2) \right]
 \end{aligned}$$

bzw. allgemein für das statische Moment der Gesamtfläche

$$S = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1}) (x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2) \quad (34)$$

Die Ähnlichkeit der durchgeführten Ableitung mit jener der GAUSS - schen Flächenformel dokumentiert sich auch im Aufbau des Ausdrucks (34), welcher aus diesem Grund äußerst wirtschaftlich bei der Programmierung, gleichzeitig mit der Flächenberechnung eingesetzt werden kann. Der Schwerpunktsabstand kann nun, wie bereits erwähnt durch

$$x_s = \frac{S}{F}$$

berechnet werden. Dabei ist allerdings zu beachten, daß hier sowohl das statische Moment wie auch die Fläche vorzeichenrichtig einzusetzen ist, da natürlich auch bei beliebigem Umfahrungssinn der Fläche sich immer der gleiche Wert für  $x_s$  ergeben muß.

Für Profilflächen, die im allgemeinen nicht vollständig durch ihre Begrenzungspunkte gegeben sind, wie z. B. jene für Mutterbodenan- und Abdeckung, Tragschichten, Seitenstreifen usw. dürfte schon allein im Hinblick auf die Genauigkeit der Ausgangsdaten und die in diesen Fällen vorliegenden schmalen Flächenstücke eine vereinfachte Bestimmung des Schwerpunktsabstands mit dem arithmetischen Mittel

aus allen Punktabständen zur Bezugslinie genügen.

$$x_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

## RICHTLINIEN

In den letzten Jahren erschienen im deutschsprachigen Raum einige Arbeiten, welche eine Vereinheitlichung in den theoretischen wie organisatorischen Voraussetzungen bei der Durchführung von Bauabrechnungen unter Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung zum Ziele hatten. Als wichtigste unter ihnen sollen hier die "Österreichischen Richtlinien für elektronische Bauabrechnung - ÖREB" [6] sowie jene der Bundesrepublik Deutschland, die "REB - Verfahrensbeschreibungen Nr. 21.003 und Nr. 21.013" [8] genannt werden.

Neben den allgemeinen Erläuterungen wie Zielsetzung, operative Verfahrensregelung, Rechte und Pflichten des Auftragnehmers usw. werden in den ÖREB die Grundlagen für die Baumassenberechnung, die Baufakturierung und für Prüfung und Vergleich der Ergebnisse angeführt. Die gestellte Forderung nach einer Rechengenauigkeit von 0,005 ‰ der Gesamtmenge der einzelnen Positionssummen, d. i. beispielsweise eine tolerierbare Abweichung von 0,1 m<sup>3</sup> bei einer Gesamtmenge von 20 000 m<sup>3</sup>, dürfte nach den bisherigen Überlegungen für Massenberechnungen im Straßenbau nur bei Verwendung vollkommen identer Programmsysteme zu erreichen sein. Angeschlossen ist diesen Richtlinien eine Einführung in das HUBA-Verfahren ("Huber-Bauabrechnung") und eine Formelsammlung zur Bestimmung der Inhalte verschiedenster Raumkörper, welche jedoch auf die gerade bei der Massenberechnung aus Querprofilen bestehende Problematik nur wenig eingeht. So sind hier zwar die GAUSS'sche Flächenformel und jene Formeln zur Bestimmung des statischen Moments einer Fläche sowie des Schwerpunktsabstandes angegeben, es fehlen aber nähere Erläu-

terungen über die geforderte Art der weiteren Verarbeitung dieser Werte, vor allem bei Vorliegen der im allgemeinen bekannten Krümmungsradien in den einzelnen Profilen.

Wesentlich ausführlicher sind die REB-Verfahrensbeschreibungen gehalten, wobei vor allem die REB-VBNr. 21.003 neben allgemeinen Angaben speziell auf die Massenberechnung aus Querprofilen eingeht und hier doch einige Sonderfälle näher behandelt. Erläuterungen über die Form der Dateneingabe, über die zeichnerische Darstellung der Querprofile sowie die Gestaltung der Datenprotokollierung werden von einer Sammlung der wichtigsten Flächen- und Volumsformeln sinnvoll ergänzt. Ähnlichen Aufbau weist auch die REB-VB Nr. 21.013 auf, welche sich mit einem speziellen Verfahren zur Massenermittlung, der Massenberechnung aus Begrenzungslinien, beschäftigt. Dabei werden bei der Eingabe nicht mehr geschlossene Polygone sondern nur Trennungslinien zwischen den einzelnen Bodenarten punktweise definiert, während die Schnittpunktsermittlung mit den Linien des Regelprofils und die anschließende Flächen- und Massenermittlung automatisch erfolgt.

#### SCHLUSSBETRACHTUNG

Sind die in den vorhergegangenen Abschnitten aufgeworfenen Fragen einer Lösung zugeführt und die entsprechenden Voraussetzungen durch Absprache zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festgelegt, bereitet die eigentliche Massenberechnung vor allem unter Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung keine Probleme mehr. Ein Ausweisen der Endergebnisse in den ermittelten Massen auf mehrere Nachkommastellen scheint nur insofern nicht sinnvoll, als dadurch eine Genauigkeit angedeutet wird, welche aufgrund der gegebenen Voraussetzungen, trotz exakter maschineninterner Verarbeitung, nicht erzielt werden kann. In Anbetracht der vielfältigen Fehlereinflüsse, welche auf die Massenermittlung aus Querprofilen einwirken können, dürfte eine ge-

zielte Aufnahmemethodik sowie eine sorgfältige Datenaufbereitung und Überprüfung der sicherste Weg sein, die Größe jener Massenbewegungen zu erhalten, welche der tatsächlich erbrachten Leistung am ehesten entspricht. Es steht außer Zweifel, daß durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung gerade auf diesem Gebiet nicht nur die Wirtschaftlichkeit und Rationalisierung im Ablauf des Arbeitsprozesses, sondern auch eine weitestgehende Genauigkeitssteigerung durch die Möglichkeit der Berücksichtigung verschiedenster Parameter gewährleistet ist. Trotzdem wird es bis zu einer endgültigen Vereinheitlichung der Berechnungsverfahren vor allem in Detailfragen und projektsbezogenen Sonderfällen, damit aber auch zu einer allgemeinen Anerkennung der EDV noch ein langer Weg sein.

Herrn Dipl.-Ing. Helmut WERNER, Zivilingenieur für Bauwesen in Wien, danke ich aufrichtig für die Bereitwilligkeit zur Diskussion sowie die zahlreichen wertvollen Hinweise und Anregungen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] JEPSEN H. Die Massenberechnung für Erdbauwerke,  
AVN 1966, Heft Nr. 5
- [2] JEPSEN H. Der Einfluß von gekrümmten Achsen auf die  
Massenberechnung für Erdbauwerke,  
AVN 1967, Heft Nr. 5
- [3] JOSCHT W. - Die Genauigkeit der Erdmassenermittlung nach  
STARKL L. dem Querprofilverfahren,  
Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen,  
1969, Heft 7
- [4] MAEL Baukalkulation - Massenberechnung,  
Informationsschrift der MAEL 4000 - Vertriebs-  
organisation
- [5] MÜLLER W. Massenermittlung, Massenverteilung und Kosten  
der Erdarbeiten,  
3. Auflage, Verlag von W. Ernst u. Sohn, Berlin  
1944
- [6] ÖREB Österreichische Richtlinien für elektronische  
Bauabrechnung,  
Bundesinnung des Baugewerbes, Wien 1974
- [7] OSTERLOH H. Erdmassenberechnung,  
2. erweiterte Auflage, Bauverlag Wiesbaden -  
Berlin 1974
- [8] REB - VB Richtlinien für elektronische Bauabrechnung  
Nr. 21 003 und Nr. 21 013,  
Köln 1972
- [9] SCHÄFER L. Ein Beitrag zur Frage der Genauigkeit der Erd-  
massenermittlungsverfahren,  
Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue  
Folge, Heft 62, Kirschbaum Verlag - Bad Godes-  
berg, 1964
- [10] WITTKE H. Einführung in die Vermessungstechnik,  
4. Auflage, Ferd. Dümmers Verlag, Bonn 1971

Geowiss. Mitt.11  
1976, 93 - 95

STATISTISCHE AUSWERTUNG VON KLUFTEMESSUNGEN

von

F. Kohlbeck

(Vortrag gehalten am 19. November 1975  
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten  
der Studienrichtung Vermessungswesen,  
erscheint in Rock Mechanics)

Dipl.-Ing. Dr. Franz Kohlbeck, Universitätsassistent am Institut für  
Geophysik, Technische Universität in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29

## ZUSAMMENFASSUNG

Als Klüfte im allgemeinsten Sinn werden geologische Trennflächen im Gesteinskörper bezeichnet. Eine der häufigsten Ursachen für das Entstehen von Klüften sind Schubbrüche infolge des Überschreitens der Gesteinsfestigkeit bei Beanspruchung in einem zwei- oder dreiachsigen Spannungszustand. Mit Hilfe einer statistischen Auswertung wird versucht, aus den Stellungen der Klüfte auf die Richtung der für ihre Entstehung verantwortlichen größten und kleinsten Hauptnormalspannungen zu schließen. Eine anschauliche Darstellung der Klüftstellungen erhält man, wenn man die Normalvektoren der Kluftebenen vom Zentrum einer Einheitskugel aufträgt und mit dieser zum Schnitt bringt. Die Durchstoßpunkte werden als Pole bezeichnet. Sie sind im gegenständlichen Fall zumeist um drei zentrale Richtungen gehäuft.

Es wurde nun versucht, mit parametrischen und nichtparametrischen Methoden aus einer möglichst geringen Anzahl von Polen die zentralen Richtungen zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden zwei Computerprogramme geschrieben. Ein Programm ermittelt nicht-parametrisch die Linien gleicher Polhäufigkeiten. Die Häufigkeiten an einer Stelle  $(\theta, \varphi)$  der Einheitskugel ergaben sich hierbei als Zahl der Pole innerhalb eines Kleinkreises um  $(\theta, \varphi)$  dessen Fläche mit  $2\pi/N$  ( $N$  = Gesamtzahl der Pole) gewählt wurde. Das zweite Programm berechnet auf parametrischem Weg die Maxima der Polhäufigkeiten. Als Verteilungsfunktion wurden drei additiv überlagerte Dimroth-Watson Verteilungen angenommen. Die Dimroth-Watson Verteilung kann in diesem Zusammenhang als repräsentativ angesehen werden (siehe z. B. Mardia, 1972, Scheidegger, 1965). Ihre Dichtefunktion hat für ein Zentrum bei  $\theta = 0$  die Gestalt:

$$f(\theta) = \frac{1}{2\pi\sigma D(1/\sigma)} \exp(-\sin^2 \theta/\sigma^2) \quad D(x) = e^{-x^2} \int_0^x e^{t^2} dt$$

Die Bestimmung der Parameter erfolgt nach dem Maximum Likelihood Prinzip unter Anwendung eines Programmpaketes zur Minimierung von Funktionen (Autoren JAMES & ROOS 1971). Mit Hilfe des Likelihood-ratio-Tests werden noch Vertrauensbereiche für die ermittelten Parameter errechnet.



Der Vergleich der beiden Methoden zeigt, daß der eingeschlagene parametrische Weg bei geringer Punktanzahl auch nicht signifikante Maxima hervorhebt. Die Auswertung nach dieser Methode ist in diesem Fall daher nur unter gewissen Voraussetzungen möglich.

Literatur:

James, F., Roos, M., 1971: MINUIT (Long write up). A package of programs to minimize a function of  $n$  variables, compute the covariance matrix, and find the true errors. CERN COMPUTER PROGRAM LIBRARY D506/D516.

