

Studienrichtung Vermessungswesen
Technische Universität Wien

**GEOWISSENSCHAFTLICHE
MITTEILUNGEN**

Heft 16

**Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung
Vermessungswesen 1977 – 1978**

Studienrichtung Vermessungswesen
Technische Universität Wien

**GEOWISSENSCHAFTLICHE
MITTEILUNGEN**

Heft 16

**Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung
Vermessungswesen 1977 – 1978**

Herausgeber, Verleger und
presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Doz.Dr.K. Peters
Institut für Landesvermessung
Technische Universität Wien

A 1040 Wien, Gußhausstraße 27-29

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

INHALTSVERZEICHNIS

GERSTBACH, G.:	Probleme der regionalen Geoidbestimmung	1
PALFINGER, G.:	Laser in der Vermessungstechnik	27
FÜRST, J.:	Das Netzausgleichsprogramm 3 D. Möglichkeiten, Leistungsgrenzen und praktische Handhabung mit Beispielen	39
PETERS, K.:	Pragmatische Gedanken über den Leitungskataster in Österreich	57
JIRESCH, E.:	Kartographie für Ingenieur- konsulenten	81

Geowiss. Mitt. 16

1979, 1

PROBLEME DER REGIONALEN GEOIDBESTIMMUNG

von

G. Gerstbach

(Vortrag gehalten am 19. Jänner 1977
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

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

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Geoidbestimmung werden künstliche Erdsatelliten, gravimetrische und astro-geodätische Verfahren benutzt. Letztere sind für regionale und detaillierte Untersuchungen am besten geeignet.

Anhand mehrerer astro-geodätischer Geoidprojekte werden die dabei auftretenden Probleme besprochen. Vorschläge und Kritik werden vor allem bei folgenden Aspekten geäußert: Reduktion von Lotabweichungen, Prüfung von Isolinien, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidhöhen (physikalisch statt statistisch), Gewichtsfunktion, günstige Netzkonfigurationen.

Abschließend werden erste Resultate der "Geoidstudie Wien" mitgeteilt.

ABSTRACT

Geoid heights can be derived by artificial satellites, gravimetric and astrogeodetic methods. The last ones are most suitable for regional and detailed investigations.

Guided by several astro-geodetic geoid projects some problems are discussed. Proposals and criticism are expressed concerning to the following aspects: reduction of vertical deflections, test of iso-lines, interpolation of vertical deflections and geoid heights (physical instead of statistic signal), weight function, configuration of nets.

At the end of the paper preliminary results of a geoid project around Vienna are shown.

Das Thema "regionale Geoidbestimmung" hat in letzter Zeit besondere Aktualität erlangt. Da der globale Verlauf des Geoids mit Hilfe der Satellitengeodäsie bereits gut erforscht ist, sind nun Anstrengungen zu einer genaueren Kenntnis seiner Detailstrukturen zu unternehmen. An den Ergebnissen sind Erdmessung, Landesvermessung und Geophysik gleichermaßen interessiert.

Vielerorts werden daher neue Geoidprojekte in Angriff genommen. Ihre Bearbeitung erfolgt nach sehr verschiedenartigen Methoden, an denen es freilich manches zu kritisieren gibt. Am Institut für Höhere Geodäsie beschäftigen wir uns seit dem Vorjahr im Rahmen eines Forschungsprojektes von Prof. Dr. K. Bretterbauer mit einer "Geoidstudie Wien". Auch für ganz Österreich ist eine Neuberechnung des Geoids vorgesehen, weil die seinerzeitige Arbeit von J. Litschauer (1953) auf lückenhaftem Material aufbauen mußte.

Im ersten Teil des Berichts werde ich einen Überblick über die verschiedenen Methoden der Geoidbestimmung geben und anschließend anhand mehrerer astro-geodätischer Geoidprojekte in Mitteleuropa die dabei auftretenden Probleme besprechen.

1. ABSCHNITT

Eine für die Geodäsie grundlegende Erscheinung ist die irdische Schwerkraft. Die Flächen konstanten Schwerepotentials, welche wir Niveauflächen nennen, umschließen die Erde schalenförmig und stehen überall senkrecht auf die wahre Lotrichtung. Daher sind Niveauflächen die natürlichen Bezugsflächen für zahlreiche geodätische Messungen. Das Geoid ist jene Niveaufläche, die in mittlerer Höhe des Meeresspiegels verläuft. Unter den Kontinenten können wir uns das Geoid durch ein System von Kanälen realisiert denken, die mit dem offenen Meer in Verbindung stehen. Jede über- oder unterirdische Massenunregelmäßigkeit beeinflußt die Niveauflächen, weil sie eine Änderung der Lotrichtung und der Schwerkraft hervorruft. Wie Abb. 1 zeigt, wölbt sich das Geoid über einem massiven unterirdischen Störkörper ebenso auf wie unter einem Gebirge. Die Höhenmessung bezieht sich auf das Geoid, die Lagevermessung hingegen auf das Referenzellipsoid, obwohl der Theodolit natürlich in einer Niveaufläche hori-

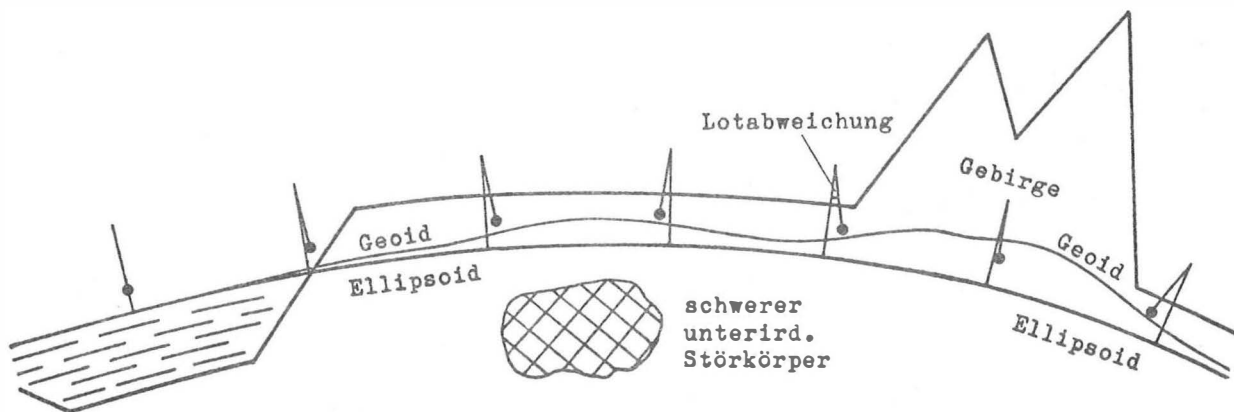


Abb. 1: Beziehungen zwischen Massenverteilung, Lotabweichung und Geoidhebung (schematisch)

zontiert wird; seine Stehachse ist gegen die Ellipsoidnormale um die "Lotabweichung" geneigt.

Wenn wir uns also die Frage stellen, wozu das Geoid (bzw. die Lotabweichung) benötigt wird, können wir neben rein wissenschaftlichen Zwecken vor allem die Reduktion der Lagevermessung und die Überführung der Höhen in deren System anführen. Im wissenschaftlichen Bereich sind Untersuchungen der Erdfigur und ihres Schwerfeldes, die Erforschung der Erdkruste, der Tektonik und Isostasie, aber auch Refraktionsuntersuchungen zu nennen. Eine bedeutende Rolle spielt das Geoid und die Schar der äusseren Niveauflächen in der Satellitengeodäsie und der Raumfahrt.

In der Landesvermessung und "Angewandten Geodäsie" benötigt man Geoid und Lotabweichungen vor allem zur Reduktion von Triangulierungen, gemessenen Strecken, Grundlinien und trigonometrischen Höhen, sowie für Übergänge zwischen verschiedenen Bezugssystemen. Im Schweizer Triangulationsnetz 1. Ordnung erreicht z.B. die Wirkung der Winkelreduktionen mehrmals 30 cm. Da diese Einflüsse bei steilen Visuren besonders groß sind, sollen sie bei Stollentriangulierungen oder Bauabsteckungen im Gebirge berücksichtigt werden. In manchen Fällen müssen die Geoidhöhenunterschiede besser als 1 cm bekannt sein, etwa zur exakten Reduktion schräger Mecometerstrecken.

Die Geoidbestimmung kann astro-geodätisch, gravimetrisch oder mit künstlichen Satelliten erfolgen, wogegen die Methode der trigonometrischen Höhennetze wegen der

Refraktion etwas zu ungenau ist. In Zukunft wird man wahrscheinlich auch die Trägheitsnavigation zur Geoidbestimmung heranziehen können, da es heute bereits Inertial-Plattformen gibt, die nach 40 km Fahrstrecke Genauigkeiten von $\pm 2''$ aufweisen.

1.1 GEOIDBESTIMMUNG MIT KÜNSTLICHEN SATELLITEN

Die Methoden der Satellitengeodäsie eignen sich sehr gut zur Erforschung des globalen Geoidverlaufs. Durch die erforderlichen hohen Satellitenbahnen (500 bis 5 000 km) wird allerdings das Auflösungsvermögen begrenzt; die kleinsten erfaßbaren Geoidstrukturen haben eine Größe von rund 1 000 km.

Bei den dynamischen Verfahren analysiert man die Bahnbewegung von Satelliten, um daraus Rückschlüsse auf die Massenverteilung der Erde zu ziehen. Dabei wird das irdische Schwerepotential zonen- und sektorenweise nach Kugelfunktionen entwickelt:

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r} \right)^n \bar{P}_{nm} (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \right] + \frac{\omega^2}{2} r^2 \cos^2 \beta .$$

GM Gravitationskonstante mal Erdmasse

R, ω Äquatorradius und Winkelgeschwindigkeit der Erde

β, λ, r geozentrische Koordinaten (Breite, Länge, Radiusvektor)

\bar{P}_{nm} Legendre'sche Polynome in $\sin \beta$ (Grad n , Ordnung m)

\bar{C}, \bar{S} normalisierte harmonische Koeffizienten der Potentialentwicklung ("Massefunktionen" der Erde).

Die Bahnstörungen der Satelliten, bei denen man säkulare, lang- und kurzperiodische unterscheidet, stehen mit den harmonischen Potentialkoeffizienten in funktionellem Zusammenhang, sodaß letztere durch Ausgleichung berechnet werden können. In der obigen Kugelfunktionsentwicklung werden die Glieder mit $m = 0$, die sich besonders genau bestimmen lassen, als "zonale Massefunktionen" bezeichnet; $\bar{C}_{2,0}$ hängt mit der Erdabplattung zusammen, $\bar{C}_{3,0}$ mit der Asymmetrie von Nord- und Südhalbkugel. Das in Abb. 2 gezeigte Geoid beruht auf der Analyse von 25 Satellitenbahnen und einer Entwicklung 14. Ordnung, die durch Gravimetrie bis zur 18. Ordnung er-

weitert wurde. Mit 386 Koeffizienten besitzt diese Lösung eine Genauigkeit von etwa ± 5 m.

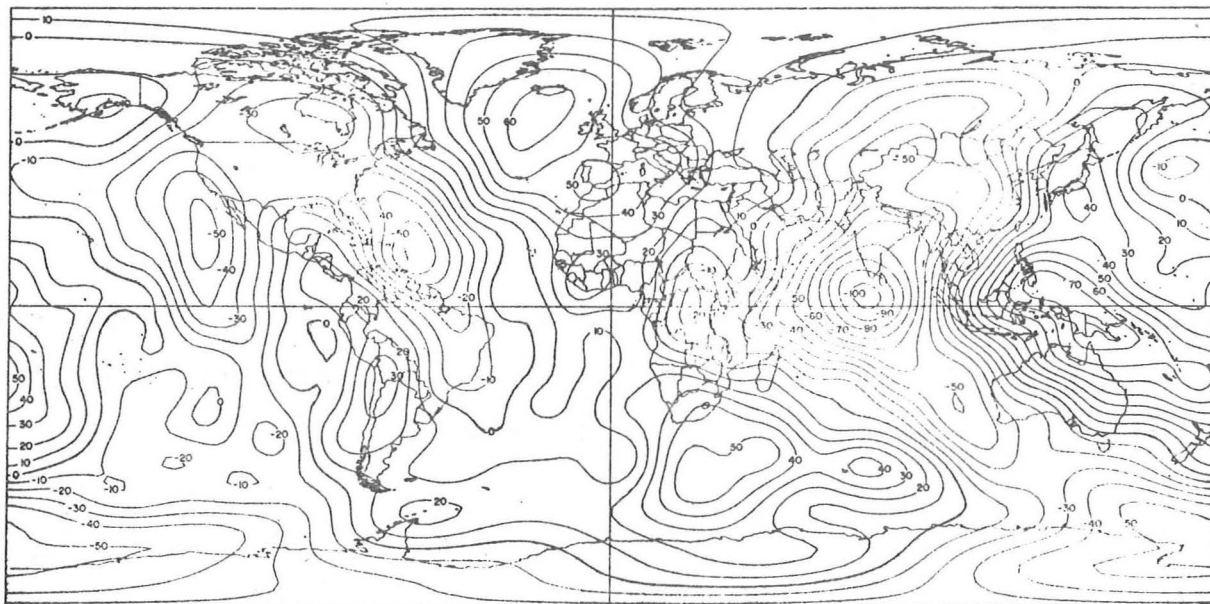


Abb. 2: globales Geoid der Smithsonian Standard Earth III, bezogen auf ein mittleres Erdellipsoid der Abplattung 1 : 298.256 (SAO, 1973)

Auch auf rein geometrischem Weg läßt sich das Geoid bestimmen, wobei freilich seine absolute Lage offen bleibt. Durch eine Satellittriangulation mit Hilfe simultaner fotografischer Aufnahmen, ergänzt um terrestrische Basismessungen, wird ein Polyeder um die ganze Erde gelegt. Errechnet man dann die räumlichen Koordinaten aller beteiligten Stationen und bringt ihre Meereshöhen in Abzug, erhält man diskrete Punkte des Geoids. Es gibt bereits mehrere derartige Netze mit bis zu 160 Punkten und Genauigkeiten um ± 5 m. Das bekannteste geometrische Weltnetz ist jenes von Prof. H.H. Schmid aus dem Jahr 1974; seine 46 Punkte werden durch 130 gut beobachtete Vektoren mit 3 000 - 5 000 km Länge verbunden (Abb. 3). Als fotografisches Ziel diente der 4 000 km hohe Ballonsatellit Pageos.

Durch Kombination dynamischer und geometrischer Verfahren ist eine Genauigkeitssteigerung auf $\pm 3 - 4$ m möglich. Im allgemeinsten Fall haben solche Modelle neben den Potentialkoeffizienten auch die Koordinaten aller Beobachtungsstationen zu Unbekannten. Satellitenergebnisse lassen sich ferner gut mit terrestrischen Schwerkreanomalien kombinieren. Auf ein derartiges Erdmodell (GEM8) werde ich noch zurückkommen.

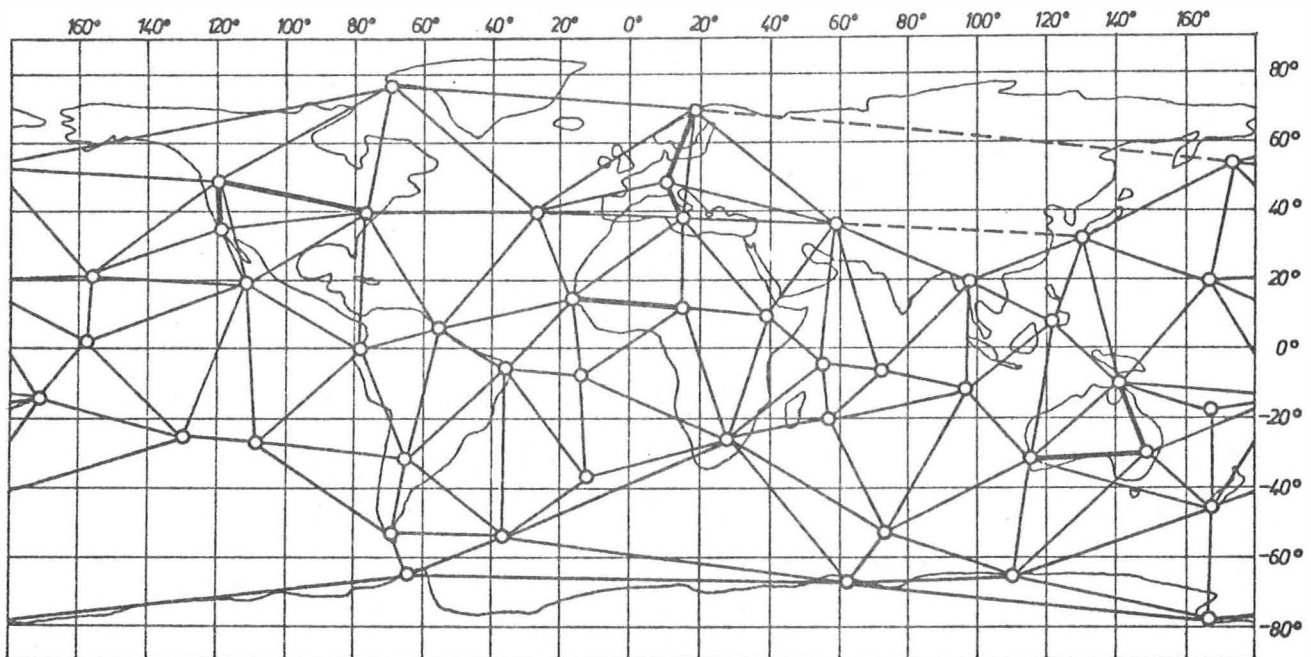


Abb. 3: Weltnetz der Satellittriangulation (gez. nach H.H. Schmid)

Der jüngste Zweig der Satellitengeodäsie ist die Altimetrie, bei der ein mit Radar ausgestatteter Satellit fortlaufend seine Höhe über dem Meeresspiegel mißt. Bei bekannten Bahnelementen ergibt sich direkt das Geoid, abgesehen von Wellengang, Strömungen und Bahnfehlern. Die Satellitaltimetrie stellt über den Ozeanen eine ideale Ergänzung zur astro-geodätischen und gravimetrischen Geoidbestimmung dar und kann bei Genauigkeiten von etwa ± 2 m Detailstrukturen bis unter 50 km liefern.