Mardia, K. V., 1972: Statistics of Directional Data, Academic Press London.

Scheidegger, A. E., 1965: On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes, and similar sedimentological data, Geol. Survey Res. 1965, p. C164 - C166.

Geowiss. Mitt.11  
1976, 97 - 99

METHODEN ZUR DIGITALEN ERFASSUNG DER  
GELÄNDEOBERFLÄCHE

von

E. Aßmus

(Vortrag gehalten am 15. Jänner 1976  
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten  
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.-Ing. Eberhard Aßmus, Vertragsassistent am  
Institut für Photogrammetrie, Technische Universität,  
1040 Wien, Gußhausstraße 27-29.

## ZUSAMMENFASSUNG

Aus der großen Reihe der Rechenprogramme für die digitale Höhenlinienkartierung, werden drei Verfahren herausgegriffen und näher erläutert, die, abgesehen von der Verwendung desselben Interpolationsprinzips, nämlich der linearen Prädiktion, unterschiedliche Lösungswege einschlagen:

Der Vorschlag von Prof. Lauer, Mainz, lehnt sich eng an die Denkweise bei der manuellen Ableitung von Schichtlinien aus Tachymeterpunkten an. Die gemessenen Punkte bilden ein Dreiecksnetz, in dem auf direktem Wege Höhenlinienpunkte interpoliert werden.

Die beiden anderen Rechenprogramme interpolieren zunächst die Höhen in den Ecken eines dichten, rechteckigen Rasters, das sogenannte digitale Höhenmodell, und daraus in einem zweiten Schritt durch lineare Interpolation die Höhenlinien. Das digitale Höhenmodell kann auch für andere Aufgaben, z.B. zur Berechnung von Profilen, Erdmassen usw. herangezogen werden.

Im Programm von Prof. Koch, Bonn, werden die Rasterhöhen mit Hilfe der Methode der gleitenden Schrägebenen interpoliert. Bei hohen kartographischen Qualitätsanforderungen wird zusätzlich noch die lineare Prädiktion eingesetzt.

Das Stuttgarter Höhenlinienprogramm, entwickelt von Dipl. Ing. Stanger nach den Vorschlägen von Prof. Kraus, Wien, ist in der Lage, zufällige und systematische Fehler der gemessenen Daten zu eliminieren. Das digitale Höhenmodell wird in Recheneinheiten mit Hilfe der linearen Prädiktion berechnet.

Wie an Beispielen gezeigt wird, liefert dieses Verfahren in den meisten Fällen zufriedenstellende Ergebnisse. Bei der Behandlung von Geländekanten auftretende Schwierigkeiten

machten eine dementsprechende Programmerweiterung notwendig, die am Institut für Photogrammetrie in Wien durchgeführt wird.

Anhand von einigen, mit dieser erweiterten Version berechneten Kartenblättern, wird die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens demonstriert.

Nähere Ausführungen zum letztgenannten Verfahren, können dem Artikel: "Berücksichtigung von Geländekanten im Stuttgarter H-L-Programm - Theorie und Ergebnisse" im Heft 8 der Geowissenschaftlichen Mitteilungen entnommen werden.

Geowiss. Mitt.

1976, 101 - 116

ASTRO-GEODÄTISCHE MESSUNGEN HOHER GENAUIGKEIT  
MIT KLEINEN INSTRUMENTEN

von

G. Gerstbach

(Vortrag gehalten am 17. März 1976  
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten  
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing.Dr.techn. Gottfried Gerstbach, Universitätsassistent am Institut für Höhere  
Geodäsie der Technischen Universität Wien, 1040 Wien, Gußhausstraße 27 - 29

## ZUSAMMENFASSUNG

Die praktischen und kostenmäßigen Vorteile des Einsatzes kleiner Instrumente liegen auf der Hand. Es wird gezeigt, daß die erreichbaren Genauigkeiten jenen der astronomischen Universalinstrumente nahekommen, wenn man die hohe Qualität der modernen Neigungskompensatoren ausnützt.

Für die astronomische Ortsbestimmung mit Sekundentheodoliten eignet sich die Methode der Höhenstandlinien, der gleichen Höhen und der Meridianzenitdistanzen (STERNECK) besonders. Zur Azimutmessung wird eine Variante der Polarismethode vorgeschlagen. Anhand von Beobachtungen mit dem Ni 2-Astrolab werden die persönlichen, instrumentellen und äußeren Fehler erörtert und Hinweise zu ihrer Ausschaltung gegeben.

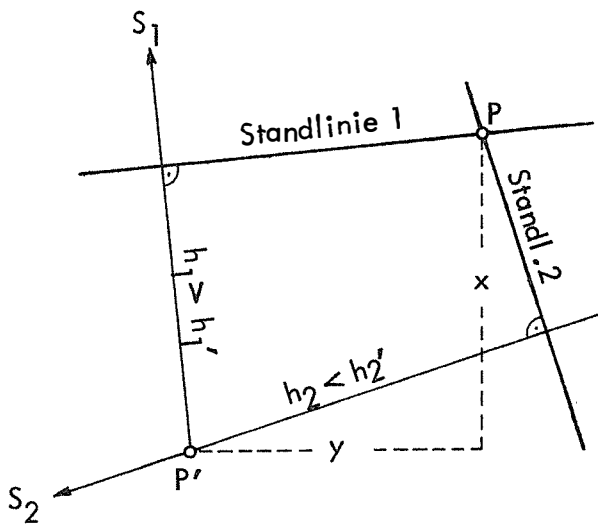
Die Ausrüstung wiegt samt Stativ ungefähr 15 kg und liefert in 1 - 2 Stunden Genauigkeiten der Orts- bzw. Azimutbestimmung von etwa  $\pm 0''3$  bzw.  $\pm 1''$ . Der Einsatz auf Punkten erster Ordnung erscheint damit gerechtfertigt.

Der Titel des heutigen Vortrages, der sich mit astronomischen Messungen auf Stationen 1. Ordnung beschäftigen wird, enthält die Worte "hohe Genauigkeit" und "kleine Instrumente". Unter hoher Genauigkeit soll für Ortsbestimmungen  $\pm 0''2 - 0''5$  und für Azimute mindestens  $\pm 1''$  verstanden werden, wobei die Beobachtung nicht länger als 1 - 2 Stunden dauern soll. Die Instrumente, auf die sich das Thema bezieht, sind Sekundentheodolite bzw. automatische Nivelliere (Ni 2-Astrolabium), kleine Zeitzeichenempfänger oder Telefonanschluß, und elektronische oder mechanische Stoppuhren. Nach der Klassifikation von BRETTERBAUER /2/ entspricht also das Instrumentarium den "Ingenieurmethoden", während die Genauigkeit an jene der "Präzisionsmethoden" heranreicht. Die komplette Ausrüstung wiegt einschließlich Stativ nur 14 - 17 kg, was für Feldstationen einen großen Vorteil darstellt. Die leichten Geräte ersparen nicht nur Mühe, Kosten und den Pfeilerbau, sondern ermöglichen auch raschen Ortswechsel, sodaß man Schönwetterlücken ausnützen oder während der Nacht eine neue Station beziehen kann.

Zur Ausschöpfung der den modernen Instrumenten innewohnenden Möglichkeiten müssen wir gründliche Kenntnisse aller wirksamen Fehlerquellen besitzen. Diese sind von meteorologischer, instrumenteller und persönlicher Natur; Fehler in den Gestirnskoordinaten und im mathematischen Modell möchte ich hier ausschließen. Aus technischen Gründen sind heute jene Methoden vorteilhaft, bei denen automatische Kompensatoren zum Einsatz kommen. Ich werde daher die Höhenstandlinie und die Methode gleicher Höhen behandeln, ferner die Breitenbestimmung nach STERNECK und die Azimutmessung mit Polaris, wobei die mittlere Achsneigung über den Höhenkreiskompensator ermittelt wird.

#### SIMULTANE BREITEN- UND LÄNGENBESTIMMUNG MIT HÖHENSTANDLINIEN

Das Prinzip des Standlinienverfahrens ist aus der 1. Abbildung ersichtlich. Wir messen den Höhenwinkel  $h_1$  eines Gestirns  $S_1$  und berechnen für den angenommenen Ort  $P'$  und den Zeitpunkt  $\Theta$  der Beobachtung einen Wert  $h'_1$ . Ist  $h_1 > h'_1$ , liegt wegen der Erdkrümmung der wahre Ort  $P$  näher beim Gestirn. Den geometrischen Ort für  $P$ , der ein Kleinkreis ist, nähern wir durch seine Tangente an, die sogenannte Standlinie. Wird ein zweiter Stern  $S_2$  beobachtet, ergibt sich  $P$  im Schnitt beider Standlinien; ein dritter Stern könnte zur Kontrolle und Genauigkeitsabschätzung dienen.



$P'$  .... angenommener Ort  
 $P$  .... wahrer Ort ( $\varphi = \varphi' + x$ ,  
 $\lambda = \lambda' + y \cdot \cos \varphi'$ )

$h$  .... beobachtete Höhe  
 $h'$  .... für  $P'$  gerechnete Höhe:

$$\sin h' = \sin \varphi' \sin \delta + \cos \varphi' \cos \delta \cos(\Theta + \lambda' - \alpha)$$

$\alpha, \delta$  ... Sternkoordinaten  
 $\Theta$  .... Sternzeit Greenwich

Abb. 1: Höhenstandlinien

Dieses Verfahren der astronomischen Navigation ist überall anwendbar und auch für Expeditionen sehr gut geeignet. Durch Messung mehrerer Sterne lassen sich hohe Genauigkeiten erreichen, wenn wir folgende Punkte beachten: Durchgangsbeobachtung statt Sterneinstellung, rasch aufeinanderfolgende Messung in beiden Kreislagen, gute Verteilung der Azimute (z.B.  $45^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $315^\circ$ ), halbstündiges Notieren von Temperatur und Druck, Vermeidung großer Zenitdistanzen. Nach meinen Erfahrungen kann man mit den Doppelfäden des DKM 2-A aus 15 Sternen, die in 1 Stunde zu bewältigen sind, mittlere Fehler der Ortsbestimmung von  $\pm 0''4$  erzielen. Nach /7/ ergab ein Askania Tu aus 11 Sternen  $\pm 0''7$ , wobei die etwas größeren Kompensatorfehler offenbar durch das Spezialfadennetz (7 Fäden) wettgemacht wurden.

Die Höhenstandlinien-Methode ist äußerst flexibel und daher ideal für Nächte mit starker Bewölkung. Die Auswertung kann zum Teil grafisch erfolgen und dauert unter Zuhilfenahme eines Taschenrechners nur 30 - 40 Minuten. Am Institut für Höhere Geodäsie wird gegenwärtig im Rahmen einer Diplomarbeit u.a. untersucht, mit welcher Genauigkeit Höhenstandlinien heller Sterne bei Tage zu beobachten sind.

#### METHODE GLEICHER HÖHEN MIT PENDELASTROLABIEN

Beschränkt man die Messungen auf eine Kreislage, beeinflusst der Indexfehler z alle Höhendifferenzen im gleichen Maß (Abb. 2). Die "Standlinien", von denen jetzt



mindestens drei erforderlich sind, erscheinen um den zunächst unbekanntem Betrag  $z$  verschoben und tangieren einen Kreis um  $P$  mit dem entsprechenden Radius. Werden alle Sterne unter demselben Höhenwinkel (meist  $60^\circ$ ) beobachtet, spricht man von der Methode gleicher Höhen. Sie eignet sich besonders für automatische Nivelliere mit Prismenvorsatz und hat durch das Ni 2-Astrolab von Zeiss weite Verbreitung gefunden. Die Höhe setzt sich aus dem Prismenwinkel, der Refraktion und dem Kompensatorfehler zusammen, wofür man in der Praxis einen Näherungswert wählt und dessen Verbesserung  $z$  neben den Ortsverschiebungen  $x, y$  in den Ausgleich einführt. Beim Auflösen der Normalgleichungen läßt sich  $z$  gleich zu Beginn eliminieren, ähnlich der Orientierungsunbekannten beim Ausgleich von Innenrichtungen.