1.2 GRAVIMETRISCHE GEOIDBESTIMMUNG

Die Gravimetrie eignet sich zur globalen und regionalen Geoidbestimmung. Wenn über die ganze Erde Schwerewerte vorliegen, kann man den Verlauf des Störpotentials und in weiterer Folge die Geoidhöhen ermitteln. Es handelt sich hierbei um die Zweite Randwertaufgabe der Potentialtheorie, die Schweremessungen müssen also zu Randwerten auf dem Geoid reduziert werden. Die Art der Reduktion und die getroffene Annahme über die unterirdische Massenverteilung beeinflusst natürlich das Ergebnis ("indirekter Effekt"). Wieweit die erhaltenen Geoidhöhen absolut sind - sich auf das eindeutig gelagerte mittlere Erdellipsoid beziehen - hängt auch von der verwendeten theoretischen Schwereformel des Vergleichsfeldes ab.

Die praktische Berechnung einer Geoidhöhe erfolgt mit Hilfe des Stokes'schen Integrals, das über die ganze Erde zu erstrecken ist:

$$N = \frac{1}{4\pi} \frac{R}{g_m} \int_{\sigma} S(\vartheta) \Delta g d\sigma$$

Formal müssen die Schwereanomalien Δg in allen Punkten der Erdoberfläche bekannt sein, doch genügen für größere Entfernungen vom Ausgangspunkt repräsentative Mittelwerte. Da die Stokes'sche Funktion $S(\vartheta)$ aber für $\vartheta \rightarrow 0$ gegen ∞ strebt, sind in der Nähe sehr viele Schwerewerte vonnöten (innerhalb 50 km mindestens 100 in regel-

mäßiger Verteilung). Ab etwa 1 000 km Entfernung werden meist mittlere Schwereanomalien von $1 \times 1^\circ$ bzw. $5 \times 5^\circ$ -Feldern verwendet, bisweilen auch eine Kugelfunktions-Entwicklung. Für lückenhaftes Material gibt es spezielle Interpolationsverfahren.

Eines der ersten globalen gravimetrischen Geoide wurde 1941–48 von L. Tanni berechnet. Es beruht auf 13 000 isostatisch reduzierten Schweremessungen und $5 \times 5^\circ$ -Feldern. Die Genauigkeit liegt größtenteils bei ± 10 m, ist aber in Europa und anderen gravimetrisch gut erfaßten Gebieten wesentlich besser. Sehr bekannt ist auch das 1957 publizierte Columbus-Geoid. Das vorhin erwähnte Goddard-Erdmodell GEM 8 (1975) beinhaltet neben Satellitenergebnissen bereits 37 000 repräsentative Schwerewerte in $1 \times 1^\circ$ -Feldern, die auf der Nordhälfte der Erde fast lückenlos vorliegen. Die Genauigkeit dieser Geoidbestimmung erreicht größtenteils ± 2 m, sinkt aber in Gebieten mit wenig oder keinem Schwerematerial auf $\pm 5 - 7$ m ab.

Da Schwereanomalien und Lotabweichungen die gleiche physikalische Ursache haben, nämlich Unregelmäßigkeiten der Massenverteilung, sind sie in tektonischen Störungszonen stark korreliert. Abb. 5 zeigt die Bruchzone des Rheingrabens bei Karlsruhe mit Bouguer-Isolanomalien und einem astronomischen Nivellement, das vom Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe gemessen wurde. Der tiefste Punkt des daraus errechneten Geoidschnitts fällt nahezu mit dem Minimum der Schwereanomalien zusammen.

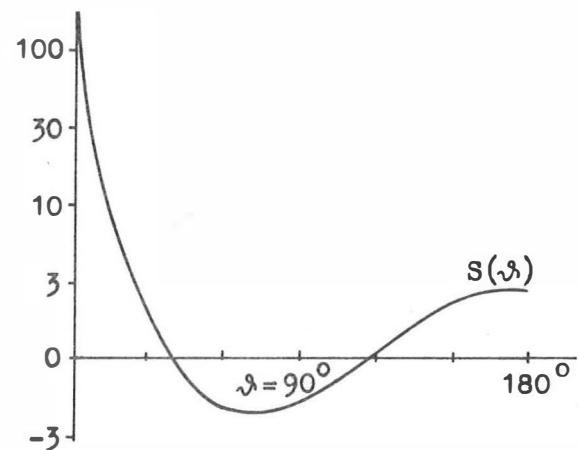


Abb. 4: Stokes'sche Funktion

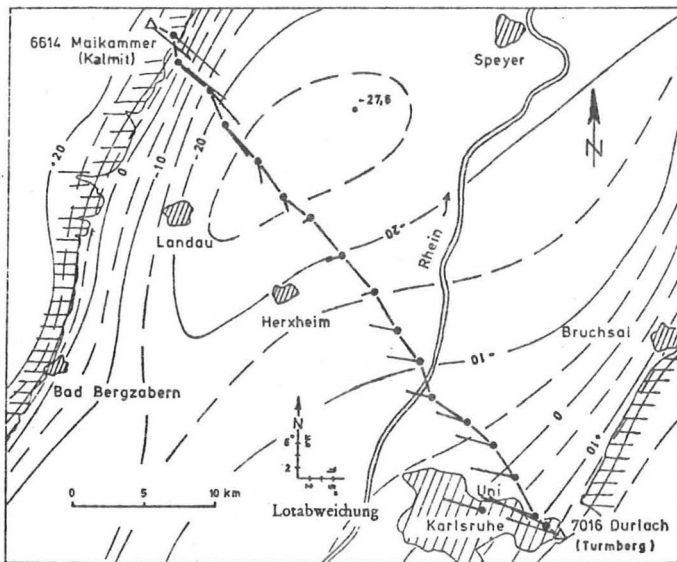


Abb. 5: Bouguer - Anomalien und Lotabweichungsprofil im Rheingraben bei Karlsruhe (nach Bozorgzadeh u. Kuntz, 1974)

1.3 ASTRO-GEODÄTISCHE GEOIDBESTIMMUNG

Für regionale und detaillierte Untersuchungen des Geoids sind die astro-geodätischen Verfahren am besten geeignet. Man sucht dabei die Orthogonalfläche zu den astronomisch gemessenen Lotrichtungen, wobei nur relativ wenig Punkte benötigt werden - vor allem keine außerhalb des Projektgebietes. Der Meßaufwand ist zwar höher als bei der gravimetrischen Geoidbestimmung, die Verwertung aber wesentlich einfacher.

Das resultierende Geoid bezieht sich zunächst auf das "Datum" der Landesvermessung, also auf das Referenzellipsoid und seine Lagerung im Fundamentalpunkt. Zur Reduktion einer Triangulierung muß man genau dieses Geoid und seine relativen Lotabweichungen verwenden. Für wissenschaftliche Zwecke oder Netzzusammenschlüsse kann es jedoch transformiert, also auf ein anderes Datum bezogen werden.

Die Grundlage der astro-geodätischen Geoidbestimmung bildet das "astronomische Nivellement", bei dem differentielle Höhenunterschiede zwischen Geoid und Referenzellipsoid entlang eines Profils integriert werden (Abb. 6). Aus den astronomischen und geodätischen Koordinaten der Stationen resultieren die Lotabweichungskomponenten ξ , η , und aus ihnen die Lotabweichungen ε in Profilrichtung α . Die Lotlinien sind an sich gekrümmt, doch dürfte der Winkel $\varepsilon - \varepsilon'$ zwischen Niveaufläche und Geoid erst im Hochgebirge 1" übersteigen. Die Lotkrümmungsreduktion, welche genähert mit der orthometrischen Korrektur des Präzisionsnivellements

identisch ist, läßt sich aus topographischen Massen oder lokalen gravimetrischen Aufnahmen abschätzen. Meist liegt sie im cm-Bereich und wird deshalb vernachlässigt. Man bestimmt dann statt des Geoids sozusagen eine Niveaulfläche in mittlerer Geländehöhe; Helmert nennt diesen Vorgang "Sphäroidbestimmung".

Bei den meisten Projekten sind die Distanzen zwischen den Meßpunkten für eine numerische Integration der Geoidhöhenunterschiede zu groß. Mangels exakter Kenntnisse nimmt man daher kugelförmig gekrümmte Niveaulflächen an und mittelt die Lotabweichungen je zweier benachbarter Punkte, $\Delta N \approx \frac{s}{2} (\varepsilon'_1 + \varepsilon'_2)$. Hieraus resultiert natürlich ein Fehler, weil sich die Lotabweichungen - speziell im Gebirge - nicht linear ändern.

Durch Bildung von Punktmaschen bzw. Aufbau eines Rasters entsteht aus dem bisher beschriebenen Sonderfall ein "astronomisches Flächennivellement". Zwar werden die Geoidhöhenunterschiede je zweier Punkte nach denselben Formeln gerechnet, insgesamt aber wie in einem Höhennetz als fiktive Beobachtungen ausgeglichen. Beim Aufsummieren der ΔN in jeder Dreiecks- oder Vierecksmasche ergeben sich Widersprüche, welche ebenso wie die mittleren Fehler der Geoidbestimmung stark von Punktentfernung und Gelände abhängen.

Häufig ist es zweckmäßig, die mittlere Lotabweichung jeder Verbindungslinie nicht nur aus den 2 Endwerten, sondern aus einer Karte der Isolinien von ξ, η zu bestimmen. Dafür genügt ein grafisches Verfahren, die "mechanische Quadratur". Hayford schlägt vor, die ΔN in einem nach Norden orientierten Hilfsraster mit 20.6 km Seitenlänge zu ermitteln ($1'' \hat{=} 10 \text{ cm}$), was sich gut zum Ausfüllen von

$$\begin{aligned}\xi &= \varphi^* - \varphi \\ \eta &= (\lambda^* - \lambda) \cos \varphi + \\ &\quad + (\alpha^* - \alpha) \operatorname{ctg} \varphi \\ \varepsilon &= \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha \\ dN &= -\varepsilon' ds = \\ &= -\varepsilon ds + \underbrace{(\varepsilon - \varepsilon')}_{\text{Lotkrümmung}} ds \\ \Delta H_{\text{ell}} &= \underbrace{\int dH}_{\text{geom. Nivellement}} + \underbrace{\int dN}_{\text{astr. Nivellement}}\end{aligned}$$

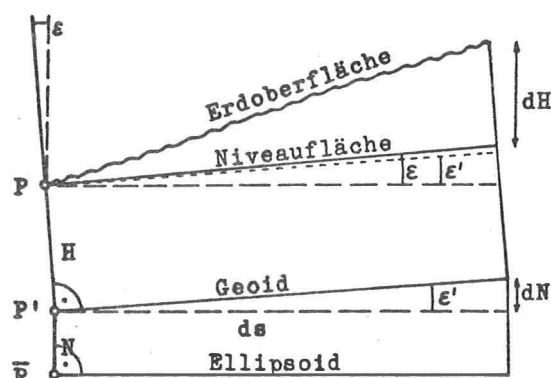


Abb. 6: Astronomisches Nivellement

Rahmennetzen eignet. Bei der Konstruktion von Isolinien sollte man freilich die Integrabilitätsbedingung

$$d\xi / d\lambda \cos \varphi = d\eta / d\varphi$$

beachten, weil die Geoidhöhe im kleinen Bereich als analytische Ortsfunktion von φ , λ gelten kann. Die Gleichung läßt sich an einem zweidimensionalen Polynom leicht verifizieren und bedeutet, daß der ost-westliche Schichtabstand in ξ ungefähr dem nord-südlichen Schichtabstand in η entsprechen muß. Wenn man die Linien gleicher Lotabweichungskomponenten dahingehend prüft, sind Inhomogenitäten und eventuelle Fehler erkennbar. Die Vernachlässigung der Integrabilitätsbedingung wirkt sich in mehreren Geoidprojekten der Literatur nachteilig auf Maschenwidersprüche und Genauigkeiten aus.

2. ABSCHNITT

Nun sollen anhand konkreter Beispiele die Methoden der astro-geodätischen Geoidbestimmung und die dabei auftretenden Probleme behandelt werden. Dabei ergeben sich auch manche Ansatzpunkte zur Kritik. Da die zitierten Projekte sehr verschiedene Ausdehnung besitzen, sei eine Bemerkung zur Fehlerfortpflanzung vorangestellt.

Fehlertheoretisch entspricht ein flächenhaftes Geoidprojekt in guter Näherung einem regelmäßigen Flächennivellement, für welches P. Meißl (1970) das asymptotische Gesetz $\sigma \approx \sqrt{(\ln n)/2\pi} \sigma_0$ angibt. Der mittlere Höhenfehler σ wächst also mit zunehmender Netzgröße (n . n Punkte) bzw. mit der Distanz nur sehr langsam und liegt etwas unter der Standardabweichung σ_0 einer gemessenen Höhendifferenz. Im speziellen Fall bedeutet dies auch, daß der mittlere Fehler einer ausgeglichenen Geoidhöhe - abgesehen von Korrelationen und stark verzerrten Netzen - ungefähr einem Drittel des mittleren Maschenwiderspruchs gleichkommt.

2.1. GROSSRÄUMIGE GEOIDE

Ein globales Astro - Geoid zu erstellen, ist wegen der Weltmeere mit

Schwierigkeiten verbunden. Einerseits sind astronomische Beobachtungen der erforderlichen Genauigkeit zur Zeit nur auf festem Grund möglich, andererseits wäre ein Zusammenschluß der geodätischen Systeme notwendig. Abbildung 7 zeigt den nördlichen Teil eines solchen Geoids (Stand 1967), bezogen auf das Mercury-Ellipsoid der US-Raumfahrtbehörde. Der geodätische Anschluß Grönlands an Amerika bzw. Europa erfolgte mit Hilfe von Satellittriangulationen.