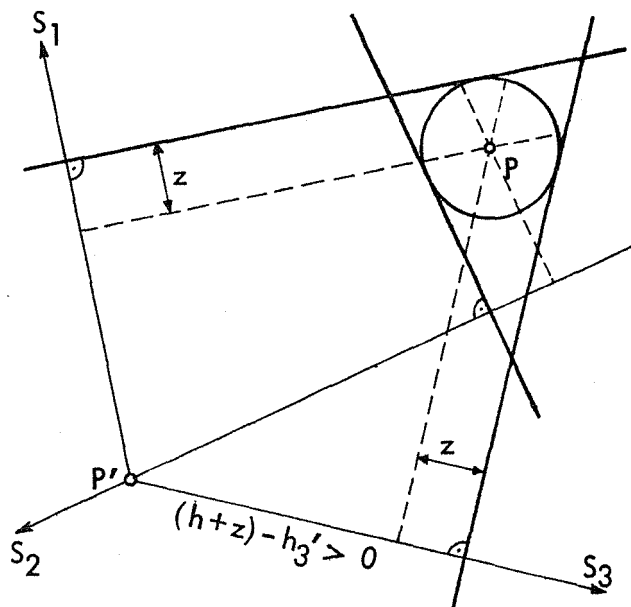


Abb.2: Höhenstandlinien mit unbekanntem Indexfehler  $z$ , bzw. Methode gleicher Höhen

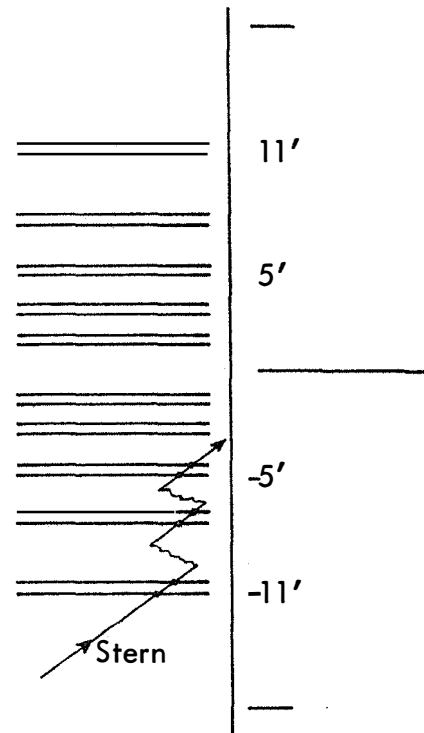


Abb.3: Fadennetz Ni2-Astrolab

Besonders angenehm ist an der Methode, daß Kreisablesungen entfallen und die Beobachtung sich auf Messung von Zeiten beschränkt. Aus einer Vorausberechnung wird das Sternazimut entnommen und rechtzeitig eingestellt, nach Kontrolle der Prismenlibelle können die einzelnen Fadenantritte bereits gestoppt werden. In unseren Breiten bewegen sich die meisten Sterne von links nach rechts schräg durch das Gesichtsfeld (Abb.3), nur zwischen Nordwest und Nordost umgekehrt. Um Fadenschiefe und Großkreisfehler auszuschalten, muß der Beobachter den Stern mit dem Seitentrieb in der Nähe des senkrechten Mittelfadens halten. Ist er allein, kann er mindestens 10 der 20

Fadenantritte messen, mit einem Protokollführer aber praktisch alle. Doch ist dies, wie später erläutert wird, nicht in jedem Fall sinnvoll.

Die gemessenen Antrittszeiten der Sterne an den einzelnen Fäden werden zu Gesamtmitteln vereinigt, die zur Berechnung der Höhen  $h'$  dienen. Zu Kontrollzwecken und für Fehlerabschätzungen ist es nützlich, vorher eine paarweise Mittelung vorzunehmen. Statt der früher verwendeten, lauten und störungsanfälligen Bandchronografen in Verbindung mit Schiffschronometern wird man heute kleine elektronische Stoppuhren mit Leuchtanzeige benutzen, wie sie für Sportvereine hergestellt werden. Auch mechanische Uhren sind einsetzbar, sofern sie einen Schleppzeiger besitzen. Für den Zeitvergleich dient ein leichter Zeitsignalempfänger oder das Telefon (Wien 1505, Sekundenpunkte).

Im Rahmen eines Forschungsprojektes unter Leitung von Prof. Dr. K. BRETTERBAUER (Institut für Höhere Geodäsie) wird gegenwärtig an der Automatisierung der Zeitregistrierung gearbeitet. Mit einer feldtauglichen, batteriegespeisten Magnetbandstation soll die Beobachtung und Auswertung wesentlich vereinfacht und beschleunigt werden.

Ich möchte nun anhand von eigenen Astrolabbeobachtungen /3/ die verschiedenen Fehlerquellen behandeln, die bei astrogeodätischen Messungen auftreten. Ihre Kenntnis ist von entscheidender Bedeutung zum Erreichen optimaler Ergebnisse. Der folgenden Untersuchung liegen 67 Ni 2-Sätze zugrunde, die bei durchschnittlich 15 Sternen etwa 1 Stunde dauerten und innere Genauigkeiten der Breite und Länge von  $\pm 0''18$  bzw.  $\pm 0,018$  besitzen.

#### Meteorologische (äußere) Fehlerquellen

Schon lange kennt die Literatur den Begriff "Abendfehler". Zwischen Ergebnissen verschiedener Abende treten größere Differenzen auf, die mit den mittleren Fehlern nicht in Einklang stehen. Zwar können auch gewisse instrumentelle Fehler (bei Theodoliten) und die persönliche Gleichung zu den Differenzen beitragen, doch scheint ein großer Teil auf meteorologische Einflüsse (Schichtneigungen) zurückzugehen. Abbildung 4 zeigt in einer langen Astrolab-Meßreihe mehrere Sprünge, die alle mit deutlichen Änderungen der Wetterlage (Gewitter  $\frac{1}{2}$ , starker Temperaturwechsel  $\updownarrow$ , Wind) zusammenfallen.

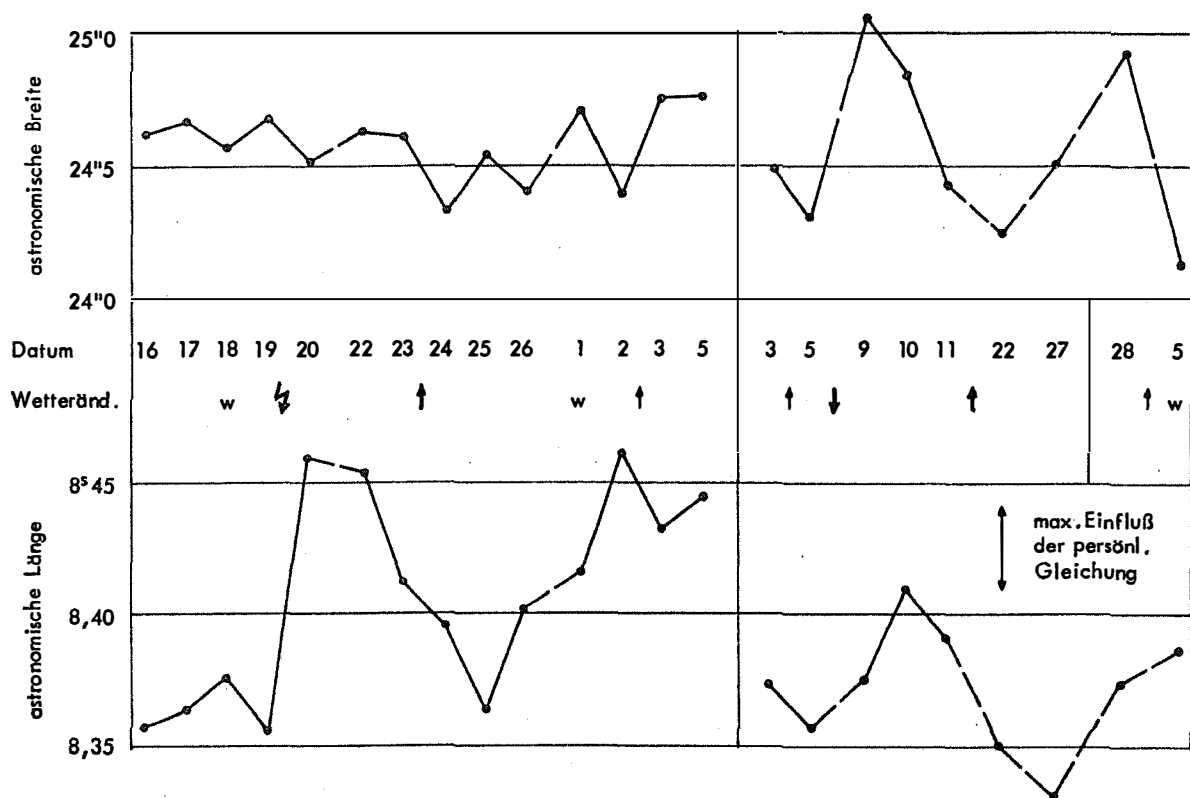


Abb. 4: Meßreihe mit Ni2-Astrolab, Satellitenstation 0750 Wien-Hietzing. 23 Abende 16.8. - 5.9.1973 und 3.12.1973 - 5.2.1974.

Derartige Sprünge sind vielfach auch bei großen Instrumenten und mit unpersönlichen Registriereinrichtungen nachweisbar, z.B. /8/. Da diese Effekte  $0''5$  und somit unsere Genauigkeitsschranke übersteigen, sind die Beobachtungen auf mehrere Abende und möglichst auf verschiedene Jahreszeiten zu erstrecken. Leider treten gerade im Gebirge, wo die zweite Forderung kaum zu erfüllen ist, besonders große Abendfehler auf. Ich möchte versuchen, durch Kombination verschiedener Zenitdistanzen und Temperaturgradientenmessung zur Lösung dieses Problems beizutragen.

#### Instrumentelle Fehler

Die wichtigsten instrumentellen Fehlerquellen von Theodoliten sind Achsen, Kreisteilungen und toter Gang sowie thermische Einflüsse auf Libelle bzw. Kompensator, Fernrohr und mechanische Teile. Bei der Methode gleicher Höhen fallen die zwei erstgenannten Fehler weg; Astrolab-Beobachtungen werden praktisch nur von Kompensatorfehlern beeinflusst.

Im Gegensatz zu Libellen ist der Kompensator des Ni 2-Astrolabs gegen einseitige Temperaturänderungen am Gehäuse ziemlich unempfindlich. Bei allgemeiner Erwärmung oder Abkühlung kommt es jedoch zu einer deutlichen Ziellinienänderung von  $0''4 - 1''$  pro Grad, die auch in Strahlungsnächten spürbar ist. Ein systematischer Einfluß auf die Ortsbestimmung läßt sich durch paarweise Beobachtung gegenüberliegender Sterne oder durch rechnerische Korrektur vermeiden.