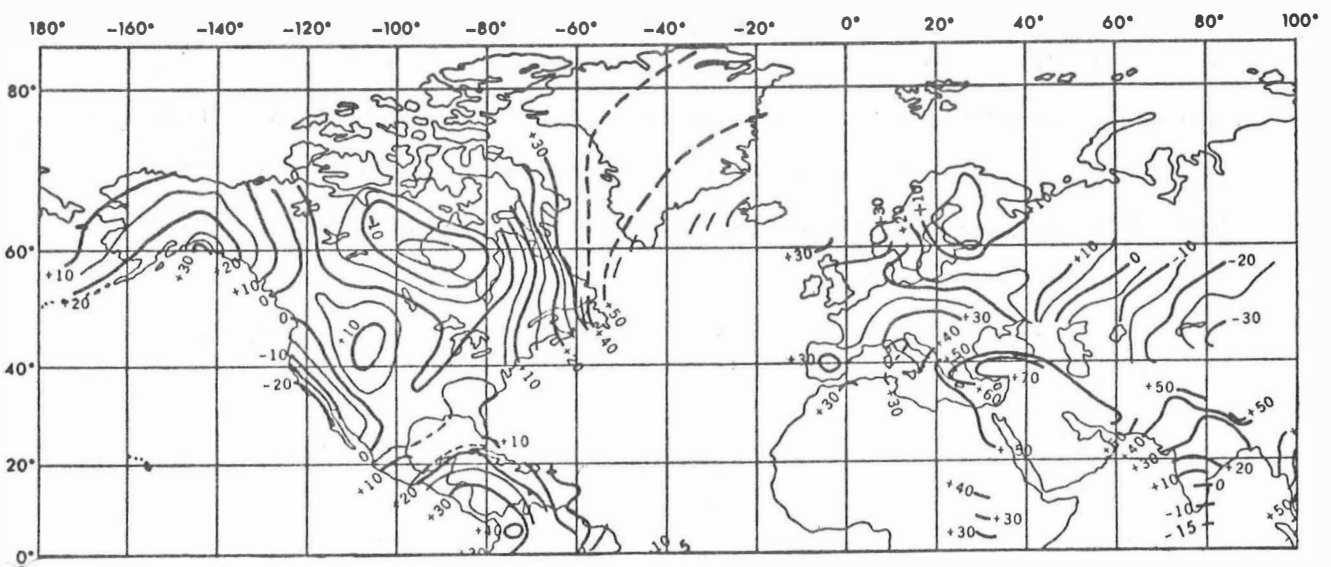


Abb. 7: Astro-geodätisches Geoid im Mercury-Datum, Schichtenlinien 5 m bzw. 10 m (aus J. Fischer, 1967)

Das mitteleuropäische Geoid wurde erstmals 1956 von H. Wolf aus den in den Netzen 1. Ordnung vorliegenden Lotabweichungen berechnet. Obwohl dieses Material noch lückenhaft war und die durchschnittliche Punktdistanz über 70 km betrug, weicht die Lösung gegen das gravimetrische Tanni-Geoid im Mittel nur um ± 1.4 m ab. Aus Isolinien von ξ, η wurden in $1 \times 2^\circ$ -Vierecken repräsentative Lotabweichungen gebildet und die daraus berechneten Geoidhöhenunterschiede rasterförmig ausgeglichen. Der mittlere Maschenwiderspruch beträgt ± 2.5 m, ist aber im Südtteil ($\varphi < 48^\circ$) mit ± 4 m wesentlich größer als im Norden ± 1.3 m. Dies ist eine Folge der im Alpengebiet stärker wechselnden Krümmungsverhältnisse. Für Österreich, CSSR, Norditalien und den Ostseebereich wurden der Gesamtlösung noch Detailgeoider aufgefördert und solcherart zueinander in Beziehung gebracht.

Auch bei der Meridiankette Großenhain - Kremsmünster - Pola, deren Nordteil K. Ledersteger 1951 untersucht hat, wachsen die Fehler mit Annäherung ans Gebirge.

Bei einem durchschnittlichen Punktabstand von 37 km sind in Böhmen ± 14 cm festzustellen, in den oberösterreichischen Kalkalpen ± 20 cm. Wenn eine Geoidbestimmung gleichmäßiger Genauigkeit angestrebt wird, muß sich also die Punktdichte nach dem Gelände richten.

2.2. ASTRONOMISCHES NIVELLEMENT MIT LOTABWEICHUNGSREDUKTION

Ein klassisches Meridianprofil ist das 187 km lange astronomische Nivellement im Meridian des St. Gotthard (Abb. 8, Th. Niethammer 1939). Durch den engen Punktabstand von 3-4 km und zusätzliche Interpolation der Lotabweichungen hat der Geoidschnitt trotz Überquerung des Alpenhauptkamms eine hohe Genauigkeit. Vom Alpenvorland bis zum Zentralmassiv wölbt sich das Geoid um 2.71 m auf, bei Berücksichtigung der Lotkrümmung um 2.34 m. Der systematische Anteil der Lotkrümmungsreduktionen liegt also unter 1".

Da die Lotabweichungen im Gebirge stark variieren, muß man vor einer rechnerischen Punktverdichtung die topografischen und eventuell die isostatischen Massen berücksichtigen. Erst in der reduzierten, ruhig verlaufenden Kurve (Abb. 8 Mitte) werden die Zwischenpunkte interpoliert und anschließend die Reduktionsmassen wieder "aufgesetzt". Die topografische Reduktion der gemessenen Lotabweichungen ξ, η setzt sich aus der Wirkung einzelner Kreisringsektoren (r, α) zusammen,

$$d\xi \doteq 0''00375 \bar{H}_{[m]} \ln \frac{r_2}{r_1} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$$

$$d\eta \doteq 0''00375 \bar{H}_{[m]} \ln \frac{r_2}{r_1} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

deren mittlere Geländehöhen \bar{H} aus Karten zu entnehmen sind. Im allgemeinen verwendet man Achtelsektoren und runde Werte ($r_2/r_1 \approx 1.4$) bis etwa 100 km. Die Konstante der Formel gilt für eine Gesteinsdichte von 2.67 g/cm^2 .

Auf einem Hang können die inneren Zonen um den Meßpunkt durch eine schiefe Ebene dargestellt werden, wodurch viel Rechenarbeit entfällt. Zweifache Integration zeigt, daß die topografische Wirkung dieses Bereichs nur von seinem gesamten Höhenunterschied abhängt; als Koeffizient ergibt sich $0''0059/\text{m}$.

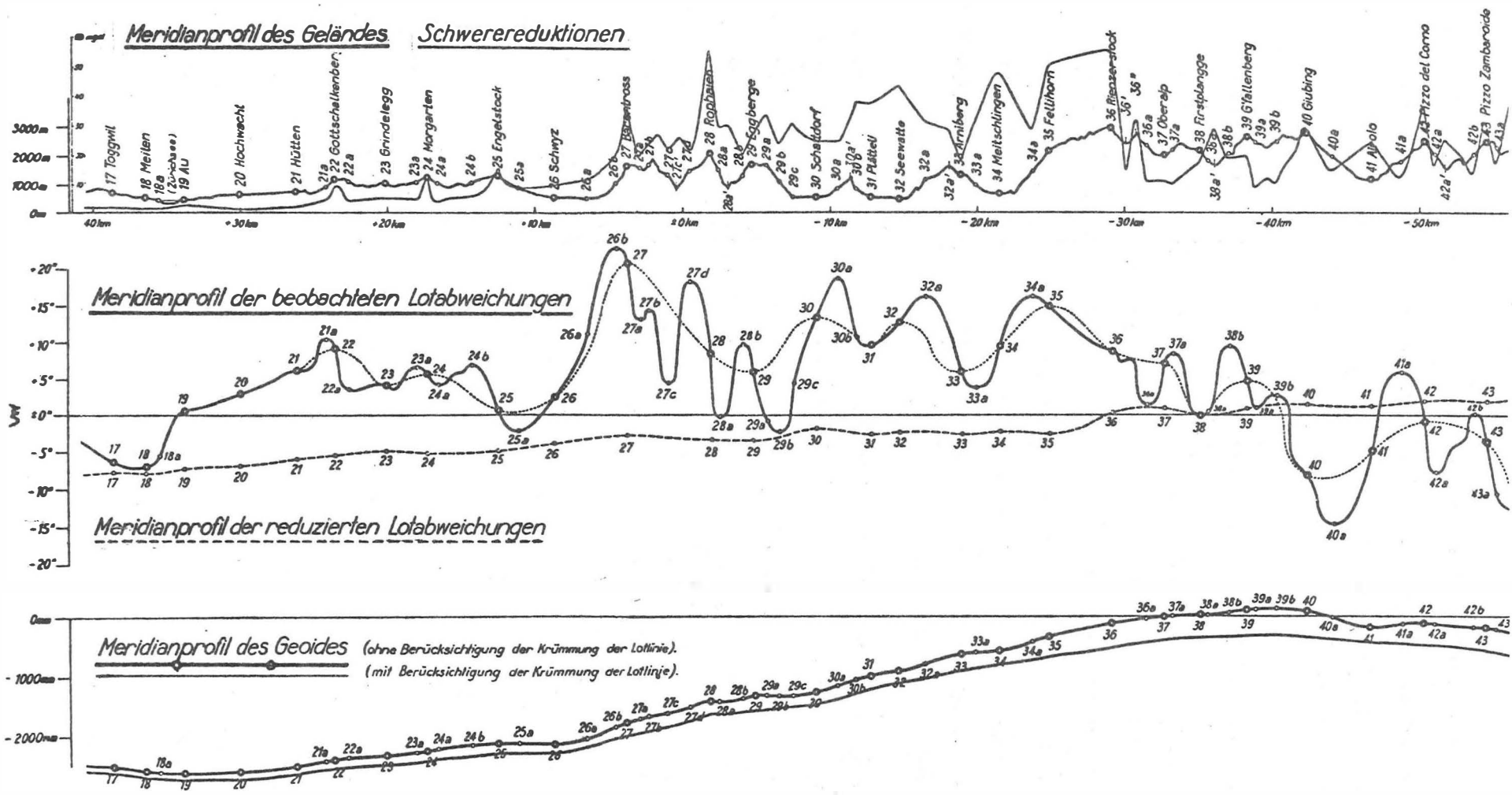


Abb. 8: Astronomisches Nivellement im Meridian des St. Gotthard, Mittelstück (Zürichsee - Schwyz - Alpenhauptkamm - Tessin).
Aus Th. Niethammer, Astron.-geod. Arb. in der Schweiz, Band 20, Bern 1939.

Häufig wird auch der Einfluß der isostatischen Kompensation berücksichtigt. Je höher nämlich ein Gebirge aufragt, desto tiefer taucht die Erdkruste mit ihrer "Wurzel" in das schwerere, plastische Material des Erdmantels ein (Abb. 9), sodaß ein Dichtedefizit im Untergrund der topografischen Lotabweichungsreduktion entgegenwirkt. Der mathematischen Berechnung liegt jedoch meist nicht das Isostasie-Modell von Airy, sondern Pratts "Aufblähungstheorie" zugrunde. Die obigen Formeln müssen mit einem Faktor ≤ 1

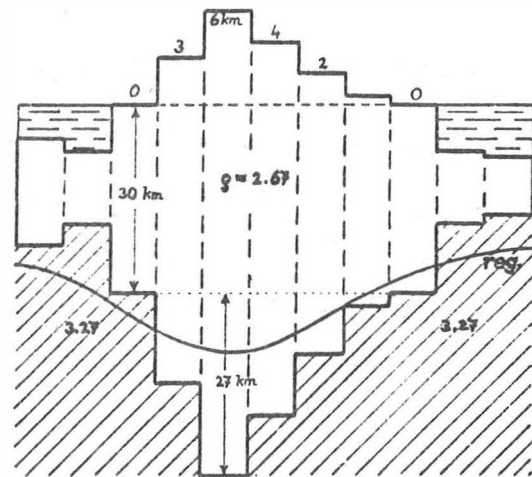


Abb. 9: Isostasie (nach Airy), lokal bzw. regional

$$F = 1 - \ln \frac{r_2 + \sqrt{D^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{D^2 + r_1^2}} / \ln \frac{r_2}{r_1}$$

(Ausgleichstiefe $D \approx 100$ km)

multipliziert werden, der monoton von 1.0 (Stationsumgebung) über 0.5 ($r \approx 60$ km) auf Null (ab etwa 500 km) abnimmt. Zur näheren Information sei auf Prof. Lederstegers Handbuch (1969) und seine einschlägigen Arbeiten verwiesen.

Das isostatische Gleichgewicht ist regional zu etwa 90 % erfüllt, sollte aber meines Erachtens nicht lokal angesetzt werden, weil die von der Krustenelastizität herrührenden Kraftwirkungen nicht vernachlässigbar sind. Die Mängel des lokalen Modells äußern sich z.B. in streifigen Strukturen der solcherart reduzierten Schwereanomalien im Zuge von Kettengebirgen (siehe Egyed 1969). Tatsächlich hat Putnam schon 1928 für Schwerereduktionen ein regionales Isostasie-Modell mit einem Wirkungsbereich von 160 km vorgeschlagen. Vening-Meinesz hat diesen Gedanken in Hinblick auf die Elastizitätstheorie weiterentwickelt, aber ebenfalls wenig Echo gefunden. Der Unterschied zwischen lokaler und regionaler Kompensation (Abb. 9) macht sich jedoch in den Lotabweichungen stärker bemerkbar als bei Schwerewerten. Ich möchte mich daher in Zukunft mit diesem reizvollen Problem noch näher beschäftigen.

2.3 NATIONALE GEOIDE, INTERPOLATIONSVERFAHREN

Umfangreiche Geoidstudien für den Bereich Westdeutschlands stammen von S. Heitz (1967-1970). Das damals noch lückenhafte Lotabweichungsmaterial des Hauptdreiecksnetzes wurde zunächst topografisch-isostatisch reduziert und durch "Interpolation nach kleinsten Quadraten" vervollständigt. Die mit dieser statistischen Methode interpolierten Lotabweichungen (20-30 %) sind etwa $\pm 2''$ genau, die astronomischen Originalbeobachtungen $\pm 0''5$.

Nach demselben Interpolationsverfahren erfolgte auch die eigentliche Geoidberechnung (Abb. 10), die bei durchschnittlich 49 km langen Netzseiten Genauigkeiten um ± 19 cm ergab. Zur Lösung der Lotabweichungsgleichungen wurde ein linearer Autokorrelationsansatz der Geoidhöhen mit einer empirischen, vom Quadrat der Punktdistanz abhängigen Kovarianzfunktion verwendet. Heitz schreibt allerdings, daß "diese analytische Vorgangsweise kaum besser, aber computergerechter" ist. Sie ist theoretisch und in ihrer praktischen Wirkung anfechtbar, da die Lotabweichungen gewis-

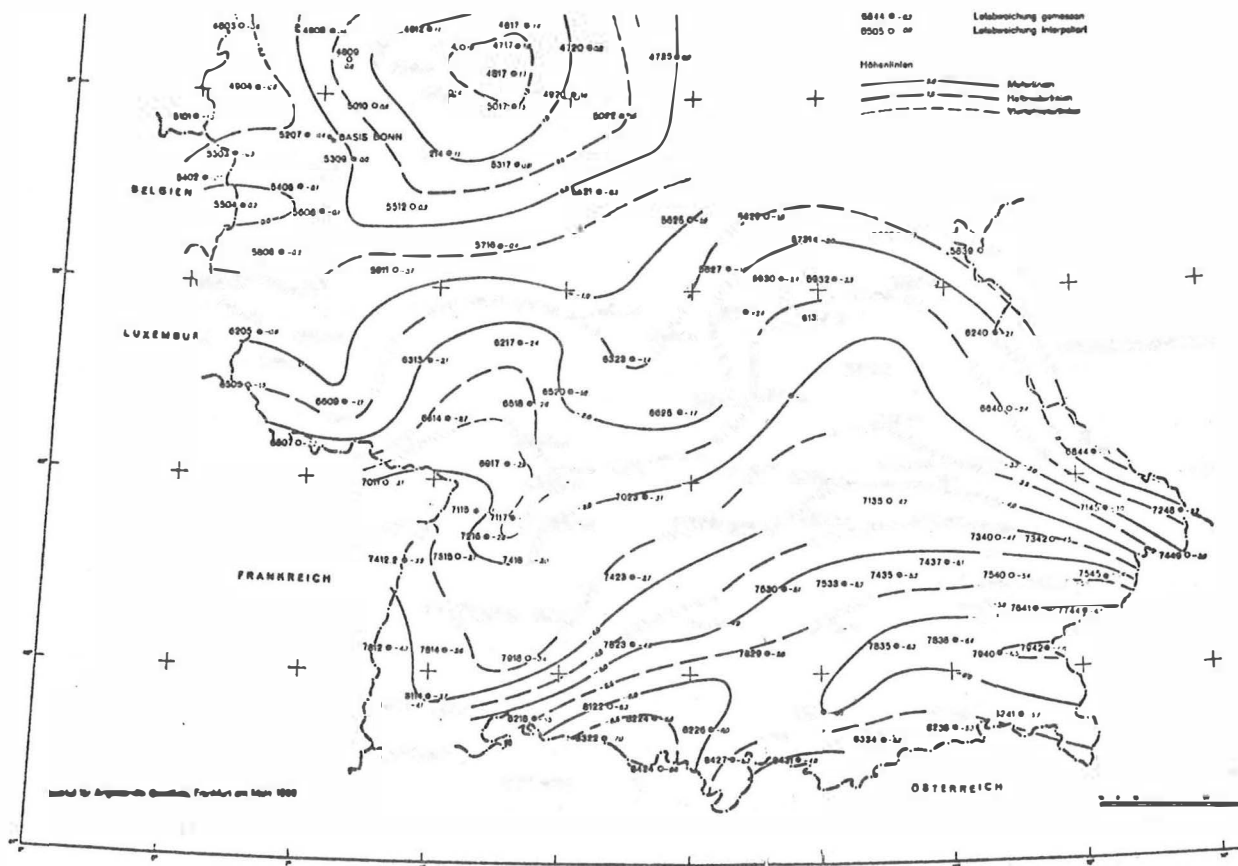


Abb. 10: Geoid in Süddeutschland, Datum des Reichsdreiecksnetzes (aus S. Heitz, Na Ka Verm I/48, 1970)

sermaßen ausgeglichen werden und oft massive Verbesserungen erhalten (häufig 3", Extremwert 6"). Meines Erachtens dürfen beobachtete, physikalisch verursachte Krümmungsänderungen der Niveaulächen nicht als statistische Größen behandelt und geglättet werden!

An dieser Stelle möchte ich die Meinung äußern, daß zur Geoidbestimmung ein Ausgleich berechneter Höhenunterschiede ΔN physikalisch sinnvoller ist als der manchmal benützte Ausgleich der tatsächlichen - gegebenenfalls reduzierten - Meßwerte ξ, η . Prinzipiell können im ersten Fall die Lotrichtungen unverändert bleiben und die Widersprüche nur den durch keine Messung erfaßten Zwischenräumen zugeteilt werden; ein möglicher Weg wäre, die ausgeglichenen Punkthöhen mit den lokalen Tangentialflächen des Geoids über elastizitätsmechanische Modelle zu kombinieren. Der zweite Weg geht jedoch von vornherein durch "Verbesserung" der Lotabweichungen an der Realität vorbei - vom Sonderfall interpolierter Punkt vielleicht abgesehen.

Beim Geoid von Heitz sind übrigens 61 % der Lotabweichungen nach dem Ausgleich kleiner als vorher, was auf eine Eigenart der Interpolation nach kleinsten Quadraten zurückzuführen ist: bei einer "Prädiktion mit Filterung" (Abb. 11) wird den Stützwerten, von einem eventuellen Trend und von zufälligen Fehlern abgesehen, der statistische Erwartungswert Null zugeteilt, sodaß die geglättete Funktion zur Abszisse bzw. Grundebene tendiert.

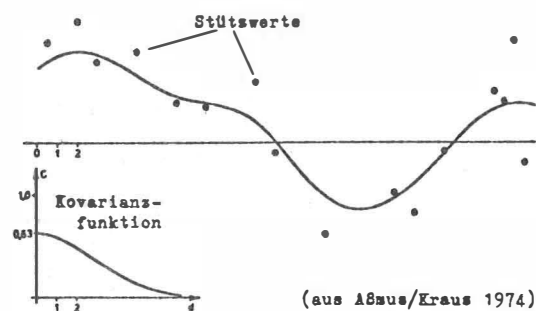


Abb. 11: eindimensionale Interpolation nach kleinsten Quadraten

Im schweizerischen Triangulationsnetz wurden besonders viele Lotabweichungen interpoliert, da von 65 Stationen 1. Ordnung nur 27 astronomisch beobachtet sind; allerdings kommen 60-70 Punkte aus anderen Projekten hinzu. Alle astronomischen Ortsbestimmungen wurden topografisch-isostatistisch reduziert und durch eine Niveaulächen-Funktion 7. Grades approximiert (A. Elmiger, 1972-75). Die daraus interpolierten 67 Lotabweichungen sind im Zentrum des Netzes etwa $\pm 1''$ genau, im Randgebiet $\pm 2''$ und in tektonischen Störzonen (Tessin, Wallis) $\pm 3''$.

Wegen mehrerer steiler Visuren haben die Lotabweichungsreduktionen auf das Netz 1. Ordnung großen Einfluß: die Richtungen werden bis $1''$ verändert, ihr mittlerer Fehler sinkt um 6 % auf $\pm 0''45$, und der maximale Dreieckswiderspruch von $3''$ auf $2''6$. Zu einer systematischen Netzdeformation von 10^{-6} kommen Punktverschiebungen bis 30 cm.

Abbildung 12 zeigt den Geoidverlauf in der Schweiz, bezogen auf das Landessystem am Bessel-Ellipsoid. Die markantesten Strukturen (Geoidhebung in den Walliser Alpen, starker Abfall in Richtung Poebene) treten auch bei Lagerung im Weltdatum deutlich zutage. Die Geoidbestimmung erfolgte durch herkömmliche Ausgleichung berechneter ΔN als Höhennetz, wobei 40 Festpunkte aus zwei Geoidprofilen und dem Projekt Oberland übernommen wurden. Weil aber die lokalen Tangentialflächen nicht beachtet wurden, widerspricht die Schichtenliniendarstellung den gemessenen Lotabweichungen oft erheblich (bis zu 45°). Bei 25 km durchschnittlicher Punktentfernung beträgt die innere Genauigkeit ohne Berücksichtigung der Korrelationen ± 10 - 15 cm.

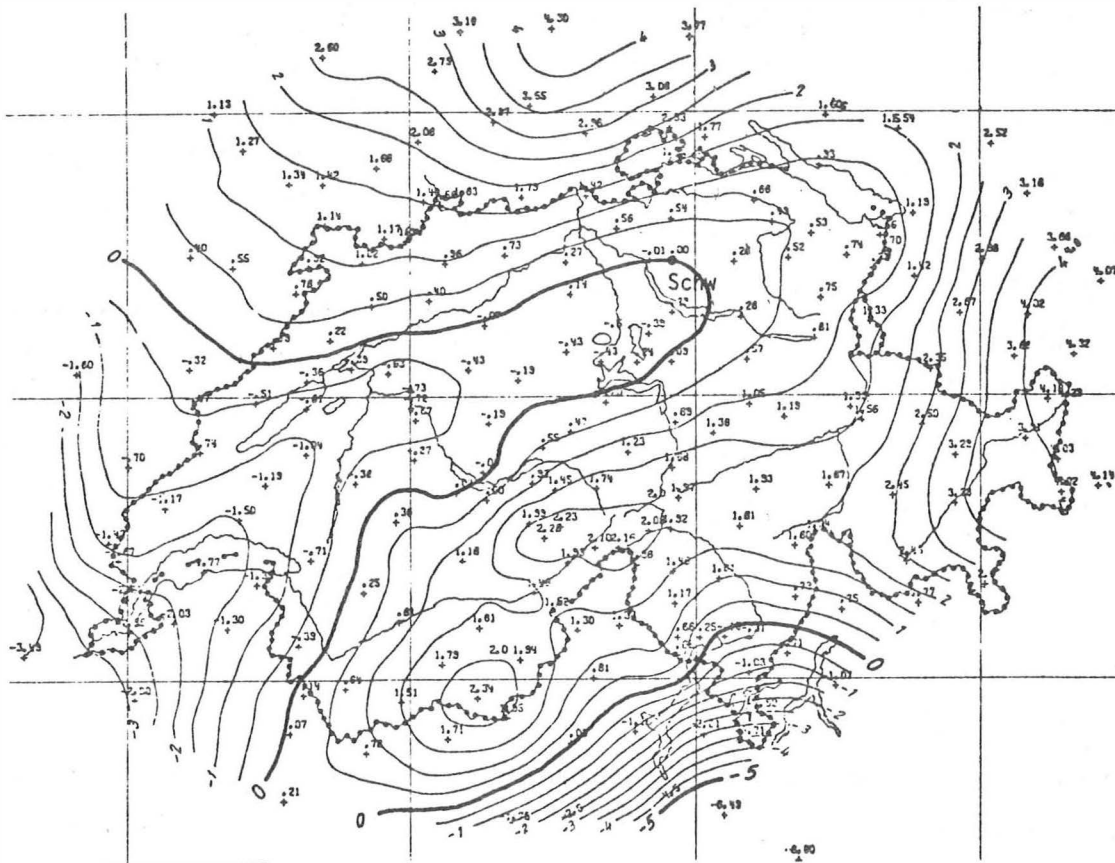


Abb. 12: Geoid in der Schweiz, schweiz. Datum (Bessel-Ellipsoid, Nullpunkt Bern, Schwerzenbach $N = 0$ m. Aus Elminger 1975)

Vom selben Material ausgehend, wurde das Geoid auch durch ein zweidimensionales Polynom

$$N = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n c_{ik} x^i y^k \quad (i+k \leq n), \quad \xi_r = - \frac{\partial N}{\partial x} \quad \eta_r = - \frac{\partial N}{\partial y}$$

approximiert, wobei ξ_r, η_r rechnerische Lotabweichungen bedeuten und mit den Komponenten der Flächennormalen identisch sind. Wenn die Differenzen zwischen diesen und den beobachteten Lotabweichungen ξ, η minimiert werden, ergeben sich im Ausgleichswege die Koeffizienten c_{ik} . Das Resultat stimmt mit dem ersten weitgehend überein.

Das von J. Litschauer 1953 berechnete österreichische Geoid (Abb. 13) stellt das erste regionale Projekt in Mitteleuropa dar. Wegen der damals noch zahlreichen Lücken (40%) im Lotabweichungsmaterial des Netzes 1. Ordnung ist es allerdings relativ unsicher. Zur Berechnung der ΔN wurden Dreiecksmaschen von 10 - 112 km Seitenlänge gebildet. Für die Durchschnittsentfernung $\bar{s} = 46$ km ergab der Ausgleich einen mittleren Fehler ± 90 cm (im Netzverband nach Meißl)

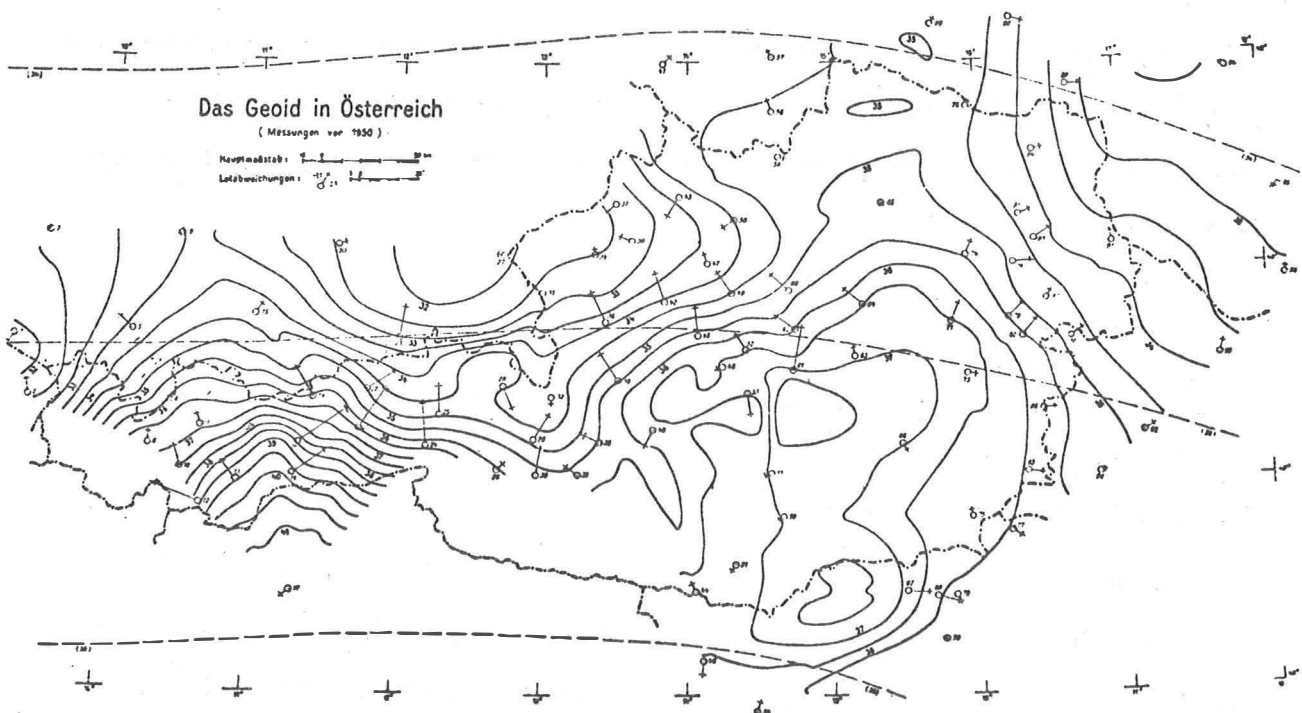


Abb. 13: Geoid in Österreich, absolute Lage am Hayford-Ell. (Litschauer 1953)

ca. ± 60 cm), zu dem mehrere Hochgebirgspunkte erheblich beitragen. Die Schichtenlinien des Geoids wurden teils rechnerisch durch kubische Parabeln, teils grafisch durch Konstruktion der Falllinien ermittelt. Das System befindet sich in genähert absoluter Lage, welche K. Ledersteger auf Grundlage des Tanni-Geoids errechnet hatte.

Litschauer stellte ferner wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen zur Wahl der Gewichtsfunktion an und kam zur Erkenntnis, daß der Ansatz $1/s^3$ am plausibelsten ist. Bei völlig unregelmäßigem Krümmungsverlauf eines Geoidprofils trifft nämlich $1/s^2$ zu, und bei linearen Krümmungsänderungen zwischen den von der unterirdischen Massenverteilung abhängigen Krümmungsmaxima $1/s^4$. Die Wirklichkeit liegt irgendwo zwischen diesen Grenzfällen.

In der Fachliteratur finden sich die Ansätze 1 , $1/s$, $1/s^2$ und $1/s^3$. Angeregt durch diese Unterschiede und die Willkür bei der Auswahl von Verbindungslinien, nahm M. Fried (1972) vergleichende Untersuchungen vor. Er prüfte verschiedene Gewichte und Netzaufbauten anhand von 41 Punkten 1. Ordnung in Württemberg und Bayern und stellte fest, daß lange Netzdiagonalen für die Geoidbestimmung sinnlos, wenn nicht schädlich sind. Als empirisch beste Gewichtsfunktion ergab sich $1/s^3$, die man schon in Österreich und der Schweiz verwendet hatte. Bei 40 - 50 km langen Seiten waren die inneren Genauigkeiten $\pm 20 - 30$ cm.

Teilweise unterwirft Fried die beobachteten Lotabweichungen einer Dreiecksbedingung $[\Delta N] = 0$, die Verbesserungen über 3" hervorruft und das Geoid stark verflacht. Sie scheint aus schon erwähnten physikalischen Gründen unberechtigt zu sein, außer vielleicht bei interpolierten Punkten.

2.4 KLEINRÄUMIGE GEOIDPROJEKTE

Zuletzt möchte ich zwei eher lokale Geoidprojekte besprechen, die eine hohe Punktdichte aufweisen und vornehmlich Forschungszwecken dienen: das Testnetz im Harz und die Geoidstudie Wien.

Die Technische Universität Hannover hat 1969 im westlichen Teil des Harz und seinem Vorland ein Testnetz eingerichtet, in dem unter Leitung von Prof. W. Torge gravimetrische, astro-geodätische und trigonometrische Geoidstudien betrieben werden. Die Umgebung dieses Mittelgebirges ist bereits seit den von Helmert angeregten Arbei-

ten (A. Galle 1914) ein Testgebiet der Höheren Geodäsie. Das neue Projekt umfaßt 49 astronomische Stationen mit einer durchschnittlichen Entfernung von 10 km, die im Harz selbst auf rund 5 km sinkt (Torge et al. 1975). Im Wege eines astronomischen Flächennivellements ergab der Netzausgleich Geoidhöhen auf $\pm 2 - 3$ cm.

Für eine zweite Geoidberechnung wurden nur die 17 Triangulierungspunkte 2. Ordnung herangezogen (Abb. 14a). Bei 18 km mittlerer Seitenlänge ergaben sich mittlere Fehler um ± 4 cm, während die Geoidhöhen zur ersten Lösung um ± 7 cm variierten. Die Genauigkeitsangaben sind also etwas zu optimistisch, was eine Folge von Korrelationen ist. Die mittleren Differenzen von ± 13 cm zum gravimetrischen Geoid von Drewes (Abb. 14b) sind durch dessen größere Unsicherheit bedingt. Auffällig sind aber die abweichenden Neigungen der zwei Flächen, die auf unterschiedliche systematische Einflüsse der beiden Methoden zurückgehen dürften.

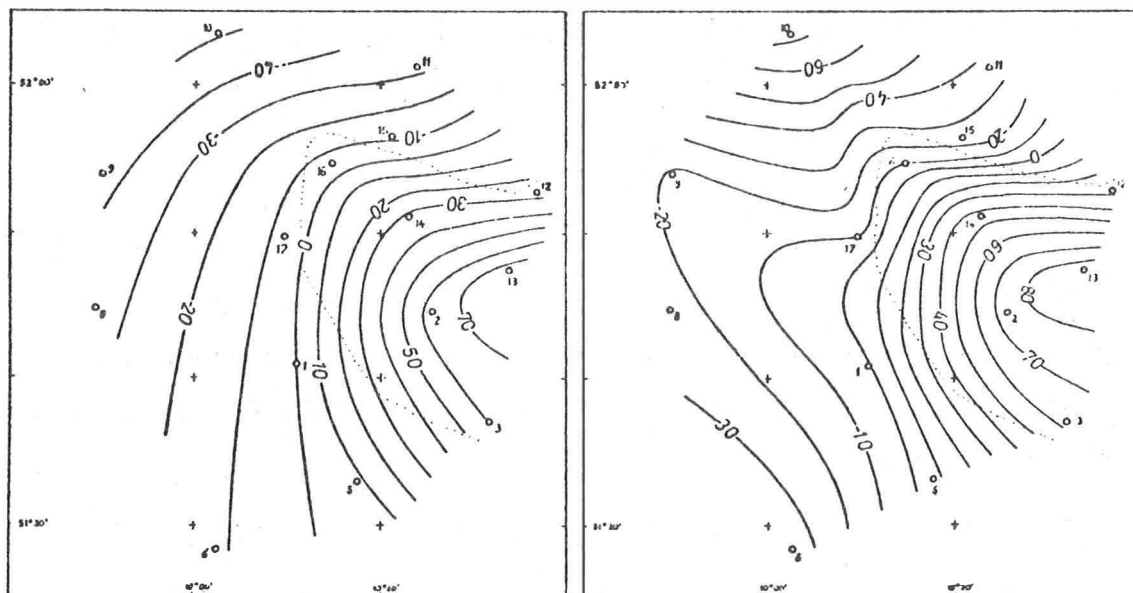


Abb. 14: Astro-geodätisches und gravimetrisches Geoid im Testnetz Westharz, aus jeweils 17 Punkten (H. Drewes, 1976)

Es wurde auch der Einfluß von Korrelationen auf die Geoidbestimmung untersucht, da die Maschen oft schmale schiefwinkelige Dreiecke bilden und außerdem die Lotabweichungen mancher Punkte in bis zu 9 Seiten verwendet werden. Berücksichtigt man beim Δ N-Ausgleich diese Korrelationen, wachsen die mittleren Fehler um et-

wa die Hälfte, womit sie sich mit den oben genannten Vergleichswerten in Einklang befinden.