Viel mehr muß eine Fehlerquelle beachtet werden, die aus der unvollständigen Kompensation der Instrumentenneigung entsteht und beim Ni 2 bis zu  $0''3$  ausmacht. Diese sogenannte Horizontschräge, die vom Präzisionsnivelement her bekannt ist, kann man bei Astrolabmessungen nur durch sorgfältiges Vor- oder Zwischenhorizontieren vermindern  $/10/$ ,  $/5/$ . Gewisse systematische Fehler der gemessenen Durchgangszeiten entstehen ferner durch zu dicke oder zu dünne Fäden.

Die instrumentellen Fehler der Zeitregistrierung sind meist vernachlässigbar klein. Bei mechanischen Uhren können lediglich Gangunregelmäßigkeiten spürbar werden, wogegen die Einflüsse von springendem Zeiger, Exzentrizität und Parallaxe quasizufällig wirken und im Mittel mehrerer Fäden herausfallen.

### Persönliche Fehler

Sie bestehen grundsätzlich aus Reaktions- und Zielfehlern und lassen sich außerdem in 3 Gruppen trennen. Der wichtigste, weil systematische Fehler ist die **Persönliche Gleichung**, worunter die durchschnittliche Reaktionszeit des Beobachters beim Auffassen der Sterndurchgänge verstanden wird. Durch Übung kann man eine verkürzte, reflexartige Reaktionsweise erwerben. Die persönliche Gleichung liegt zwischen  $0^s,02$  und  $0^s,4$  und ist relativ konstant (innerhalb ca.  $\pm 0^s,03$ ), wenn sich der Beobachter in ausgeglichener Verfassung befindet. Da sie voll in das Ergebnis der Längenbestimmung eingeht, sind vor und nach jeder Feldarbeitsperiode Referenzmessungen vorzunehmen.

Die "Durchgangsfehler" erklären sich dadurch, daß die Reaktions- und Zielfehler bei jedem Sterndurchgang etwas anders sind. Die persönliche Gleichung schwankt kurzfristig um etwa  $\pm 0^s,04$ , sodaß zum Beispiel alle 20 Fadenantritte eines Sterns im Schnitt um einige Hundertstelsekunden später als normal beobachtet werden.

Den Durchgangsfehlern überlagern sich noch zufällige Antrittsfehler der einzelnen Fäden, die leicht aus der Streuung der paarweise gebildeten Mittel zu berechnen sind. Abbildung 5 zeigt die Antrittsfehler der Fadenpaare von 410 Sterndurchgängen, die mit einer Schleppzeiger-Stoppuhr gemessen wurden. Die deutliche Abhängigkeit vom Azimut entsteht durch Überlagerung von Zeit- und Zielfehlern, die im quadratischen Mittel  $\pm 0,059^s$  bzw.  $\pm 0''50$  ausmachen. Da die größte Vertikalgeschwindigkeit der Sterne im Osten bzw. Westen auftritt (ca.  $10''/\text{sec}$ ), erreicht dort der Einfluß des Zeitfehlers sein Maximum, während er in Meridiannähe praktisch verschwindet.

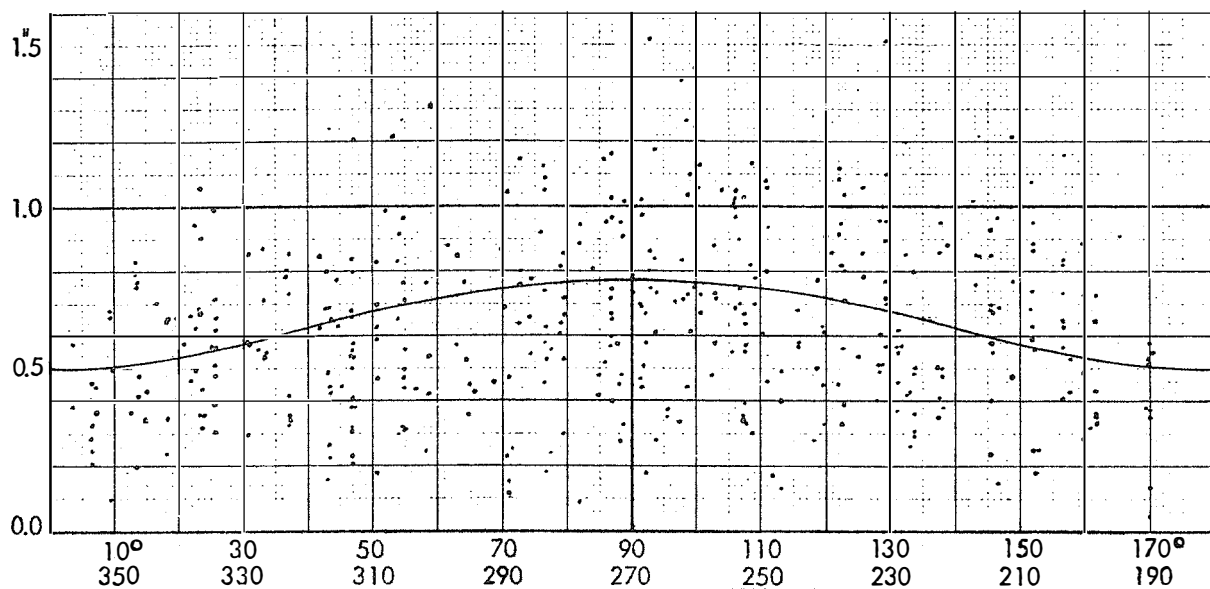


Abb.5: Zufällige Antrittsfehler der Fadenpaare, berechnet aus 410 Sterndurchgängen (29 Sätze am Ni2-Astrolab, beob. Gerstbach 1973)

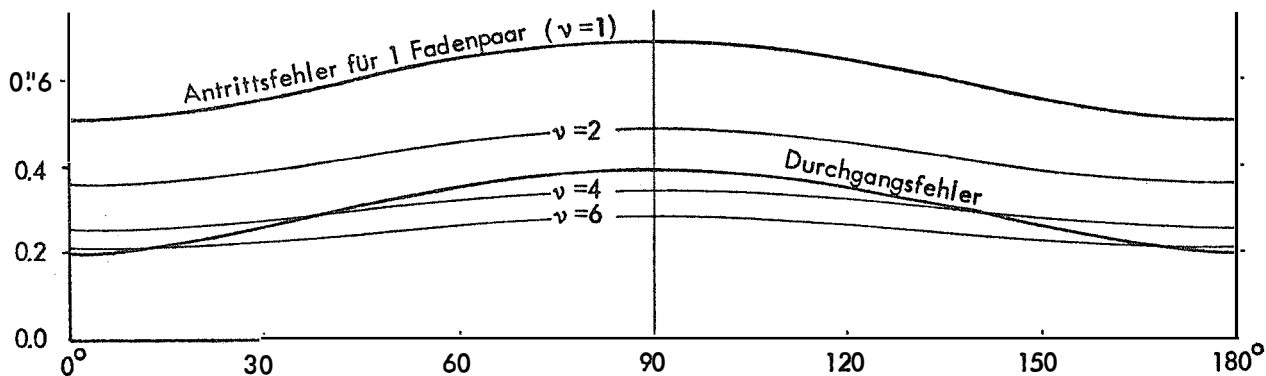


Abb.6: Wirkung von Antritts- und Durchgangsfehlern

Abbildung 6 enthält mittlere Antritts- und Durchgangsfehler von Messungen mit einer elektronischen Stoppuhr. Sie überlagern sich entsprechend dem Fehlerfortpflanzungsgesetz und der Anzahl der beobachteten Fadenpaare. Die Durchgangsfehler sind allerdings nur normalverteilt und zufällig, wenn aufeinanderfolgende Sterne stark verschiedenes Azimut haben; andernfalls können die Fehler mehrere Minuten lang einseitig wirken. Falls häufig 3-4 Sterne nacheinander in derselben Hemisphäre liegen, kommt es zu einem versteckten Genauigkeitsverlust bis 40%.

#### Beobachtungsanordnung und Auswertung

Günstig ist es, Sternpaare mit ungefähr  $180^\circ$  Azimutdifferenz auszuwählen. Nach und nach ist eine gleichmäßige Verteilung der Richtungen anzustreben, wodurch einige systematische Fehler persönlicher und instrumenteller Natur wegfallen. Die Horizontschräge wird durch sorgfältiges Horizontieren des Nivellierinstruments ausgeschaltet.

Aus Abbildung 6 erkennen wir, daß zwar der Einfluß der Antrittsfehler durch Beobachtung vieler Fadenpaare herabgedrückt werden kann, dies aber wegen der immer wirksamen Durchgangsfehler nur bis zu einem gewissen Grad sinnvoll ist. Es gibt eine Anzahl  $\nu_0$ , die hinsichtlich des Zeitaufwandes besonders ökonomisch ist; sie errechnet sich aus dem mittleren Verhältnis der Fehlerquadrate plus zwei /5/. Zusätzlich kann man  $\nu$  in Meridiannähe etwas kleiner, beim 1. Vertikal etwas größer als  $\nu_0$  wählen. Beobachtungen in Meridiannähe sind ja von vornherein genauer, unter flachen Winkeln dauert außerdem die Überquerung des ganzen Fadennetzes ziemlich lange. Aus physiologischen Gründen ist indirektes Sehen und Fixieren des Fadens empfehlenswert, da die beim Verfolgen des Sterns nötigen Augenbewegungen den Zielvorgang stören würden.

Bei manchen Beobachtern treten systematische Zielfehler auf, die im Meridian das Vorzeichen wechseln /10/. Ein anderer Fehlertypus, der mit der Wahrnehmbarkeit der vertikalen Winkelgeschwindigkeit zusammenhängen dürfte, macht sich nur in Meridiannähe, dort aber mit bisweilen sehr großen Beträgen ( $\leq 2''$ ) bemerkbar. In einem solchen Fall empfiehlt es sich, die kritischen Azimutbereiche auszuschließen.

Auf Probleme der Auswertung möchte ich nur ganz kurz eingehen. Sinnvoll erscheint

mir eine Gewichtung der einzelnen Sterne, die sich nach den verschiedenen Fehlerursachen richtet /5/. Bei konstanter Fadenanzahl ist das Gewichtsverhältnis zwischen Meridian und 1. Vertikal ungefähr 2:1. Eine zusätzliche Auswertung nach Fadenpaaren (vertikale Symmetrie, siehe Abbildung 3) ermöglicht eine Abschätzung der Fehleranteile sowie eine bessere Beurteilung der Resultate und ihrer Verlässlichkeit.

Mit dem Ni 2-Astrolabium sind bei minimalem Aufwand simultane Breiten/Längenbestimmungen möglich, die bei einer reinen Meßdauer von 1 Stunde innere Genauigkeiten von  $\pm 0''2 / \pm 0,02$  erreichen. /3/, /11/. Für Wiederholungsmessungen an demselben Abend sind diese Werte realistisch. Die Länge wird noch von der persönlichen Gleichung beeinflusst, deren Unsicherheit allerdings kaum  $\pm 0,03$  übersteigt. Umgerechnet in Lotabweichungen bedeutet dies mittlere Fehler von  $\pm 0''2 / \pm 0''4$ , die für Punkte 1. Ordnung völlig ausreichen. Was die äußere Genauigkeit betrifft, sei nochmals auf die "Abendfehler" hingewiesen, die nach meiner Ansicht weniger vom verwendeten Instrument als von der Lage der Beobachtungsstation abhängen.