Fast gleichgroß wie im Harz ist das Flächenausmaß der Geoidstudie Wien, die im Rahmen eines Forschungsprojektes von Prof. K. Bretterbauer an unserem Institut bearbeitet wird. Ihr Ziel ist zunächst ein detailliertes astro-geodätisches Geoid in einem Bereich von etwa 60 x 60 km um Wien (Abb. 15 und 16). Bei der Anlage des Netzes konnten alle wesentlichen Erfahrungen aus anderen Geoidprojekten berücksichtigt werden:

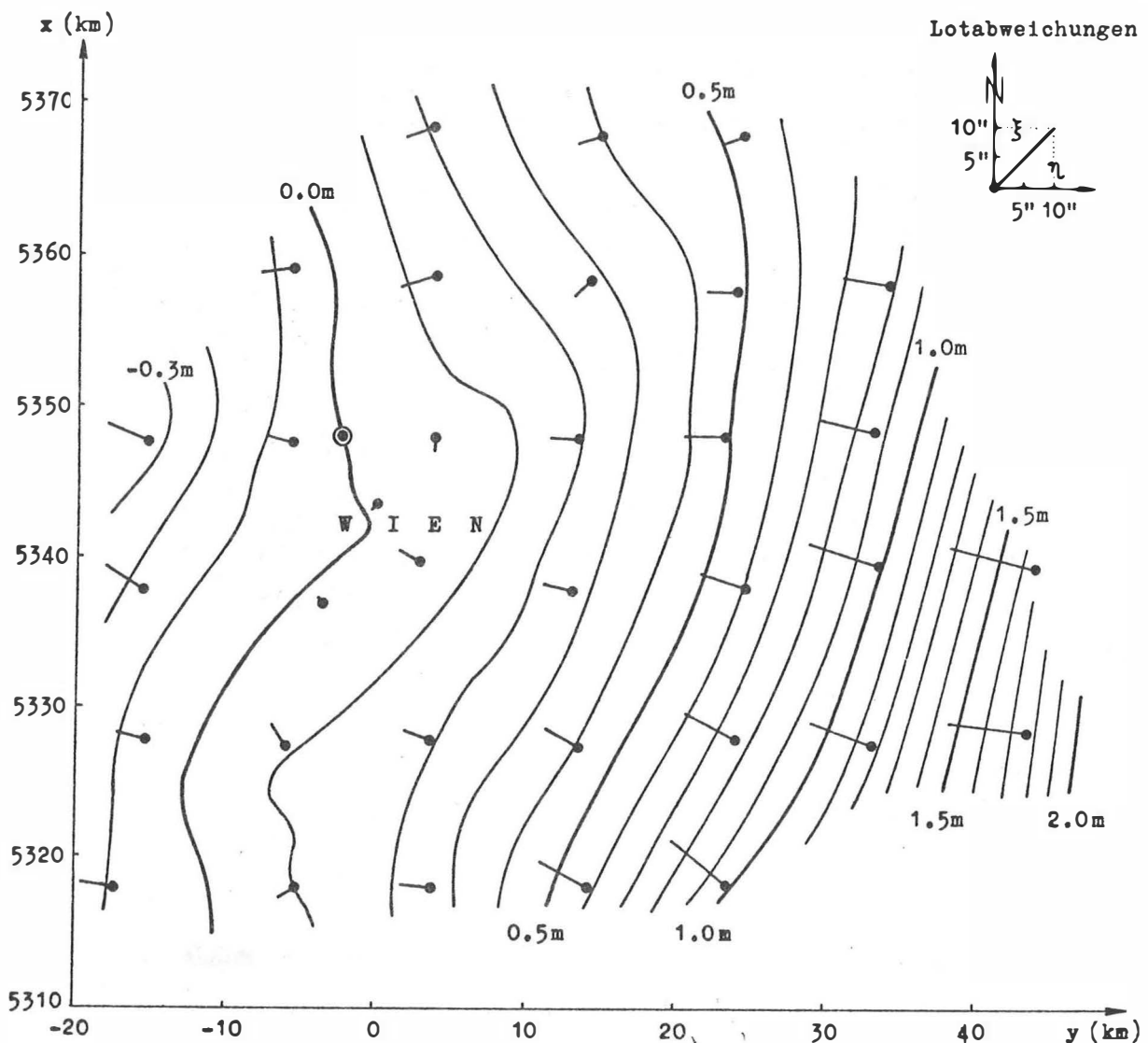


Abb. 15: Geoidstudie Wien, Lotabweichungen und vorläufiges Geoid (Stand Jan. 1977) im österr. Datum (Bessel-Ellipsoid, Fundamentalpunkt Hermannskugel bei Wien)

- a) kleine Punktentfernungen von durchschnittlich 10 km, damit die Modellfehler (Reduktion und Integration von Lotabweichungen) die Fehler der Messung ($\pm 0.2 - 0.5''$) nicht wesentlich übersteigen.
- b) geringe Schwankung der Punktentfernungen (9 - 11 km), sodaß der Gewichtsansatz beim Ausgleich der Geoidhöhen keine Rolle spielt; durch Punktauswahl kann dieser Problembereich dennoch untersucht werden
- c) möglichst rechte Winkel, da bei quadratischen Maschen keine Korrelationen der ΔN auftreten und jede Lotabweichungskomponente im Prinzip nur einmal verwendet wird.

Daher wurde ein quadratischer, nach Norden orientierter Punktraster gewählt. Er konnte freilich nicht immer genau eingehalten werden, da die Stationen mit staatlichen Festpunkten 4.- 5. Ordnung zusammenfallen sollten. Einschaltpunkte wurden nur vereinzelt herangezogen.

Im ersten Ausbaustadium umfaßt das Projekt 35 Punkte, doch soll es später am Rand und auf den Stationen eines Tellurometer-Testnetzes ergänzt werden. Die astronomischen Messungen wurden nach der "Methode gleicher Höhen" mit einem Ni 2 - Astrolab durchgeführt, das ein genaues und rationelles Arbeiten auf bis zu 4 Stationen pro Nacht erlaubt. Zwischen Mai und Oktober 1976 habe ich die Lotabweichungen von 33 Punkten mit äußeren Genauigkeiten um $\pm 0''3$ bestimmt. Da die topografischen Reduktionen gering sind, dürften gewisse Unregelmäßigkeiten im Bereich Wien-Thermenlinie ($y \approx 0$ km) auf unterirdische Massenstörungen zurückgehen. Sie sollen Gegenstand späterer Untersuchungen sein. In der nächsten Zeit sind ferner Wiederholungs- und Ergänzungsmessungen vorgesehen.

Abbildung 15 zeigt ein vorläufiges Geoid, das sich auf das im Fundamentalpunkt Hermannskogel gelagerte Bessel-Ellipsoid bezieht. Seine Punkthöhen wurden durch einen "militärischen Höhenausgleich" der ΔN berechnet; ihr mittlerer Fehler läßt sich aus den Maschenwidersprüchen (± 5 cm) zu $\pm 2 - 3$ cm abschätzen. Nach Osten steigt das Geoid um fast 2 m pro 50 km an, was auf die Massenanziehung der Alpen und die Lage des Fundamentalpunktes am Rand des Gebirges zurückzuführen ist.

In Abbildung 16 ist dieses Geoid auch in genähert absoluter Lage dargestellt. Hierin besitzt der Hermannskogel eine absolute Lotabweichung $\xi_0 = + 0''5$, $\eta_0 = + 7''6$,

die ich 1974 aus einer Ortsbestimmung mit Satelliten-Standlinien in Wien-Hietzing abgeleitet habe. In dieser Lagerung ist die Neigung geringer und außerdem nach Nord-Osten gerichtet, was mit dem großräumigen Verlauf beim Geoid von Litschauer (Abb. 13), aber auch mit den Bouguer-Schwereanomalien in Einklang steht. Ein bestanschließendes Ellipsoid dieses (kleinen!) Bereiches müßte eine um rund 30 km verlängerte Achse haben.

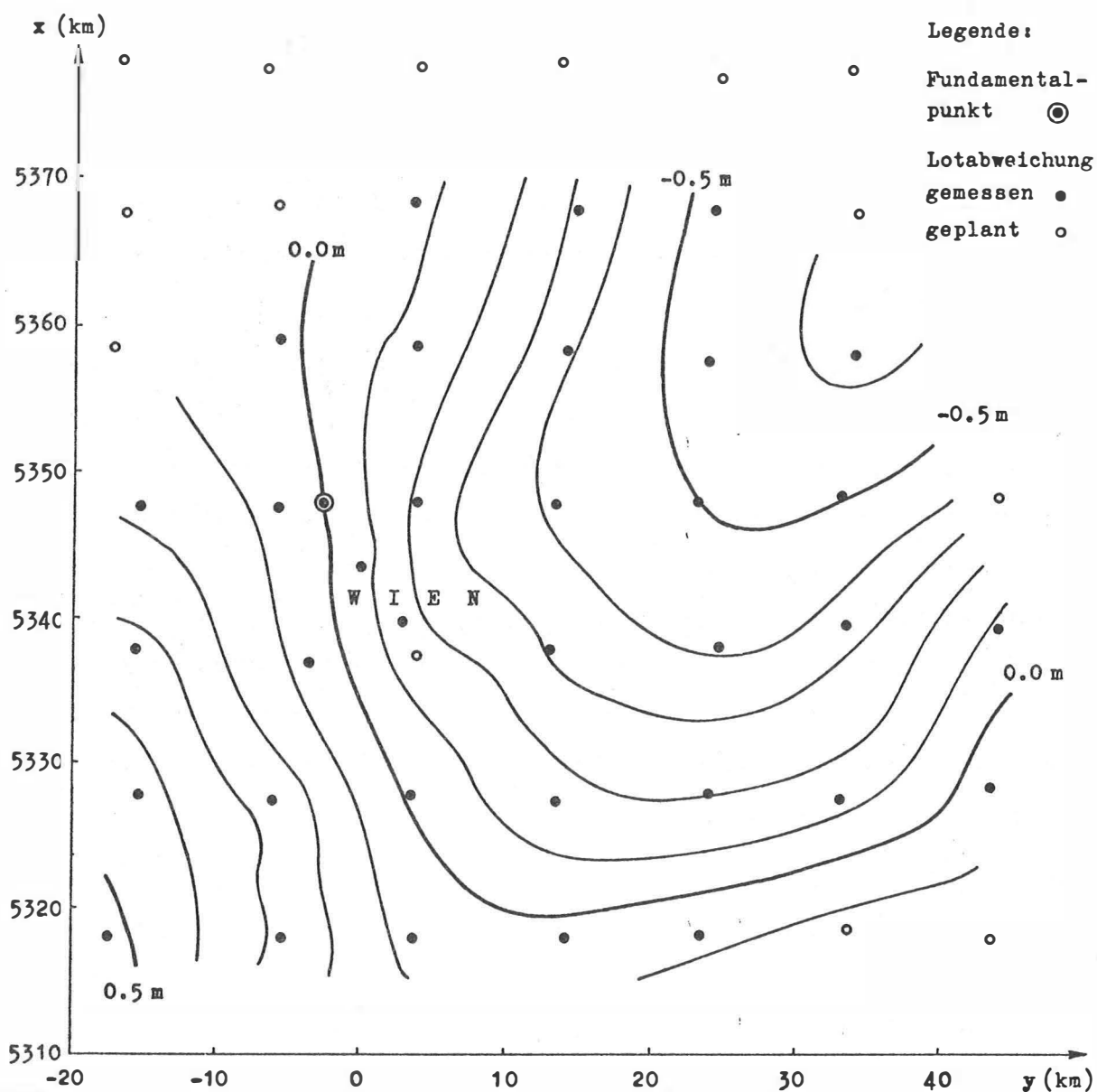


Abb. 16: Geoidstudie Wien, vorläufiges Geoid (Stand Jän. 1977) in absoluter Lage am Bessel-Ellipsoid. Absolute Lotabweichung im Fundamentalpunkt Hermannskogel nach Gerstbach 1974

3. ABSCHNITT

Abschließend sei noch zusammengestellt, wie die erreichbare Genauigkeit einer flächenhaften astro-geodätischen Geoidbestimmung von der durchschnittlichen Punktentfernung abhängt:

10 km	+ 2 - 5 cm	Hauptfehlerquelle ist die Unkenntnis des Lotabweichungsverlaufs zwischen den Meßpunkten. Die Fehler der Messungen selbst haben keine entscheidende Bedeutung, sofern sie unter $\pm 0''3$ bis $0''5$ liegen. Die
20 km	5 - 10 cm	
40 km	12 - 30 cm	
70 km	ca. 70 cm .	

Tabellenwerte beruhen auf 15 verschiedenartigen Projekten in Mitteleuropa, Nordeuropa und der Türkei und bestätigen den meistverwendeten Gewichtsansatz $1/s^2$ für Seiten unter 30 km. Für Netze 1. Ordnung trifft eher schon $1/s^3$ zu - hier können die Krümmungsänderungen des Geoids zwischen den Stationen offenbar nicht mehr als quasizufällig gelten.

Die Ausgleichung berechneter Höhendifferenzen ΔN ist jener von beobachteten Lotabweichungen vorzuziehen, besonders wenn die lokalen Falllinien bei der Schichtendarstellung des Geoids berücksichtigt werden. Die Fehlerfortpflanzung in solchen Flächennetzen ist - im Gegensatz zu Profilen oder Ketten - sehr günstig, sodaß die Genauigkeit der Geoidbestimmung kaum von der Ausdehnung des Projektgebietes abhängt und auch zum Rand fast nicht absinkt.

L I T E R A T U R

ASSMUS E., KRAUS K. (1974):

Die Interpolation nach kleinsten Quadraten - Prädiktionswerte simulierter Beispiele und ihre Genauigkeiten. DGK Reihe A, Heft 76.

BOZORGZADEH Gh., KUNTZ E. (1974):

Geodätische Messungen im Rheingraben. Approaches to Taphrogenesis, Int.Com.Geodyn., Scient.Report 8, S. 95 - 99.

- DREWES H. (1976):
Berechnung regionaler Geoidundulationen durch gravimetrisches Nivellement mit Prädiktion der Schwereanomalien. *Wiss.Arb.Geod.*, TU Hannover, Nr. 63.
- EGYED L. (1969):
Physik der festen Erde. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- ELMIGER A. (1972):
Lotabweichungen im Schweizerischen Triangulationsnetz 1.Ordnung. *Verm.-Phot.-Kult.* 72/3, S 3 - 20.
- ELMIGER A. (1975):
Das Geoid in der Schweiz. *Fachblatt Verm., Phot., Kult.* 75/3 - 4.
- FISCHER I. (1967):
Deviations of the Geoid from an Equilibrium Figure. *ÖZfV*, Sonderheft 25, S. 53 - 56.
- FRIED M. (1972):
Genauigkeitsuntersuchungen zur astro-geodätischen Geoidberechnung. *AVN* 79/10, S. 393 - 398.
- GERSTBACH G. (1974):
Ortsbestimmung mit künstlichen Erdsatelliten nach der Standlinienmethode. *Diss.* TH Wien.
- HEITZ S. (1969):
Eine astronomisch-geodätische Geoidbestimmung für Westdeutschland. *DGK Reihe B*, Heft 167.
- LEDERSTEGER K. (1969):
Astronomische und Physikalische Geodäsie. *Jordan-Eggert-Kneißl, Handbuch der Vermessungskunde*, Band V. Metzler-Verlag, Stuttgart.
- LITSCHAUER J. (1953):
Zur Frage der Geoidgestalt in Österreich. *ÖZfV* 41/6, S. 161 - 172.
- MEISSL P. (1970):
Über die Fehlerfortpflanzung in gewissen regelmäßigen flächig ausgebreiteten Nivellementnetzen. *ZfV* 95/3, S. 103 - 109.
- NIETHAMMER Th. (1939):
Das astronomische Nivellement im Meridian des St. Gotthard, II. Teil. *Astr.-geod. Arb. Schweiz*, Band 20, Schweiz.Geod.Komm.
- SMITHSONIAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY (1973):
Smithsonian Standard Earth III, *Spec. Report* 353.
- TORGE W. et al. (1975): *Astrogeodetic geoid determination in the western Harz*. Presented paper to XVI. Gen. Ass. IUGG/IAG, Grenoble.
- WOLF H. (1956):
Versuch einer Geoidbestimmung im mittleren Europa aus astronomisch-geodätischen Lotabweichungen. *DGK Reihe A*, Heft 18.