## DIE EINSATZMÖGLICHKEIT VON SEKUNDENTHEODOLITEN

Seitdem die Sekundentheodolite mit hochpräzisen automatischen Höhenkreiskompensatoren ausgestattet werden, sind sie auch für genaue astrogeodätische Messungen interessant. Bei allen modernen Instrumenten weisen die Kompensatoren nur mehr Einspielfehler der Größenordnung  $\pm 0''3$  auf. In Frage kommt die Methode der Höhenstandlinien (welche eingangs behandelt wurde) und der gleichen Höhen, ferner die Messung von Meridianzenitdistanzen und eine Variante zur Azimutbestimmung mit Polaris.

Bei der Methode gleicher Höhen bringt man den Theodolit in die gewählte Zenitdistanz - z.B. Kreislage I und  $30^{\circ}00'$  - und beläßt das Mikrometer immer auf Null. Nach Einstellen jedes Sternazimuts wird der Höhenkreis mit dem Feintrieb genau koinzidiert, worauf die Messung der Durchgangszeit erfolgt. Prinzipiell sind auch Instrumente ohne Kompensator einsetzbar, man muß dann die Höhenkreislibelle mit der passenden Fußschraube einspielen.

Zur Genauigkeitssteigerung kann man am horizontalen Doppelstrich und zusätzlich in den um genau  $10'$  verschiedenen Zenitdistanzen messen. Angenehmer ist natürlich

eine spezielle Strichplatte, wie sie ein DKM2-A unseres Institutes besitzt (Abb. 7).

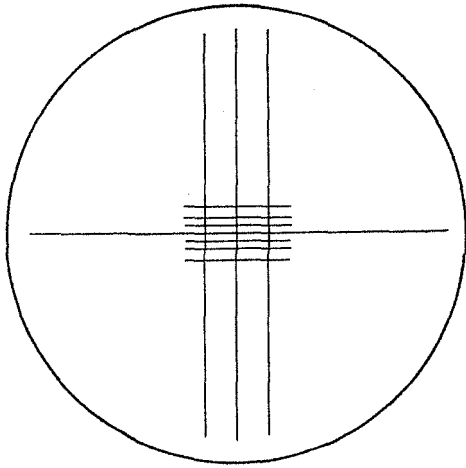


Abb. 7: Spezialfadennetz DKM2-A

Da die Einstellung der Beobachtungshöhe nur auf  $\pm 0''5 - 1''$  möglich ist, sind etwa 4 Fäden empfehlenswert, bei wiederholter Koinzidenz 6 Fäden. Im Jahre 1974 habe ich in 8 Nächten 13 Versuchsmessungen vorgenommen, die für 12 Sterne durchschnittlich 46 Minuten dauerten /4/. Die mittleren Fehler der Ortsunbekannten lagen bei  $\pm 0''3 / \pm 0''03$ . Im Vergleich zum Ni2-Astro-lab sind die persönlichen Reaktions- und Zielfehler etwas größer. Der Indexfehler ändert sich mit der Temperatur um rund  $1''$

pro Grad /12/, doch kann sein Einfluß durch Beobachtung gegenüberliegender Sterne völlig ausgeschaltet werden. Wind beeinträchtigt die Messungen überhaupt nicht.

Sehr gut eignen sich moderne Sekundentheodolite für die Breitenbestimmung nach STERNECK, bei der Meridianzenitdistanzen gemessen werden. Die Breite folgt aus der Summe bzw. Differenz von Deklinationen und refraktionskorrigierten Zenitdistanzen. Da die Sterne am Horizontalfaden entlangwandern, sind die Zielfehler und der Szintillationseinfluß sehr klein; der Indexfehler des Höhenkreises fällt durch Bildung von Sternpaaren heraus. Mit 8 Sternpaaren, deren Messung knapp 1 Stunde dauert, beläuft sich der mittlere Breitenfehler auf  $\pm 0''2 - 0''3$  /12/, /4/, was den Genauigkeiten großer Universalinstrumente entspricht - siehe z.B. /8/.

#### Azimutbestimmung mit Polaris

Zuletzt möchte ich die Standardmethode der Azimutmessung behandeln, bei der abwechselnd das irdische Ziel und der Polarstern eingestellt werden. Infolge des großen Parswertes der Alhidadenlibellen von Sekundentheodoliten (ca.  $20''/2\text{mm}$ ) kann die Stehachse  $5 - 10''$  geneigt sein, sodaß an die steile Polarisvisur immer eine Neigungskorrektur anzubringen ist. Sie wird üblicherweise mit Reiterlibellen bestimmt, ist aber bei deren kleinen Spannweiten und Anzeigen von  $6''/2\text{mm}$  höchstens  $1''$  genau. Unangenehme systematische Libellenfehler entstehen durch die hohe Empfindlichkeit



gegen einseitige Temperaturänderungen und Wind sowie durch veränderlichen Parswert und Trägheit der Blase /8/, /9/. Die erstgenannten Effekte können die Resultate jeweils bis zu 2" verfälschen.

Ich schlage daher vor, die mittlere Achsneigung mit dem automatischen Höhenkompensator zu bestimmen. Hiefür wird der Höhenkreis bei geklemmtem Fernrohr in den Azimuten  $90^\circ$  und  $270^\circ$  koinzidiert und die halbe Differenz der Mikrometerlesungen gebildet. Da die Neigungsmessung in anderen Stellungen als die Polariszielung vorgenommen wird, kommt allerdings ihre hohe innere Genauigkeit von etwa  $\pm 0''4$  nur bei idealen Stehachsen und auf guten Stativen zum Tragen. Die Stehachsen moderner Sekundentheodolite haben Taumelfehler der Größenordnung 1"; während sie bei den Zylinderachsen von T2 und Th2 praktisch zufällig variieren, zeigen sie beim DKM2-A systematisches Verhalten /1/, /6/.

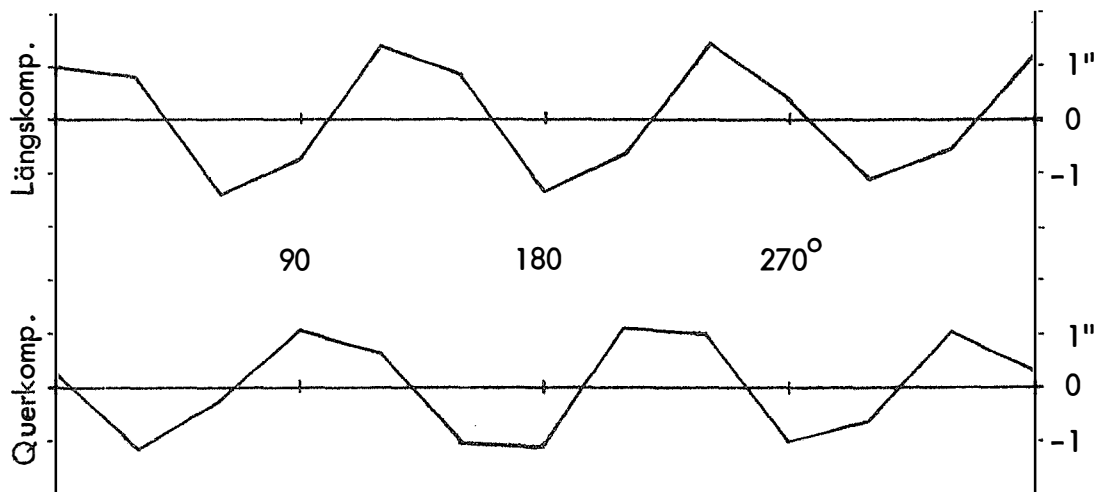


Abb. 8: Stehachs-Taumelfehler des DKM2-A Nr. 182 805

Die Achsialkugellager-Stehachse des DKM2-A ist sehr stabil und ihre Lage auf  $0''3$  reproduzierbar, doch kommt es wegen der Dreipunktaufhängung des Tragrings zu regelmäßigen Taumelbewegungen mit  $120^\circ$ -Periode. Abbildung 8 zeigt die beiden Komponenten, deren Extremwerte um  $90^\circ$  gegeneinander verschoben sind. Bei drei untersuchten Theodoliten sind die Kurven nahezu identisch. Die systematischen Einflüsse auf die Neigungsbestimmung und damit auf das Azimut können eliminiert werden, wenn der Unterbau nach einigen Sätzen um  $60^\circ$  verdreht wird /6/. Einfacher ist es, das Instrument so aufzustellen, daß eine Fußschraube nach Norden weist. In diesem Fall kann man die Neigungskorrektur bereits mit 2 Koinzidenzen auf etwa 1" bestimmen, was

nicht länger dauert als die 4 Libellenlesungen. Versuchsmessungen ergaben für sechs in je 4 Sätzen gemessene Azimute mittlere Fehler von  $\pm 0''6$ . Die Unterschiede gegenüber T4-Referenzmessungen, die Kollege HAUSWIRTH im Zuge seiner Diplomarbeit vorgenommen hatte, betragen im Mittel  $+ 0''23$  und lagen zwischen  $- 3''$  und  $+ 4''$ ; sie wurden mit zunehmender Übung und nach Orientieren des Unterbaues geringer.

Vor einem Jahr hat Kern & Co. eine kleine Serie von Theodoliten mit einem speziellen Kippachsmikrometer ausgestattet, das den Flüssigkeitskompensator des Höhenkreises zur Neigungsmessung heranzieht. Welche Genauigkeiten mit dieser Neuerung erreichbar sind, untersucht zur Zeit Herr VEIGL in seiner Diplomarbeit /13/. Unter den bisherigen Azimutbeobachtungen beträgt die größte Differenz von 9 Abendmitteln nur  $2''3$ , was für die Nützlichkeit des Kippachsmikrometers spricht.

#### ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Ich habe zu zeigen versucht, wie mit relativ kleinen Instrumenten sehr genaue geodätisch-astronomische Messungen möglich sind. Bei der Azimutbestimmung lassen sich mit Sekundentheodoliten die Genauigkeiten eines T4 aus technischen Gründen nicht ganz erreichen, die des DKM3-A hingegen schon. Was die Bestimmung von astronomischer Breite und Länge betrifft, ist das Ni2-Astrolab den großen Universalen praktisch gleichwertig, dies allerdings bei einem Bruchteil des instrumentellen Aufwands und ohne den oft so schwierigen Bau eines Beobachtungspfeilers. Es freut mich besonders, daß ein solches Instrument seit einiger Zeit in der Abteilung K2 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen erfolgreich im Einsatz steht.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die erwähnten kleinen Instrumente für alle astrogeodätischen Messungen auf Punkten 1. Ordnung ausreichen. Ihre Verwendung bedeutet eine spürbare Erleichterung für den Meßtrupp, spart Kosten und Trägerpersonal und erhöht die Chance, kurze Schönwetterperioden ausnützen zu können, ganz erheblich. Alle diese Vorteile nehmen gewissermaßen mit der Meereshöhe zu. Außerdem macht es die kurze Meßzeit prinzipiell möglich, während der Nacht eine zweite oder sogar dritte Station zu beziehen. Angesichts der Geoidprojekte, die Österreichs Geodäten in der nächsten Zeit in Angriff nehmen werden, gewinnen diese Vorteile aktuelle Bedeutung.

\* \* \*

Die wichtigsten Diskussionsbeiträge und Anfragen aus dem Kreise der Zuhörer betrafen folgende Themen:

Methode der Azimutstandlinien (mit Sekundentheodoliten)

Problematik der "Abendfehler"

Elimination meteorologischer Fehler durch Dispersionsverfahren

Ursachen des "schlechten" Abschneidens großer Universalinstrumente

Thermische Einflüsse auf mechanische Teile

Entstehung und Wirkung des "Durchgangsfehlers"

Eventuelle Veränderungen der persönlichen Gleichung.