Geowiss. Mitt.

1979, 27

LASER IN DER VERMESSUNGSTECHNIK

von

G. Palfinger

(Vortrag gehalten am 16. März 1977
im Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen,
überarbeitete Fassung, Oktober 1979)

Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Palfinger, ehem. Oberassistent
am Institut für Allgemeine Geodäsie
Technische Universität in Wien 1040, Gußhausstraße 27 - 29

ZUSAMMENFASSUNG

Die Laserstrahlung findet in der Vermessungstechnik eine immer umfassendere Anwendung. Der ursprüngliche Vortrag versuchte eine Übersicht des aktuellen Standes der Einsatzmöglichkeiten des Lasers zu geben. Daran schloß eine Demonstration von Lasergeräten an.

Die vorliegende überarbeitete Fassung behandelt geodätische Anwendungen des für den Nahbereich geeigneten Impulsentfernungsmessers EUMIG-Laser-Radar LD 151. Daran schließt ein Bericht über die Herstellung von Referenzebenen mit Hilfe eines Richtlasers im Fassadennahen Bereich.

EINLEITUNG

Wie bei vielen technischen Errungenschaften unserer Zeit liegt die gedankliche Urhebererschaft bei Albert Einstein. Im Jahre 1917 erschien in Berlin seine Publikation "Über die Quantentheorie der Strahlung", die grundlegende Überlegungen zur Strahlenemission enthielt. Aber erst in den fünfziger Jahren war die Grundlagenforschung so weit fortgeschritten, daß die technische Realisierung der Einstein'schen Überlegungen möglich war. Entstand der erste funktionstüchtige Maser (erzwungene Strahlungsemission im Mikrowellenbereich) im Jahre 1953, so lief der erste Maser im optischen Spektralbereich - Laser - am 7. Juli 1960 in der Forschungsabteilung der Hughes-Flugzeugwerke. Daran schloß sich eine rasante Entwicklung verschiedenartigster Lasersysteme, wobei je nach Art des aktiven Mediums Gas-, Flüssigkeits-, Halbleiter- und Festkörperlaser unterschieden werden.

LASER IN DER VERMESSUNGSTECHNIK

Für die Meßtechnik und insbesondere für die Vermessungstechnik sind vorwiegend zwei Lasersysteme im Einsatz: Die weiteste Verbreitung besitzen die Gaslaser, dann folgen die Halbleiterlaser. Allgemein kann die Laser-Strahlung durch die Eigenschaften

hohe Intensität

hohe Einfarbigkeit (Kohärenz)

hohe Bündelung (Kollimation)

beschrieben werden. In der Meßtechnik werden diese drei Eigenschaften zur Bereichserweiterung und/oder Genauigkeitssteigerung bisheriger, aber auch zur Anwendung neuer Meßmethoden verwendet. Damit verbunden ist eine weitgehende Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Das ist ein entscheidender Grund für die weite Verbreitung der Laser-Technologie in der Vermessungstechnik. Es würde hier zu weit führen, auf alle vermessungstechnischen Anwendungsgebiete der Laserstrahlung einzugehen. Vielmehr wird auf die zahlreich vorhandene Literatur verwiesen (z.B. KAHMEN 1974 [3] und 1977 [4]).

Im folgenden wird über zwei Arbeiten berichtet, die am Institut für Allgemeine Geodäsie [5] und gemeinsam mit dem Institut für Photogrammetrie [6] in den Jahren 1976 - 1979 durchgeführt wurden.

EUMIG-LASER-RADAR LD 151

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochfrequenztechnik der TU Wien entwickelte EUMIG ein Laser-Impuls-Entfernungsmessgerät [2]. Das Prinzip der Impulsentfernungsmessung besteht bekanntlich darin, die Laufzeit des Impulses vom Sender zum Zielpunkt und zurück zu bestimmen. War der Einsatz dieser Entfernungsmethode bisher vornehmlich auf die Messung langer Strecken konzentriert (Mond und Satelliten), so ist das Laser-Radar LD 151 für den Nahbereich gedacht. Obwohl die Gerätekonzeption nicht speziell auf geodätische Anwendungen ausgerichtet ist, scheint eine solche Untersuchung interessant.

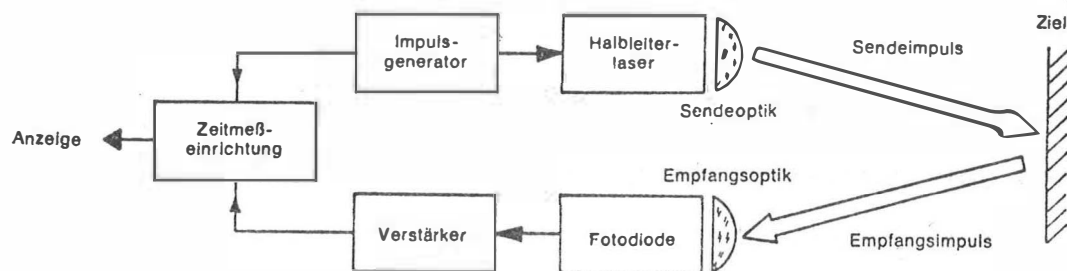


Abbildung 1, Impulsradar-Entfernungsmesser
Funktionsprinzip

Zunächst einiges zur Gerätebeschreibung und Funktionsweise: Wie bei handelsüblichen Phasenentfernungsmessern, zum Beispiel WILD-DI 3S, besteht das Laser-Radar aus zwei Teilen, dem Meßkopf mit Sende- und Empfangsteil sowie dem Steuerggerät mit Elektronik, digitaler Meßwertanzeige und Stromversorgung. Wahlweise können 220 Volt Wechselstrom oder 12 Volt Gleichstrom zum Betrieb verwendet werden.

Das Laser-Radar, im folgenden LD 151 genannt, besitzt als optischen Sender einen Ga-As-Halbleiter-Diodenlaser (auch die üblichen Infrarot-Entfernungsmesser senden über eine Ga-As-Diode, allerdings nicht im Laser-Niveau). Die Laser-Impulse, Infrarot 904 nm, werden durch die Sendeoptik gebündelt und abgestrahlt. Wie bei der elektro-optischen Entfernungsmessung üblich, können die Laser-Impulse, von einem Reflektor in die Empfangsoptik geleitet, der Fotodiode zugeführt werden.

Die Impulslaufzeit ist zur Entfernung proportional und wird je nach Geräteversion analog, hybrid oder digital ausgewertet.

Bemerkenswert ist, daß auch die Messung ohne Reflektor, d.h. Reflexion der Laser-Impulse an beliebigen Zielen, möglich ist. Ein neues Meßmittel aus der Gruppe der indirekten Entfernungsmesser im Nahbereich steht damit zur Verfügung.

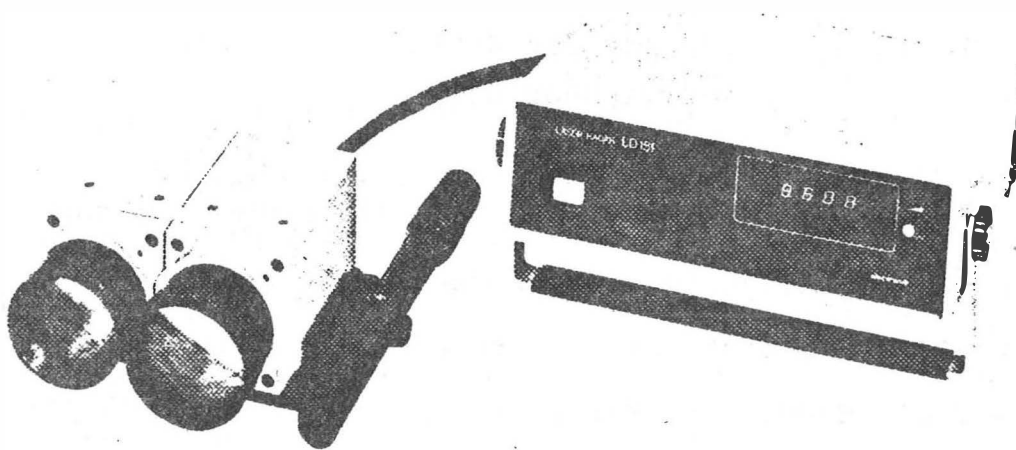


Abbildung 2, EUMIG-Laser-Radar LD 151

Zur Untersuchung der geodätischen Verwendbarkeit wurde ein LD 151 der Null-Serie verwendet. LEBLOCH [5] führte umfangreiche Testarbeiten im Meßkeller der TU Wien durch. Die daran anschließenden praktischen Einsätze zeigten beispielhaft die Möglichkeiten und Grenzen der vermessungstechnischen Anwendungen auf. Der Meßkopf des LD 151 war dabei mittels eines DI-10-Adapters auf das Fernrohr eines WILD-T16 aufgesetzt.

Die Laboruntersuchungen erstreckten sich vor allem auf die Entfernungsmessung ohne Reflektor. Behandelt wurden die Nullpunktsabgleichung und Kalibrierung, die Empfindlichkeit der Meßwertanzeige, die Meßgenauigkeit, der Einfluß von Form, Farbe und Oberfläche der angezielten Objekte sowie von Luftdruck, -temperatur und -feuchtigkeit. Die werkseigenen Angaben der Meßgenauigkeit von $\pm 10 \text{ cm} \pm 0,1\%$ des Meßwertes konnten dabei bestätigt werden.

Die praktischen Beispiele gliederten sich in zwei Bereiche: Erstens galt es, das LD 151 als Entfernungsmesser bei traditionellen Meßmethoden, wie z.B. der Tachymetrie, zu verwenden. Dabei ergab die Aufnahme ohne Reflektor beträchtliche Probleme. Die geringe Reichweite bedingte ein enges Netz von Polygonpunkten. Außerdem gestaltete sich eine eindeutige Zielansprache durch den Bodenbewuchs sehr schwierig. Mittels einer selbst angefertigten Zieltafel aus weiß glänzendem Material ergaben sich hingegen befriedigende Ergebnisse. Die Reichweite war mit 300 m begrenzt, die Schnelligkeit und Genauigkeit höher als bei der optischen Tachymetrie. Insgesamt zeigten diese Arbeiten, wie Geländeaufnahme, Steinbruchvermessung, archäologische Dokumentation, daß das LD 151 ein zuverlässiges und wirtschaftliches Meßmittel darstellt.

Die zweite Testgruppe war der Automation von Sonderaufgaben gewidmet. Das LD 151 bot sich besonders für die Messung von Tunnelprofilen an, welche bisher photogrammetrisch über Lichtschnittaufnahmen oder durch Vorwärtseinschneiden mittels Laserstrahl durchgeführt wurden [1], [7]. Zur Erzielung eines

automatischen Meßvorgangs wurde folgendes Instrument konzipiert: Der Meßkopf des LD 151 solle durch zwei Schrittmotoren horizontal und vertikal bewegt werden. Zu einem diffusen Ziel (Tunnelwand) lägen dann die Schrägentfernung, die Horizontal- und Vertikalwinkel digital vor und könnten gespeichert oder durch einen Rechner on-line verarbeitet werden. Die Realisierung scheiterte an der finanziellen Bedeckung. Tatsächlich gebaut wurde ein Innenraummeßgerät aus Holz. Mit diesem erfolgten zahlreiche Messungen von Tunnelquerprofilen, Kellergewölben und Burgruinen. Sieht man von der damals erzielbaren Entfernungsgenauigkeit von ± 10 cm ab, hat sich das Innenraummeßgerät sehr bewährt.

In der Zwischenzeit wurde von anderer Stelle unter Verwendung eines modifizierten LD 151 (1 cm Auflösung) eine mobile Meß- und Auswertestation für ein österreichisches Tunnelprojekt gebaut und erfolgreich eingesetzt.

Heute bietet die Firma EUMIG unter der Bezeichnung LP 80 XXX eine Laser-Radar-Gerätefamilie mit vier Grundtypen und zahlreichen Sonderausführungen an. Das Profilmessgerät LP 8015-03 erreicht bei 1 cm Auflösung eine Meßgenauigkeit von ± 3 cm bei Einsatzreichweiten von 0,5 - 35 m (Ziel diffus weiß) und 1,5 - 15 m (Ziel diffus schwarz). Die Meßzeitdauer beträgt 0,25 Sekunden. Die 4-stellige LED-Ziffernanzeige sowie der Datenausgang (4 Stellen BCD, TTL pos. Logik) sind serienmäßig. Neben Erweiterungen und Optionen ist eine digitale Datenübertragungseinrichtung für die serielle Fernübertragung des digitalen Meßwertes als Zubehör lieferbar.

FASSADENNAHER LASER-STRAHL

Richtlaser mit sichtbarem Laserstrahl sind für die Herstellung von Referenzrichtungen und -ebenen von besonderer Bedeutung, [4]. Im vermessungstechnischen Einsatz stehen Laser-Richtgeräte [8] in Form selbständiger Instrumente, meist Baulaser genannt. Aber auch Nivellier und Theodolit können mittels Laserokular als Richtlaser verwendet werden.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Institutes für Photogrammetrie war das Verhalten eines baustellen-stationären Richtlasers im fassadennahen Bereich zu untersuchen. Die Montage der vorgehängten Fassadenelemente kann durch den Einsatz eines Richtlasers genauer, zuverlässiger und wirtschaftlicher als etwa mittels Schnurlotung erfolgen. Für die Versuchsanordnung wurde ein STOLZ-Laser-Richtgerät ausgewählt.

Der Richtlaser wird über eine justierbare Befestigungsplatte, vergleichbar einem Theodolitunterbau, am Rohbau angeschraubt. Durch Schwenken des Richtlasers entsteht eine Referenzebene für die Fassade. Um möglichst praxisnah vorzugehen, wählte LOIDOLT [6] einen zehnstöckigen Stahlbetonrohbau in Fertigteilbauweise aus.

Das Meßprogramm sah vor, unter verschiedensten äußeren Bedingungen den Laserstrahl zu beobachten. Der Meßtisch gestattete eine variable Aufstellung des Richtlasers in Bereichen von 20 bis 60 cm von der Hausfront entfernt. Die Entfernung vom Lasergerät zur Zielmarke im zehnten Stock betrug 35 m.

Nach einer halbstündigen Warmlaufzeit des Richtlasers wurden an mehreren Tagen die Abweichungen des Laserstrahls, Luftdruck und -temperatur registriert. Das maximale Auswandern betrug 7 mm, der Durchschnitt jedoch nur 3 mm, jeweils etwa zum Zeitpunkt der höchsten Tageserwärmung.

Weitere Messungen in sechs Geschossen ergänzten die Beobachtungen im zehnten Stock, wobei die erste Registrierung des Tages als Nullmessung betrachtet wurde. Hier konnten maximale Abweichungen von ± 3 mm zur Bezugslinie Laser-Zielmarke im zehnten Stock beobachtet werden. Interessant dabei war, daß die Abweichungen in den einzelnen Stockwerken verschiedene Vorzeichen aufwiesen. Diese sprunghaften Änderungen zeigten wieder Temperaturabhängigkeit. Da Gebäudebewegungen dieser Art eher auszuschließen waren, könnten Luftturbulenzen, hervorgerufen durch kältere Luftströme aus den geöffneten Fenstern, eine Erklärung dafür sein.

Der dargelegte Versuch ist nicht geeignet, die Einzeleinflüsse wie Meßtischbewegungen, eventuelle Seitenrefraktion, Gebäudebewegungen, Richtungsstabilität des Lasers u.a. zu ermitteln. Er zeigt aber insgesamt, daß die für die Fassadenmontage erforderliche Toleranz von 10 mm leicht eingehalten werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BREITHAUPT: Lichttraummeßgerät nach Prof. Rinner, Aufbau, Prinzip und Anwendungsmöglichkeiten. VII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessungen hoher Präzision, Darmstadt 1976.
- [2] EUMIG: Laser-Radar LD 151. Firmenprospekt.
- [3] KAHMEN, H.: Die Bedeutung des Lasers für die Geodäsie. AVN 81, 7/1974.
- [4] KAHMEN, H.: Elektronische Meßverfahren in der Geodäsie: Grundlagen und Anwendungen. Karlsruhe, Sammlung Wichmann, Bd 8, 1977.
- [5] LEBLOCH, E.: Geodätische Anwendung des Laser-Radar LD 151 HS. Diplomarbeit, TU Wien 1977.
- [6] LOIDOLT, J.: Untersuchungen zum Einsatz von Richtlasern in fassadennahen Bereichen. Diplomarbeit, TU Wien 1979.
- [7] ROST R. & A.: Tunnel-Profilmeßgerät PROTA. Firmenprospekt.
- [8] STOLZ AG INTERNATIONAL: Laser-Richtgerät. Firmenprospekt.