#### LITERATUR

- /1/ AESCHLIMANN H.:  
Der neue Sekundentheodolit DKM2-A. Schweiz.Z.f.V., Ph.u.K., Jg.70,  
Fachblatt S. 15 - 28, Winterthur 1972.
- /2/ BRETTERBAUER K.:  
Astronomische Ortsbestimmung. Vortrag am 22.11.1972, Außeninstitut der TH  
Wien. Zusammenfassung in: Geowiss.Mitt., Heft 1, S.129 f, Wien 1973.
- /3/ GERSTBACH G.:  
Astronomische Ortsbestimmung mit dem Prismenastrolab. Österr.Z.f.V.u.Ph.,  
Jg.62, S.25 - 34, Wien 1974.
- /4/ GERSTBACH G.:  
Astronomische Breiten- und Längenbestimmung mit dem DKM2-A. Kern-Bulle-  
tin Nr.22, S.3 - 6, Aarau 1975.
- /5/ GERSTBACH G.:  
Beiträge zur Optimierung von Astrolabbeobachtungen. Geowiss.Mitt., Heft 7,  
S.103 - 134, Wien 1975.
- /6/ GERSTBACH G.:  
Zur Azimutmessung mit Sekundentheodoliten. Zum Druck angenommen für  
Österr.Z.f.V.u.Ph., Jg.64, Heft 2, Wien 1976.
- /7/ HAHN H.:  
Geografische Ortsbestimmung mit Askania-Theodolit Tu 400. Askania-Warte,  
Jg.22, Heft 65, S.7 - 13, Berlin 1965.
- /8/ MÜLLER H.:  
Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz (1965 - 1970).  
Schweiz.Geod.Kommission, Band 29, Zürich 1972.

- /9/ RAMSAYER K.:  
Jordan/Eggert/Kneißl, Handbuch der Vermessungskunde, 10. Auflage, Band IIa:  
Geodätische Astronomie, Stuttgart 1970.
- /10/ RÖDDE A.:  
Simultanbestimmungen der Lotabweichungskomponenten  $\xi$  und  $\eta$  mit dem  
Prismenastrolabium, VI. DGK Reihe B, Heft 162, Frankfurt 1968.
- /11/ RÖDDE A.:  
Simultanbestimmungen der Lotabweichungskomponenten  $\xi$  und  $\eta$  mit dem  
Prismenastrolabium, X. DGK Reihe B, Heft 197, Frankfurt 1974.
- /12/ RÜEGER J. M.:  
Astronomische Messungen mit dem DKM2-A zur Breitenbestimmung. Schweiz.Z.  
f.V., Ph.u.K., Jg.71, Fachblatt S. 35 - 38, Winterthur 1973.
- /13/ VEIGL H.:  
Untersuchung eines neuen Sekundentheodolits der Firma Kern auf seine Eignung  
zur astronomischen Ortsbestimmung (Arbeitstitel). Diplomarbeit, Institut für  
Höhere Geodäsie, TU Wien 1976.

Geowiss. Mitt.11  
1976, 117 - 129

VERMESSUNGEN ALS GRUNDLAGE GEOPHYSIKALISCHER AUFGABEN

von

E. K. Hauswirth

(Vortrag gehalten am 28. April 1976  
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten  
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.-Ing.Dr.techn.E.K.Hauswirth, Universitätsassistent  
am Institut für Geophysik, Technische Universität,  
1040 Wien, Gußhausstraße 27-29

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das Institut für Geophysik der Technischen Universität Wien (Vorstand: o. Prof. Dr. A. E. Scheidegger) befaßt sich seit mehreren Jahren mit der Untersuchung instabiler Geländeformationen im österreichischen Bundesgebiet. Die Bedeutung der geodätischen Methoden in der geophysikalischen Forschung wird an zwei verschiedenen Beispielen gezeigt. Weiters wird auch auf die Wichtigkeit der Bodenbewegungen und geophysikalisch-geodätischer Messungen für Betrachtungen im Rahmen des Bodenwesens hingewiesen.

## EINLEITUNG

Seit dem Jahre 1971 besteht an der Technischen Universität Wien das Institut für Geophysik, das im Verband der geodätischen Institute integriert ist. Diese Konstellation scheint ziemlich einmalig zu sein, ebenso wie die Wiener Spezialität der Zugehörigkeit der Geodäsie zur naturwissenschaftlichen Fakultät.

Der Vorstand des Institutes, Herr Prof. Dr. Scheidegger, stellt bereits in der Einleitung zu seinem erst kürzlich erschienenen Buch "Foundations of Geophysics" fest: "Die Geodäsie kann, wie auch die Geographie und Geologie nicht als Teil der Geophysik angesehen werden. Sie steht aber wie die beiden anderen Wissenschaften in gewisser Beziehung an ihrem Anfang. Die Geographie gibt die grundlegende Beschreibung des Körpers, mit dem es der Geophysiker zu tun hat. Die Geologie gibt wichtige Beobachtungsergebnisse über die oberen Erdschichten bekannt. Die Geodäsie schließlich liefert die Größe und Gestalt der Erde und befaßt sich - wie auch die Geophysik - mit Fragen der Gravitation."

Er räumt mit dieser Aussage der Geodäsie ganz allgemein bereits eine wichtige partnerschaftliche Stellung im Bereich der beiden Wissenschaften ein. Im speziellen werden von ihm bei den meisten der durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen auch vermessungstechnische Fragen gestellt und Vermessungen verschiedenster Art im Rahmen der behandelten geophysikalischen Aufgaben verwendet.

Aber nicht nur im Bereich der Forschung findet eine Beziehung zwischen Geophysik und Geodäsie ihren Niederschlag. Auch im ZIVILTECHNIKERGESETZ (1957) ist eine Begründung für eine Zusammengehörigkeit gegeben. Im § 5 dieses Gesetzes wird Inhalt und Umfang der Befugnis eines Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen geregelt. Darin wird neben den hinlänglich bekannten Gebieten und neben der Bodenforschung, der Bodenaufschließung und der Mitwirkung an der Landesplanung auch die Geophysik als - zum Umfang einer Befugnis eines Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen gehörig - genannt. Damit wird aber neben der Sinnhaftigkeit auch die

Notwendigkeit für eine entsprechende geophysikalische Ausbildung der Geodäsiestudenten und daher das Bestehen eines entsprechenden Institutes vom Gesetzgeber festgehalten.

Im vorliegenden Vortrag sollten nun nicht allgemeine Untersuchungen darüber angestellt werden, inwieweit die Geodäsie, in welchem Umfang und für welche Teilbereiche der Geophysik, von Bedeutung ist. Wollte man dies umfassend durchführen, könnte man möglicherweise bereits eine kleine Vorlesung damit gestalten. Es ist daher die Absicht an zwei ausgewählten Beispielen zu zeigen, daß einerseits das bloße Vorhandensein geodätischer Arbeiten, die eigentlich zu anderen Zwecken ausgeführt worden sind, bereits Hilfe für geomorphologische Beschreibung und geomechanische Deutung sein kann. Andererseits soll auch über ein Gebiet berichtet werden, in welchem exakte geodätische Vermessungen vorgenommen worden sind, die die primäre Grundlage für die geophysikalische Untersuchung darstellen. Dazu darf erwähnt werden, daß das Institut für Geophysik der Technischen Universität Wien im Rahmen des Internationalen Geodynamik Projektes (Vorsitzender des Nationalen Komitees: o. Prof. Dr. F. Steinhauser) seit einigen Jahren am Forschungsprogramm "Untersuchung der tektonischen Spannungen und des tektonischen Bewegungsfeldes im österreichischen Alpengebiet" arbeitet. In diesem Zusammenhang befaßt sich das Institut mit der Untersuchung der sichtbaren Spuren des Spannungsfeldes im Gestein, mit direkten Spannungsmessungen und mit gravimetrischen und geomechanischen Beobachtungen.

#### BODENBEWEGUNGEN

Darüber hinaus beschäftigt sich das Institut mit der Erforschung von Bodenbewegungen, worunter man alle Bewegungen des Gesteinsuntergrundes versteht (KRÖGER 1970). Unter diesen Bewegungen kennt man solche, die für den Menschen nur indirekt wahrnehmbar sind und großen Umfang und großen Tiefgang haben - das heißt, deren Bewegungsbahnen tief im anstehenden Gebirge liegen - und nennt diese Talzuschub. Die entsprechenden langsamen Bewegungen in Oberflächennähe werden meist als "oberflä-



chennahes Hakenwerfen" bezeichnet, sofern sie Festgestein betreffen, und als "Schuttwandern" wenn sie im Lockergestein vorkommen.

Bodenbewegungen mit einer Geschwindigkeit, die vom Menschen direkt wahrgenommen werden kann, erhalten von KRÖGER (1970) die Benennung Rutsch bzw. Bergsturz, Steinlawine oder Mure. Rutsche werden nach Größe und Tiefgang in Bergrutsche, Blockströme, und Erdströme sowie Erdrutsche eingeteilt. Bergrutsche erfassen vorwiegend Felsmassen, die anderen Arten vorwiegend Lockergestein. Ebenfalls im Festgestein spielt sich der Bergsturz ab, der sich häufig mit ungeheuren Geschwindigkeiten bis über 100 km/h bewegt. In der Bewegungsgeschwindigkeit lassen sich mit dem Bergsturz auch Steinlawinen und Muren vergleichen. Steinlawinen sind kleiner als Bergstürze und können sowohl von Festgesteinen als auch von Lockergesteinen ausgehen. Die Muren dagegen betreffen nur Lockergesteine. Außerdem ist ein hoher Wassergehalt des transportierten Materials Grundvoraussetzung eines Murganges, der bis zu 55 Gew.-% erreichen kann.

#### BISHER UNTERSUCHTE BODENBEWEGUNGSGEBIETE

Es ist nun gerade das Gebiet der Bodenbewegungen, welchem ein Hauptaugenmerk der Forschung des genannten Institutes zukommt, und in welchem naturgemäß geodätische Probleme aufgeworfen werden. Vornehmliche Aufgabe der Vermessung ist dabei die Erfassung und planliche Darstellung des zu beobachtenden Raumes sowie die Erkennung und Ausmessung der Bewegungen von signifikanten Punkten dieses Gebietes. Als Ergebnis erwartet man sich die räumliche Richtung und Größe der Bewegungswerte. So spannt sich denn die Arbeit des Geodäten in diesem Bereich der geophysikalischen Forschung von der Tachymetrie über die Photogrammetrie zur Triangulation-Trilateration. Besonders kommt dabei den Methoden von Deformationsmessungen Bedeutung zu. Eine Übersicht darüber bzw. eine Erläuterung der Problematik geodätischer Deformationsmessungen ist bereits von PELZER (1975) und PETERS (1975) gegeben worden.

Es darf in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß bereits einige Nullmessungen - das sind die erstmaligen Vermessungen der jeweiligen Punktfigurationen, die in diesem Zusammenhang auch gerne Bewegungsnetze genannt werden - vom Institut durchgeführt worden sind. Diese Arbeiten standen unter der geodätischen Leitung von Herrn Dr. Brunner. Sie wurden im Bereich des Lesach Riegels in Osttirol, auf einer Schutthalde im Hochköniggebiet und in der Nähe von Wörschach ausgeführt. Teilweise existieren dazu bereits Nachmessungen. Eine Nachmessung eines vom BAfEuV angelegten Bewegungsnetzes bei Hallstatt wurde ebenfalls von Dr. Brunner ausgeführt. Weitere Arbeiten zur Untersuchung instabiler Gelände wurden bei Irschen, bei Reith bei Kitzbühel und im Felbertal durchgeführt.