Geowiss. Mitt. 16

1979, 39

DAS NETZAUSGLEICHSPROGRAMM NETZ-3D

Möglichkeiten, Leistungsgrenzen und praktische
Handhabung mit Beispielen

von

J. Fürst

(gekürzte Fassung eines Vortrages, gehalten
am 25. Mai 1977 im Rahmen des
Kolloquiums der Assistenten der
Studienrichtung Vermessungswesen)

Johannes Fürst, tätig als EDV-Fachmann am Institut für
Landesvermessung, Technische Universität Wien, 1040 Wien,
Gußhausstraße 27-29

ZUSAMMENFASSUNG

Die österreichische Version des bekannten Netzausgleichsprogrammes "NETZ-3D" wird in diesem Vortrag vorgestellt. Wegen des großen Interesses an der Verwendung des Programmes für wissenschaftliche Untersuchungen werden seine Eigenschaften und Möglichkeiten umrissen und das dem Programm zugrundeliegende Modell erläutert.

Das Programm "NETZ-3D" steht seit 1975 am Institut für Landesvermessung im Einsatz und hat sich bisher bestens bewährt. Bevor ich auf die nähere Klassifizierung des Programms durch Angabe der Leistungscharakteristika eingehe, erlauben Sie mir bitte einige "geschichtliche" Hinweise zur Bestimmung seiner genauen Abstammung:

Das heutige Programm NETZ-3D geht in seiner Grundstruktur und in seiner Logik auf das Programm "3-DIM" von Dr. AESCHLIMANN von der ETH Zürich zurück, welcher darüber in seiner Dissertation "Zur Genauigkeit geodätischer Verschiebungsmessungen" aus dem Jahre 1971 eingehend berichtet.

Der Titel der angeführten Dissertation wieder weist auf die ursprüngliche Zielsetzung des Programms hin: Das Programm 3-DIM wurde in erster Linie zur Ausgleichung von Verschiebungsmessungen geschaffen, wobei besonderes Augenmerk auf die Genauigkeit der ermittelten Punkte und die Methodik des Nachweises von Verschiebungen gelegt wurde.

Im Speziellen wurde dieses Programm zur Auswertung von Bewegungsmessungen an Staumauern angewandt, wodurch sich einige Besonderheiten ergeben, auf die ich noch hinweisen werde. Von der Anlage her ist dieses Programm jedoch trotzdem ein typisches Universalprogramm.

Die nächste Programmversion, bereits mit dem Namen "Netz 3-D", entstand anlässlich der Umstellung auf eine neue Rechanlage: Dr. A. ELMIGER, wiederum von der ETH Zürich, hat das Programm umgeschrieben und erweitert, vor allem in Bezug auf Bedienungskomfort und Optimierung der Rechenverfahren. Aus diesem Anlaß entstand auch eine Programmbeschreibung, auf die ich wiederum aufmerksam wurde, vorerst aus rein programmtechnischen Besonderheiten: Das Programm ist nämlich in der Programmiersprache ALGOL-60 verfaßt, und mir fielen naturgemäß als erstes interessante Details an den Input/Output-Routinen auf; außerdem erschien mir ALGOL-60 wegen der Möglichkeit zur dynamischen Felddeklaration für ein Problem wie das des Netzausgleichs besonders geeignet, welcher Vorteil sich besonders beim "Experimentieren" mit kleinen Netzen zeigt. Ohne Änderungen am Programm kann man dieses vom Terminal aus starten, wo es

für kleine Netze mit einem Kernspeicherbedarf von 65000B auskommt, während dasselbe Programm bei der Ausgleichung eines großen Netzes im Stapelbetrieb mit einer Feldlänge von 150000B und mehr rechnen kann.

Ein gewisser Nachteil ist allerdings die geringere Effizienz des von einem ALGOL-Compiler erzeugten Codes im Vergleich z.B. mit FORTRAN.

Als nun an unserem Institut der Bedarf nach einem eigenen Netzprogramm entstand, erinnerte ich mich aus den eben erwähnten Gründen wieder an das NETZ-3D-Programm und es wurde nach genauer Überlegung und nach Rückfrage bei Dr. ELMIGER der Beschluß zur Adaptierung des Programms an unsere Rechenanlage gefaßt.

Die Installation und Änderung des Programms auf österreichische Verhältnisse wurde von mir im Jahre 1975 durchgeführt, mit Unterstützung des Herrn Dr. ELMIGER, dem ich auch an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Diverse technische Änderungen am Programm, wie z.B. die Umstellung auf Overlay-Technik zur besseren Nutzung des Hauptspeichers durch das Programm, Vereinfachungen in der Eingabe und kleinere Erweiterungen, welche gerade auf unserer Rechenanlage von Vorteil sind, werden laufend ausgeführt; außerdem sind Erweiterungen speziell im Hinblick auf graphischen Output geplant.

Der Zweck des Programms wird in einer Beschreibung folgendermaßen angegeben:

"Vermittelnde Ausgleichung allgemeiner geodätischer Netze in Lage und Höhe oder dreidimensional. (Dies nur für Netze kleiner Ausdehnung). Gleichzeitig mit der Netzausgleichung kann eine ebene Helmerttransformation durchgeführt werden".

Mathematisch gesehen handelt es sich also um ein Verfahren nach der Methode der kleinsten Quadrate. Es wird für jede Messung die Fehlergleichung der Form gebildet: $v = A \cdot x + b$, wobei A die Matrix der Fehlergleichungskoeffizienten und x den Vektor der Unbekannten (i.a. die gesuchten Verbesserungen der Koordinaten der Netzkpunkte) bedeuten; $A \cdot x$ ist daher der im differentiellen Bereich linearisierte Einfluß der zur Verkleinerung der Widersprüche angesetzten Koordinatenänderung. b ist der Vektor der sogenannten Absolutglieder, also der Differenz "Näherungswert (aus den vorläufigen Koordinaten berechnet) weniger dem Meßwert" (eventuell noch vermindert um geometrisch bedingte Korrekturen).

Die Minimumsbedingung $[pvv] = \text{Min}$ führt wie bekannt zur Aufstellung des Normalgleichungssystems $N \cdot x = w$;

Eine Besonderheit ist die Möglichkeit der Behandlung singulärer Netze durch Erweiterung dieses Systems durch die Hinzunahme eines Systems von Bedingungsgleichungen B :

$$\begin{aligned} N_0 \cdot x + B \cdot k &= w \\ B^T \cdot x + 0 &= 0 \end{aligned}$$

Obwohl eine Inversion des Normalgleichungssystems allein zur Bestimmung der Unbekannten nicht nötig wäre (ein Eliminationsverfahren würde zur Bestimmung der Unbekannten allein genügen), wird diese wegen der anschließenden Fehlerrechnung durchgeführt. Selbstverständlich werden im Programm auch die verschiedenen Gewichte der Messungen berücksichtigt. Auch geschieht die Aufstellung des kompletten Systems der Fehlergleichungen im Programm niemals explizit, sondern die entsprechenden Fehlergleichungsanteile werden in die entsprechenden Speicherzellen des Normalgleichungssystems addiert.

Folgende Meßdaten können nun vom Programm verarbeitet werden:

- Horizontalrichtungen
- Höhenwinkel
- Distanzen

Es kann also nur trigonometrische Höhenmessung verwertet werden, ebenso ist eine Berücksichtigung von Korrelationen bei den Beobachtungen nicht möglich, was aber zumindest im Fall der Richtungsmessung leicht durch Eingabe der ursprünglich unvereinigten Sätze umgangen werden kann.

Folgende Unbekannte können berechnet werden:

- Koordinatenverbesserungen
- Orientierungsunbekannte (diese können jedoch vorgängig eliminiert werden)
- maximal 9 Maßstabsfaktoren
- maximal 9 Additionskonstante
- ein Refraktionskoeffizient
- Relative Lotabweichungen in allen Stationspunkten, auf denen geeignete Messungen vorliegen.

Als Projektionssysteme finden Verwendung:

- das GAUSS-KRÜGER-System oder
- ein lokales System (Projektionskorrekturen werden unterdrückt).

Wenn ich nun einige Detailbereiche aus dem Anwendungsgebiet des Programms erläutere, möchte ich mich als erstes jenem Bereich zuwenden, der den Benutzer dieses Programms in Hinblick auf die Durchführung von Verschiebungsmessungen i.a. am meisten interessiert: Die Behandlung der sogenannten Freien Netze. Wie bekannt, sind Freie Netze im weitesten Sinne alle jene Netze, bei denen die Lage der Netzpunkte zueinander einzig und allein durch Messung im Netz bestimmt ist und nicht von irgendwelchen Festelementen beeinflusst wird. Die Zwangsbedingungen (Zwangspunkte, Zwangssazimute, Zwangsdistanzen und wie wir später sehen werden auch Bedingungs-gleichungen) dienen also nur dazu, die absolute Lage des Netzes im Koordinatensystem festzulegen.

Bis jetzt war nur von der Lagerung bzgl. Verschiebungen oder

Verdrehung die Rede, nicht aber vom Maßstab. Je nachdem, ob in einem Freien Netz absolute Distanzen gemessen wurden, kann auch der Maßstab eines Freien Netzes aus Zwangsbedingungen oder aus Distanzmessungen bestimmt werden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: Der Hauptgrund für die Anwendung Freier Netze ist der, daß in ihnen keine Zwänge wegen ungenauer Festpunktkoordinaten wirken können.

Lagerungsarten der Netze im Programm:

Das Programm NETZ-3D verarbeitet drei Lagerungsarten:

1.) Freie Netze aus Festpunkten können in Richtungsnetzen durch Angabe von zwei Festpunkten bestimmt werden. In bestimmten Fällen von Distanz- bzw. gemischten Netzen kann man Freie Netze durch Einführung von zwei Festpunkten ausgleichen, wobei einer der Punkte nur zur Orientierung des Netzes verwendet werden darf.

2.) Eingezwängte Netze:

Es sind mehr Festpunkte gegeben, als zur eindeutigen Lagerung des Netzes notwendig sind. Fehler in den Festpunktkoordinaten gehen in die Verbesserungen der Beobachtungen ein und damit auch in den mittleren Fehler der Gewichtseinheit.

3.) Helmert-transformierte Netze:

(Gleichzeitig mit der Netzausgleichung wird eine ebene Helmerttransformation durchgeführt).

Zur Klärung dieser Programmvariante möchte ich nun etwas weiter ausholen: War bisher von Freien Netzen die Rede, deren Lage durch Festelemente genau eindeutig bestimmt war, so möchte ich nun einen Schritt weiter gehen und zunächst einmal Festelemente vollkommen weglassen: es gäbe also nur Neupunkte im Netz.

Die Folge wird sein, daß die Normalgleichungsmatrix singular wird, da es unendlich viele Werte für die Koordinatenverschiebungen dx_i und dy_i geben muß, welche die Normalgleichungen befriedigen. Die Lage und Orientierung des Netzes ist ja nicht bestimmt.

Bezeichnet man den Rang einer Matrix als die Maximalanzahl linear unabhängiger Zeilen bzw. Spalten, wird der Rang unserer quadratischen Normalgleichungsmatrix um vier geringer sein als ihre Dimension (Rangdefizit = 4), wenn das Netz nur richtungsmäßig bestimmt ist. Denn es fehlen vier Bestimmungsstücke: zwei Verschiebungskomponenten, eine Orientierung, ein Maßstab.

Wurden genügend genaue Distanzen im Netz gemessen, beträgt das Rangdefizit 3 - der Maßstab ist ja aus den Messungen bestimmt.

Die theoretische Begründung der Methoden zur Behebung dieser Singularität, zuerst abgeleitet von Prof. MEISSL, sind heute schon Allgemeingut geworden - dem Praktiker sei der Lösungsweg seiner Wirkung nach kurz erläutert: Die fehlenden Bestimmungsstücke (2 Verschiebungen, die Orientierung und evt. der Maßstab) lassen sich aus einer Helmerttransformation gewinnen - und eben diese wird durch die Anwendung von Bedingungsgleichungen zur Behebung der Singularität des Normalgleichungssystems verwendet.

Die wichtigste Eigenschaft des Freien Netzes - die Freiheit von Festpunktszwängen - bleibt gewahrt und doch ist die lagemäßig optimale Anpassung der ausgeglichenen Punkte an die vorhandenen Paßpunkte gegeben.

Wie wird das nun im Programm gemacht?

Man kann leicht zeigen, daß die Bestimmungsgleichungen für die Transformationsparameter der Ähnlichkeitstransformation sich zu Bedingungsgleichungen für die Koordinatenverschiebungen der Paßpunkte umformen lassen. Diese Bedingungsgleichungen werden, wie schon früher erwähnt, an die Normalgleichungsmatrix angefügt und beheben damit deren Singularität. Dadurch wird das Gleichungssystem eindeutig lösbar und gestattet die Berechnung sowohl der Koordinatenverschiebungen der Neupunkte als auch der Paßpunkte.

Bei der Inversion der Normalgleichungsmatrix und der Berechnung der Unbekannten wird somit gleichzeitig eine Ähnlichkeitstransformation durchgeführt. Rechentechnisch ist dazu zu bemerken, daß man für die Inversion nun eine Routine mit Pivotsuche verwenden muß.

Es ist nicht erforderlich, daß alle Punkte in die Ähnlichkeitstransformation einbezogen werden, es sind natürlich mindestens zwei Punkte notwendig.

Außerdem kann, wie schon angedeutet, wahlweise die Maßstabsbedingung entfallen, wenn der Maßstab des Netzes aus den gemessenen Distanzen genügend gut bestimmt ist.

Besondere Vorsicht ist jedoch bei der Interpretation der Genauigkeit der Koordinaten von in helmerttransformierten Netzen berechneten Punkten notwendig. Man erhält die oben angegebenen Bedingungsgleichungen nämlich auch, wenn man - unter der Voraussetzung genäherter Orientierung - die Forderung aufstellt, daß die Quadratsumme der mittleren Koordinatenfehler der transformierten Punkte, oder was wieder gleichbedeutend ist, die Quadratsumme der Achsen ihrer Fehlerellipsen minimal werden sollen.

(Siehe: MEISSL, Zusammenfassung und Ausbau der inneren Fehlertheorie eines Punkthaufens, DGK, A 61).

Bei der Deutung der Ergebnisse der Ausgleichung hat man zu beachten, daß die berechneten Fehlerellipsen nicht auf ein anschauliches geometrisches System bezogen sind, sondern auf diese abstrakte Minimumsbedingung.

Insbesondere deutet eine besonders kleine Fehlerellipse in diesem Fall keineswegs auf eine entsprechend gute Punktbestimmung hin, genausowenig hat eine solche Fehlerellipse eine Aussagekraft über die bei der "versteckten" Helmerttransformation aufgetretenen Fehler, also die Paßgenauigkeit der ausgeglichenen Punkte auf die vorläufigen Punkte.

In einem solchen Fall ist es unbedingt notwendig, die mittleren Fehler von Funktionen der ausgeglichenen Unbe-

kannten mit Hilfe des zum Programm NETZ-3D gehörender Anschlußprogramms NETZ-FFF berechnen zu lassen. Dieses Programm ermöglicht die Berechnung der mittleren Fehler von

- a) Richtungen
- b) Distanzen
- c) Koordinatendifferenzen (relative Fehlerellipse)

Erst diese Werte geben, insbesondere bei Deformationsmessungen, Aufschluß über die wahre Genauigkeit der einzelnen Bestimmungsstücke nach der Ausgleichung. Mit den hier gewonnenen Werten ist dann die Signifikanz z.B. der aufgetretenen Verschiebungen zu testen.

Allgemein läßt sich zum Problem der Deutung von Fehlerellipsen aus konventionellen bzw. helmerttransformierten Netzen sagen: Die "konventionelle" Ausgleichung neigt dazu (Zwangnetz!), unwahrscheinlich große Fehlerellipsen - eben bei großen Festpunktszwängen - zu ergeben, während die Fehlerellipsen helmerttransformierter Netze lt. Voraussetzung minimiert, also möglichst klein sind.