#### WEITERE GEBIETE MIT FESTGESTELLTEN INSTABILITÄTEN

Oft wäre es äußerst wünschenswert, könnte man - ähnlich wie bei Hallstatt - auf bereits früher durchgeführte Messungen zurückgreifen. Leider scheint jedoch diese vorhin erwähnte Nullmessung ein Einzelfall zu sein. Es ist daher besonders zu würdigen, daß die Problematik von den maßgeblichen Herren des BAfEuV aufgegriffen worden ist und aus der Erinnerung sehr interessante und wichtige Hinweise auf einmal als bewegt oder zumindest verändert festgestellte Punkte gegeben werden konnten. Diese Aussagen ergaben Hinweise für mögliche spätere Untersuchungen in den Gebieten Göblberg im Bereich der ÖK 47, auf Geboltskirchen-Kohlengrube im Bereich der ÖK 48, auf Grünbach (ÖK 75), Selzthal (ÖK 98), Lend (ÖK 124), Leoben (ÖK 132 und 133), Golmer Hang (ÖK 142), auf die Gebiete Kaunertal-Kaunerberg-Innerberg-Karlsspitze auf der ÖK 145, sowie Bad Gastein-Bad Hofgastein-Hüttschlag im Bereich der ÖK 155 und den Bereich von Judenburg-Gabelhofen-Fohnsdorf auf der ÖK 161, sowie Voitsberg-Jausner auf der ÖK 163. Diese Gebiete wurden nunmehr vom Institut in die nähere Wahl der Untersuchungen gezogen, wobei voraussichtlich die Probleme um Lend, Leoben, Kaunertal und Gabelhofen sowie Gastein - wo bereits genaue geologische Untersuchungen von Prof. Exner (Universität Wien) vorliegen - besonders interessant erscheinen. Den Herren vom

BAfEuV sei an dieser Stelle für ihr Entgegenkommen besonders gedankt. Da für eine sinnvolle Erforschung der Bewegungen von Bodenformationen ein repräsentativer Querschnitt durch das österreichische Gebiet erforderlich ist, kommen diesen oben angeführten Hinweisen besondere Bedeutung zu.

#### BODENWESEN

Wie aus der vorigen Übersicht erkannt werden kann, ist eine große Streuung der Erscheinung von Instabilitäten des Bodens gegeben. Ebenso gehen die Ursachen dieser Bewegungen auf verschiedene Gründe zurück. Neben den tektonischen Verschiebungen, Talzuschüben und sonstigen naturbedingten Bodenbewegungen werden auch Geländeverschiebungen durch menschliche Eingriffe, wie z. B. durch Bergwerke u. ä. hervorgerufen. Alle diese Bewegungen sind von vielfältigem Interesse. Insbesondere sind solche Instabilitäten für das Bodenwesen von großer Bedeutung.

Mit Bodenwesen möchte ich jenen interdisziplinären Bereich zwischen Geodäsie, Geophysik und Raumordnung definieren, der sich mit der Verwertbarkeit von Grund und Boden im einzelnen und im Sinne einer örtlichen Raumplanung beschäftigt. Dabei werden den Untersuchungen technisch-rechtliche Aspekte sowie Ergebnisse aus Bodenschätzungen und Standortbestimmungen zugrunde gelegt. Sofern erforderlich werden geodätisch-geophysikalische Messungen durchgeführt. Es ist nämlich auch Aufgabe des Bodenwesens, zur Beurteilung von relevanten Gefährdungsbereichen ein besonderes Augenmerk auf Instabilitäten und mögliche und tatsächliche Bodenbewegungen eines Gebietes und seiner Umgebung zu legen. In diesem Sinne sollen auch die anfänglich angekündigten nun folgenden zwei Beispiele verstanden werden.

#### DAS RUTSCHUNGSGEBIET IM FELBERTAL

Im Jahre 1974 wurden im Bereich des Felbertales in einem Rutschungsgebiet Untersuchungen zur Ermittlung der Geomechanik der dortigen Massen-

bewegungen angestellt. Dazu bediente man sich der Methoden der Hammer-schlagseismik, der Klufitmessung sowie der Tachymetrie und stellte auch klimatologische Beobachtungen an. Für die Erkennung der Entwicklung der deutlich wahrnehmbaren Störung, die auch im Jahre 1965 zu einer Plaikenbildung nach einem Erdrutsch geführt hatte, konnten terrestrisch photogrammetrische Aufnahmen bzw. Luftaufnahmen des BAFeuV vorteilhaft Verwendung finden. Die Bilder selbst, sowie eine genauere Beschreibung der Untersuchungen können CARNIEL et. al. (1975) entnommen werden. Bei dieser speziellen Untersuchung darf auf die besondere Bedeutung der geodätischen Produkte für die geomorphologische Betrachtungsweise aufmerksam gemacht werden.

Darüber hinaus ist aber auch auf die wirtschaftliche Bedeutung von Instabilitäten und Erdrutschen für das betroffene Gebiet hinzuweisen. Wie dort durch Luftbilder und Berichten von Ansässigen festgestellt worden ist, gab ein relativ geringfügiges Rutschereignis Anlaß zur Neuanlegung eines über 500 Höhenmeter sich erstreckenden Fahrweges, sowie zur Abtragung von Hütten, die mehrere Meter weit versetzt worden waren.

#### DIE GROSSHANGBEWEGUNG PLASSEN BEI HALLSTATT

Anders sind die Situation und die angewandten Untersuchungsmethoden bei den Erscheinungen rund um den Hallstätter Salzberg. In diesem offensichtlich teils durch tektonische teils durch bergbau-technische Einflüsse instabilen Gebiet wurden in erster Linie geodätische Deformationsmessungen durchgeführt. Diese wurden auf Anregung von Dr. G. Schäffer (Geologische Bundesanstalt Wien |GBA| ) als Nachmessungen zu einer Nullmessung aus dem Jahre 1954 des BAFeuV ausgeführt. Die Nachmessungen wurden vom Institut für Geophysik im Jahre 1975 allein und in den Jahren 1973 und 1974 unter Mithilfe der GBA vorgenommen. Eine Beschreibung der Situation ist der Publikation HAUSWIRTH, SCHEIDEGGER (1976) zu entnehmen. Die technische Beschreibung der Vermessungen ist im OPERAT 0/126 sowie in HAUSWIRTH (1976) und BRUNNER, HAUSWIRTH (1976) gegeben, worin auch ausführlich über die Auswertung und über die Theorie zur Bestimmung von Bewegungsvektoren berichtet ist. Einen Überblick über die vertikalen sowie horizontalen Bewegungen geben die Abbildungen 1 und 2.

Zusätzlich wurden 1975 auch Klufitmessungen ausgeführt, welche als Ausdruck des Spannungsfeldes ausgewertet und mit den oberflächengeomorphologischen Erscheinungen verglichen wurden. Die Resultate aller Messungen kann man geomechanisch wie folgt deuten. Der gesamte "Salzberg" vom Plassenstein (PL) bis Rudolfsturm (RT) fließt plastisch in ESE-Richtung. Die umrahmenden Felswände der Hohen Sieg (HS), des Großen Kreuzbergs (GK) und Riegels mit dem Rudolfsturm fungieren als Widerlager; in deren Nachbarschaft ist das Material in einem passiven Rankine'schen Fließzustand. In der Mitte des Salzberges ist das Fließen aktiv; die kleinste Druckspannung ist parallel zur Bewegung. An der Oberfläche liegt die größte Druckspannung horizontal im rechten Winkel dazu, untertags entspricht sie dem Überlagerungsdruck.

Durch diese Fließerscheinungen wird bewirkt, daß einige am Obersalzberg errichteten Gebäude nicht mehr in nutzbringender Verwendung stehen können. Die Häuser dienten früher den Bergleuten als Unterkunft. Heute werden von der Bergbauverwaltung nur wenige benötigt. Daher ist ein Teil jener Gebäude, die am Berg unterhalb des Kaiser Josef Stollens (KJ) und des Maria Theresien Stollens (MT) liegen, als Ferienwohnungen vermietet und können so genutzt werden. Die übrigen, die bergauf Richtung Punkt Grubenbefahrung (GB) liegen, weisen deutliche Risse auf, die auch auf die erkannten Bewegungen hindeuten. Diese Bauwerke können nicht wie die übrigen genutzt werden, was einmal mehr den wirtschaftlichen Schädigungseffekt auftretender Bodeninstabilitäten zeigt.

Deutliche Schäden treten auch alljährlich an einem auf den Salzberg führenden Forstweg auf. Sie sind besonders groß am Fuße des Roten Kögel (RK). Dieses ist ein Kalkblock, der wie ein Zahn im umgebenden Haselgebirge zu stecken scheint. Er scheint abgetrennt vom Rücken, der vom Plassen über den Lahngangkogel (LK) und die Punkte A und B herabreicht.

Bereits nach der ersten Nachmessung konnte auch eine besonders große Veränderung dieses Punktes nachgewiesen werden. Durch die darauffolgenden Messungen konnte auch meine ursprüngliche Vermutung, daß sich dieser Kalkstock beschleunigt bewegt, nachgewiesen werden. Dies ist deut-

lich aus dem Vektorenweg (Abb. 2) zu ersehen. In den Jahren 1954 - 1973 wurde eine SE gerichtete Bewegung von 4,23 m in horizontaler Richtung nachgewiesen. Dem entspricht eine durchschnittliche Bewegung von 22,3 cm. Gesenkt hat sich der Punkt in der gleichen Zeit um 1,58 m also 8,3 cm im Jahr. In der Zeitspanne eines Jahres zwischen 1973 und 1974 bewegte sich der Meßpunkt bereits um 34,9 cm in horizontaler und 16 cm in vertikaler Richtung und innerhalb eines weiteren Jahres erhöhten sich die Bewegungsraten auf 56,85 cm bzw. 22 cm.

Weiters kann nun vermutet werden, daß sich die Spitze dieses Kögels vom Berg weg - allerdings nicht unbedingt in die Richtung maximaler Verschiebung dreht. Aussagen darüber sollen Neigungsmessungen, die angestellt werden sollen, geben. Weiters wird noch zu überlegen sein, ob ein Versuch, Massenbestimmungen dieses Kalkstockes vorzunehmen, unternommen werden soll. Diese sollten für eventuelle Vorausberechnung der weiteren Bewegungen des Roten Kögels dienen.

Sollte nämlich demzufolge Gefahr für ein Umstürzen des Kalkblockes gegeben sein, so wäre es nicht von unbeträchtlicher Bedeutung, den ungefähren Zeitpunkt eines solchen Ereignisses zu wissen und entsprechende Schutzmaßnahmen zu setzen. Es gälte nämlich nicht nur Gefahren vorzubeugen, die im obertätigen Bereich liegen, sondern auch solchen, die durch eine größere Massenverlagerung dem Bergwerk drohen, mit Schutzmaßnahmen entgegenzutreten.

#### ABSCHLUSS UND AUSBLICK

Mit den vorliegenden Ausführungen hoffe ich an Hand der geschilderten Situationen gezeigt zu haben, wie wichtig die enge Zusammenarbeit der verschiedenen Zweige der Geowissenschaften und insbesondere zwischen Geodäsie und Geophysik ist. Vor allem möchte ich dem Wunsche Ausdruck verleihen, daß Untersuchungen, wie die hier angedeuteten, späterhin wertvolle Hilfe für das Erkennen latenter Gefahren sein mögen. Dadurch sollten auch Fehlplanungen vermieden werden, die Gefahren für Vermögen und Gesundheit der Bevölkerung darstellen.

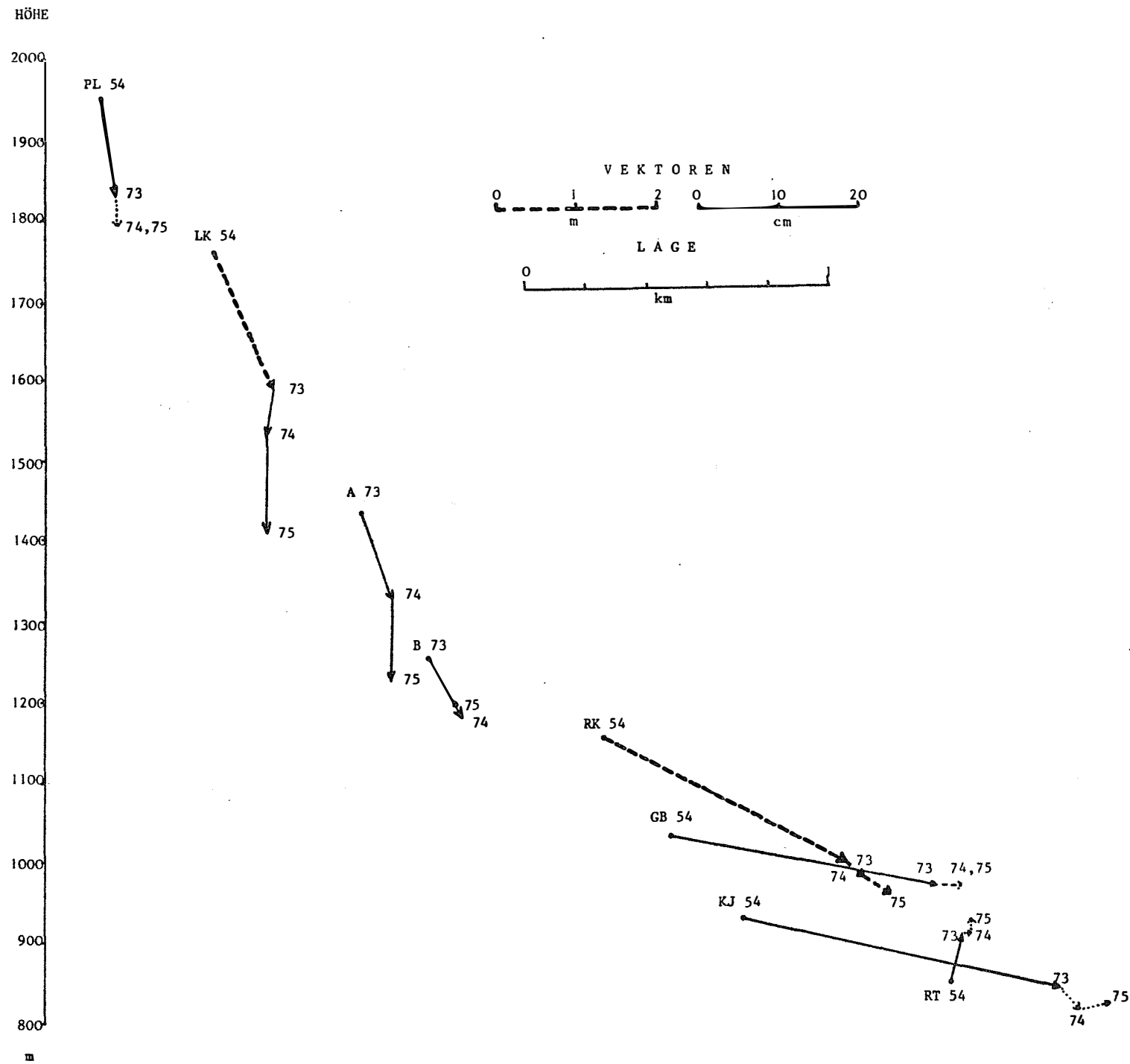


Abb. 1: Die Veränderungen der Höhen 1954 - 1975

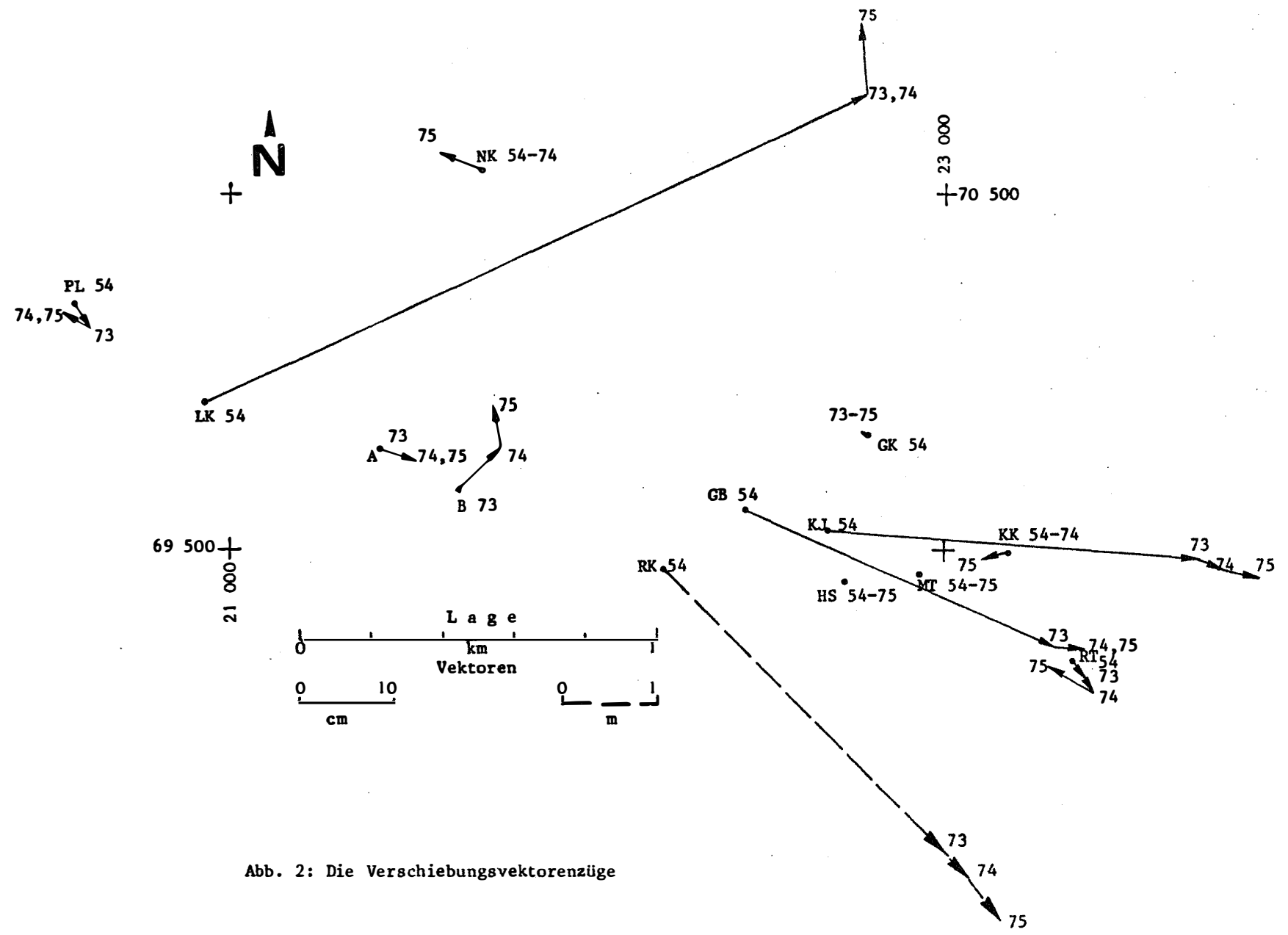


Abb. 2: Die Verschiebungsvektorenzüge



LITERATUR

- BRUNNER, F. K., HAUSWIRTH, E. K. (1976): Geodätische Untersuchungen einer rezenten Großhangbewegung bei Hallstatt/O.-ö., ÖZfV in Druck.
- CARNIEL, P., HAUSWIRTH, E. K., ROCH, K. H., SCHEIDEGGER, A. E. (1975): Geomechanische Untersuchungen in einem Rutschungsgebiet im Felbertal in Österreich. Verh. Geol. Bundesanstalt 1975/4, S. 305-330.
- HAUSWIRTH, E. K. (1976): Die Auswertung der Höhenmessungen im Bereich der Großhangbewegung Plassen bei Hallstatt O.-ö. Epochen 1954, 1973 - 1975. IGP Rapport 2/1976 unveröffentlicht.
- HAUSWIRTH, E. K., SCHEIDEGGER, A. E. (1976): Geomechanische Untersuchungen der Großhangbewegung Hallstatt-Plassen (Österreich). Rivista Italiana di Geofisica, Bd. III (1976), Heft 1/2, S.85-90.
- KRÖGER, I. (1970): Über die Ursachen und den Ablauf von Bergrutschungen und anderen natürlichen Bodenbewegungen im bayerisch-österreichischen Alpenrand. Diss. TU München 1970, 169 S.
- OPERAT O/126: Legende zu Triangulierungsoperat Hallstatt 1954; Archiv der Triangulierungsabt. des BAFEuV.
- ÖK: Österreichische Karte 1:50.000. Hrsg. von BAFEuV, Gruppe Landesaufnahme Wien.
- PELZER, H. (1975): Zur Problematik geodätischer Deformationsmessungen. Vortrag gehalten am 15. 12. 1975 an der TU Wien.
- PETERS, K. (1975): Problematik von Krustenbewegungsmessungen. Vortrag gehalten am 9. 12. 1975 an der TU Wien.
- ZIVILTECHNIKERGESETZ (1957): 146. Bundesgesetz vom 18. Juni 1957 über die staatlich befugten und beeideten Architekten, Ingenieurkonsulenten und Zivilingenieure (Ziviltechnikergesetz). Ausgegeben am 8. Juli 1957, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jg. 1957, 43. Stück, S. 833-844.

Bisher erschienen:

- Heft 1 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen  
1970 - 1973, Dezember 1973.
- Heft 2 EGGER-PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Taschenrechner HP 45 und HP 65,  
Programme und Anwendung im Vermessungswesen, 1. Auflage, März 1974,  
Special Edition in English, Juli 1974, 2. verbesserte Auflage,  
November 1974.
- Heft 3 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen  
1973 - 1974, September 1974.
- Heft 4 EGGER-PALFINGER-PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Tektronix-Tisch-  
rechner TEK 31, Programmbibliothek für den Einsatz im Vermessungs-  
wesen, November 1974.
- Heft 5 K. LEDERSTEGGER, Die horizontale Isostasie und das isostatische Geoid,  
Februar 1975.
- Heft 6 F. REICHHART, Katalog von FK4 Horrebow-Paaren für Breiten von  
 $+ 30^{\circ}$  bis  $+ 60^{\circ}$ , Oktober 1975.
- Heft 7 Arbeiten aus dem Institut für Höhere Geodäsie, Wien, Dezember 1975.
- Heft 8 Veröffentlichungen des Instituts für Photogrammetrie zum  
XIII. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Helsinki 1976,  
Wien, Juli 1976.
- Heft 9 Veröffentlichung des Instituts für Kartographie und Reproduktions-  
technik, W. PILLEWIZER, Felddarstellung aus Orthophotos,  
Wien, Juni 1976.
- Heft 10 PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Der Einsatz des programmierbaren  
Taschenrechners Texas Instruments SR-52 mit Drucker PC-100 in der  
ingenieurgeodätischen Rechentechnik, Wien, Mai 1976.
- Heft 11 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen  
1974 - 1976, November 1976.