Die 3-dimensionale Ausgleichung:

Die Behandlung 3-dimensionaler Netze ist, wie bereits angedeutet, etwas eingeschränkt:

- 1.) Bei der Ausgleichung freier Netze, kennt das Programm zur Zeit kein 3-dimensionales Analogon zum Ansatz der ebenen Helmerttransformation, obwohl der Einbau des Formelapparates zur räumlichen Ähnlichkeitstransformation relativ einfach wäre. Bezüglich der 3. Dimension freie Netze lassen sich nur durch genau eindeutig bestimmte Lagerung in der Höhe ausgleichen.
- 2.) Da das Programm speziell im 3-dimensionalen Fall nur für Netze mit kleiner Ausdehnung entworfen wurde, kommt ein Näherungsverfahren zur Anwendung, auf das ich nun kurz eingehen möchte:

Grundlegend für das Näherungsverfahren ist die Überlegung, daß wohl die Absolutglieder (die Differenzen: Näherungswert - Meßwert) möglichst genau sein müssen, die Fehlergleichungskoeffizienten jedoch weniger genau berechnet sein können.

Das Programm geht folgendermaßen vor:

- Die Fehlergleichungskoeffizienten sind in einem 3-dimensionalen kartesischen System hergeleitet, dessen Nullpunkt sich im jeweiligen Standpunkt der Beobachtung befindet:
- Näherungswerte, Absolutglieder und ausgeglichene Werte der Distanzen und Höhenwinkel werden auf einer Kugel berechnet. Der Radius dieser Schmiegunskugel wird für eine Ausgleichung vorgegeben.
- Die Koordinaten können als Projektionskoordinaten oder als lokale kartesische Koordinaten definiert werden, die Meereshöhen werden immer als Abstände von der mittleren Krümmungskugel aufgefaßt.

Das gezeigte Verfahren hat den Vorteil, daß die Fehlergleichungskoeffizienten einfache Form aufweisen und daß nicht transformierte Originalmessungen verwendet werden können.

Es soll besonders darauf hingewiesen werden, daß nur jene Fehlergleichungskoeffizienten, welche die Höhendifferenz enthalten, verfälscht werden, wobei der Fehler ca. 7 m auf 10 km, also $7 \cdot 10^{-4}$ beträgt. Was in Anbetracht der zu berechnenden Unbekannten, welche nur geringe Zuschläge zu Näherungswerten sind und daher nur auf wenige Ziffern genau zu sein brauchen, berechtigt ist.

Zu bemerken ist außerdem noch, daß aufgrund des besprochenen Näherungsverfahrens nicht die Größe des Netzes an sich limitiert ist, sondern lediglich die maximale Seitenlänge; diese sollte beim 3-dimensionalen Ausgleich nicht mehr als ca. 15 km betragen. Die Ausdehnung der ebenen Netze ist jedoch wegen des Fehlens ellipsoidischer Korrekturen auf ca. 50 - 100 km beschränkt. Diese wären in einer Vorstufe zusätzlich einzuführen.

Korrektur-Unbekannte

Bisher war von dem im Programm möglichen Bestimmungsverfahren für Koordinatenunbekannte (inkl. Höhen) die Rede. Wie bereits eingangs erwähnt, ermöglicht das Programm die Bestimmung von weiteren Unbekannten:

Maßstabsfaktor und Additionskonstante von Distanzen

Wir haben es hier mit 2 einfach zu bestimmenden Korrekturen zu tun, der Maßstabsfaktor bewirkt eine linear von der gemessenen Distanz abhängige Verbesserung, gemeinsam mit der Additionskonstanten haben wir es mit einem linearen Polynom zu tun:

$$S = S_g + a + \frac{S_g}{\text{Bezugslänge}} \cdot b$$

- a ... Additionskonstante
- b ... Maßstabsfaktor
- S_g ... gemessene Seite

Das ist der entsprechende Anteil an der Verbesserungsgleichung. Der Faktor b wird in mm pro "Bezugslänge" berechnet. Diese Bezugslänge wird in einer Parameterkarte vorgegeben, damit ist eine möglichst universelle Verwendung für die verschiedensten Distanzmesser gegeben, da sich der Maßstabsfaktor in bequemen Einheiten angeben läßt.

Relative Lotabweichung und Refraktionskoeffizient

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Unbekannten ist die Bestimmungsmethode für die beiden folgenden in diesem Programm nicht mehr unabhängig von der Form des Netzes. Die Bestimmung der relativen Lotabweichungskomponenten sowie des Refraktionskoeffizienten sind auf mehr oder weniger symmetrische Netzformen beschränkt und wurden meiner Meinung nach vor allem zur Erhöhung der erreichbaren Genauigkeit bei der Ausgleichung von Staumauern-Netzen eingebaut.

Relative Lotabweichung und Refraktionskoeffizient

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Unbekannten ist die Bestimmungsmethode für die beiden folgenden in diesem Programm nicht mehr unabhängig von der Form des Netzes. Die Bestimmung der relativen Lotabweichungskomponenten sowie des Refraktionskoeffizienten sind auf mehr oder weniger symmetrische Netzformen beschränkt und wurden meiner Meinung nach vor allem zur Erhöhung der erreichbaren Genauigkeit bei der Ausgleichung von Staumauern-Netzen eingebaut.

Bestimmung der relativen Lotabweichungskomponenten ξ und η :

Eine Ableitung des Ansatzes zu den Fehlergleichungskoeffizienten würde den Rahmen dieses Vortrags sprengen, wäre aber Voraussetzung für die Diskussion des angewandten Verfahrens. Das Prinzip sei jedoch kurz erwähnt:

Die Richtungs- und Höhenwinkelmessungen beziehen sich durch den Einfluß der Lotabweichungen auf ein um die Lotabweichungskomponenten ξ und η gedrehtes 3-dimensionales Koordinatensystem. Aus dieser Verdrehung ergeben sich an den Meßwerten anzubringende Korrekturen, welche von den Verdrehungswinkeln ξ und η abhängen. Diese Korrekturen werden abgeleitet aus den Einheitsvektoren der Azimutänderung bzw. der Höhenwinkeländerung, die sich aus der Verdrehung des Koordinatensystems ergeben und führen zu Fehlergleichungskoeffizienten der Form:

$$d_{Az} = - \frac{y_z \cdot x_z}{x_z^2 + y_z^2} \cdot \xi + \frac{x_z \cdot z_z}{x_z^2 + y_z^2} \cdot \eta$$

$$d_h = - \frac{x_z}{\sqrt{x_z^2 + y_z^2}} \cdot \xi - \frac{y_z}{\sqrt{x_z^2 + y_z^2}} \cdot \eta$$

Um nicht eine willkürliche Wahl eines Nullpunktes notwendig zu machen, und weil bei Verschiebungsmessungen eine Eingabe von absoluten Lotabweichungen zur Lagerung des Systems der Lotabweichung kaum verlangt werden kann, ging man hier den analogen Weg wie den schon bei den helmerttransformierten

Netzen beschriebenen: den der Bedingungsgleichungen.

Daraus ergeben sich aber Voraussetzungen über die Form und Anlage des Netzes, denn die Bedingung "Summe der Lotabweichungskomponenten = 0" setzt z.B. ein symmetrisches, parallel zu einem Gebirgszug oder einer Talachse sich erstreckendes Netz voraus.

Die Möglichkeit zur Bestimmung von Lotabweichungskomponenten im Programm NETZ-3D sollte aus diesem Grunde nicht überbewertet werden. Sie wurde vor allem geschaffen, um störende Einflüsse bei besonders genauen Verschiebungsmessungen eliminieren zu können.

Um die Möglichkeiten des Programms bei der Lotabweichungsbestimmung abschätzen zu können, befindet sich zur Zeit ein praktisches Beispiel in Bearbeitung, wobei sich bereits am Anfang der Untersuchungen eine Erhöhung der Genauigkeit des Netzes bei Berücksichtigung der Lotabweichungen gezeigt hat. Im Hinblick auf Verschiebungsmessungen bietet das Programm die Möglichkeit, denselben Punkten in verschiedenen Epochen dieselben Lotabweichungen zuzuordnen.

Refraktionskoeffizient

Was für die Lotabweichungsbestimmung bereits gesagt wurde, ist zum Großteil auch hier anzuwenden. Es geht nicht um die Refraktionsbestimmung an sich, sondern darum, durch Berücksichtigung der Refraktion bessere Ausgleichsergebnisse zu erhalten. Bei der Ableitung des entsprechenden Algorithmus standen wieder die schon erwähnten besonderen Netzformen Pate, was für spezielle Anwendungen des Programms berücksichtigt werden muß. Die Bestimmung des Refraktionskoeffizienten allein aus den Messungen ist prinzipiell möglich, das Programm verarbeitet auch Netze, in denen keine Koordinatenunbekannten vorkommen. Besonders bei Verschiebungsmessungen kann es günstig sein, erst in der zweiten Epoche mit unbekanntem Refraktionskoeffizienten zu arbeiten. Praktisch geschieht dies dadurch, daß so lange mit dem vorläufigen Wert des Refraktionskoeffizienten gerechnet wird, als nicht ein Merker in den Messungs-

daten eine Umschaltung auf "Bestimmung der Änderung der Refraktionskoeffizienten aus den weiteren Messungen" bewirkt. Besonders bei gleichzeitiger Bestimmung von Lotabweichungskomponenten und Refraktionskoeffizienten in Netzen mit genügend großen Höhenunterschieden erreicht man erst durch die Tatsache des in der 1. Epoche festen Refraktionskoeffizienten ein stabiles System.

Gewichte

Das Programm sieht eine Festlegung des Gewichts für jede Messung einzeln vor, wobei es dem Benutzer freigestellt ist, sich am Beginn des Programms zu entscheiden, ob er zu den Messungen Gewichte oder mittlere Fehler eingeben will. Im 2. Fall ist der à priori geschätzte mittlere Fehler der Gewichtseinheit (m_e) vorzugeben, bei den Messungen die mittleren Fehler der Richtungen, Höhenwinkel bzw. Distanzen. Aus der Gewichtsdefinitionsgleichung ergibt sich dann das Gewicht einer Richtung zu

$$p_R = \frac{m_e^2}{m_R^2} \quad m_e, m_R \text{ in } \text{cc}$$

sowie das einer Distanz zu

$$p_D = \frac{m_e^2}{m_D^2} \quad m_e, m_D \text{ in } \text{cc}$$

Bei den Gewichten der Höhenwinkel ist noch zu bemerken, daß diese im Programm automatisch wegen der Unsicherheit der Instrumenten- und Zielhöhen sowie wegen der Unsicherheit der Refraktion reduziert werden.

Im Zusammenhang mit den Gewichten ist noch eine Möglichkeit des Programms zu erwähnen, die vielleicht manchmal nicht genügend beachtet wird: Die sogenannte A PRIORI-BERECHNUNG von Netzen.

Das Programm erlaubt es, ohne einen einzigen tatsächlich anzugebenden Meßwert - lediglich unter Angabe "was mit welcher Genauigkeit" gemessen sei, ein Netz durchzurechnen.

Es ergeben sich dabei natürlich keine Verschiebungen, sondern nur Fehlerellipsen. Man kann also durch Weglassen oder Hinzu-

fügen von Messungen bzw. durch Variation der geschätzten mittleren Fehler die zu erwartende Auswirkung auf die Genauigkeit der Netzgrößen (auch Funktionen der Unbekannten) bestimmen und erhält damit eine wesentliche Unterstützung bei der Planung eines Netzes, v.a. im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und die zu verwendenden Meßmittel.

Auch auf didaktischem und pädagogischem Gebiet sehe ich hier eine Möglichkeit zum Einsatz des Programms im Zusammenhang mit einem sogenannten Interaktiven graphischen System.

Sollte ein solches System tatsächlich zur Verwendung an unserer Universität kommen, und zwar als intelligentes Terminal zur Großrechenanlage, bestünde die folgende Möglichkeit:

Man konstruiert das Netz z.B. durch Identifikation der entsprechenden Punkte in der Datenbank des graphischen Systems am Bildschirm, gibt die mittleren Fehler an und benötigt nur mehr ein Interface-Programm zur Übergabe der Daten an den Großrechner, wo die Netzausgleichung durchgeführt wird. Die Ergebnisse werden dann am graphischen Terminal in anschaulicher Form dargestellt. Ich könnte mir sogar vorstellen, daß man eine vereinfachte Version des Programms sogar im Rechner des graphischen Systems zum Laufen bringen könnte.

Eine solche Anwendung erscheint zwar vom Aufwand her heute noch utopisch und unwirtschaftlich, könnte aber bei Fortsetzung der bestehenden Entwicklungstendenzen der graphischen Datenverarbeitung nichts Außergewöhnliches mehr sein.

Lassen Sie mich zum Abschluß vielleicht noch einige Angaben zum Betriebsmittelverbrauch des Programms geben:

Das Programm läuft bei uns auf einer CDC CYBER 74 mit einem für Benutzerprogramme zugänglichen Kernspeicher von 200000B (= 65k) - 60Bit Worten. Der vom Programm benötigte Kernspeicher bewegt sich je nach der Größe des Netzes und je nachdem, welche Programmteile geladen werden müssen, von 65000B (entspricht 27k Worten) aufwärts, wobei die magische Grenze von 100000B (32k Worte), von wo ab die Turnaroundzeit empfindlich ansteigt,

bei Netzen mit ca. 60 Normalgleichungen erreicht wird.

Die Rechenzeit (Belegungszeit der CPU oder kurz CP-Zeit liegt bei Netzen gängiger Größenordnung, wie sie mit diesem Programm gerechnet werden, zwischen 2 und 120 Sekunden. Bei Netzen mit besonders vielen Neupunkten ist zu beachten, daß die Inversionszeit der Normalgleichungsmatrix ca. mit der 3. Potenz der Anzahl der Unbekannten ansteigt.

Die Anzahl der verbrauchten Systemsekunden (= Verrechnungszeit) liegt bei diesem Programm erfahrungsgemäß zwischen dem 4 bis 4.5 fachen der CP-Zeit.

Das größte mit der letzten Version des Programms bei uns gerechnete Beispiel verbrauchte bei 146 Normalgleichungen und bei einer Kernspeicherbelegung von 140000B, 90 CP-Sekunden bzw. 406 Systemsekunden. Daraus ergeben sich reine Rechenzeitkosten von ca. S 1 400,- für eine einmalige Durchrechnung einer ebenen Ausgleichung von 73 Punkten nach den vom Rechenzentrum der TU Wien angewandten Berechnungsformeln zur Bestimmung der Betriebskosten der Anlage.

Geowiss.Mitt.16

1979, 57

PRAGMATISCHE GEDANKEN ÜBER DEN LEITUNGSKATASTER
IN ÖSTERREICH

Von

K. PETERS

Erweiterte Fassung eines Vortrages,
gehalten am 7.Dezember 1977
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 Gegensatz zu häufig veröffentlichten Meinungen scheinen nicht nur die rechtlichen, sondern auch die technischen Voraussetzungen für die Einführung eines allgemeinen Leitungskatasters noch nicht gegeben, da weder die topographischen Unterlagen noch die interaktive Datenverarbeitung voll ausgereift sind. Die Notwendigkeit einer solchen Einrichtung ist allerdings unbestritten. Der Bedarf wurde aber von Anwenderseite noch nicht öffentlich angemeldet, da sowohl bei Betreiber- wie auch Koordinationsstellen (z.B. MA 41) planungsrelevante Unterlagen aufliegen oder in angemessener Zeit zu erlangen sind. Einfache Rechnungen zeigen, daß eine totale Neuaufnahme wirtschaftlich unmöglich ist und ein zentraler Leitungskataster nur als Aufbaukataster aus Inselplänen, multifunktional und in Zusammenarbeit mit den Betreibern erstellt werden kann.

PRAGMATISCHE GEDANKEN ÜBER DEN LEITUNGSKATASTER IN ÖSTERREICH

K.Peters

1) Einleitung, standespolitische Erwägungen.

Seit mehr als 100 Jahren gibt es in Tübingen (BRD) einen fortgeführten Leitungskataster. Seit ca. 20 Jahren wird in der BRD auf politischer Ebene zumindest länderweise ein allgemeiner Leitungskataster gefordert. Seit 10 Jahren besteht bei der FIG die spezielle Studiengruppe 6 D der Kommission 6 (Ingenieurvermessung) über Leitungskataster. Die Wirtschaftskrise 1975 sowie die Möglichkeiten der ADV (wobei deren Fachleute als unsere Konkurrenten auftreten könnten) sowie die juristisch-technische Anarchie auf dem Gebiet der Leitungsdokumentation, trotz rasant anwachsender Leitungsbauten und Leitungsschäden, haben zu einer Generalmobilmachung der bundesdeutschen Vermessungsorganisationen ab 1976/77 geführt. Wegen der standespolitischen, technischen und wirtschaftlichen Bedeutung des Themas wurde es vom Österreichischen Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie als Schwerpunkt der Vortragssaison 1977/78 angesetzt; in diesem Rahmen entstand die vorliegende Schrift und ist weder als wissenschaftlicher Übersichtsartikel, noch als Bericht über eigene Leistungen, noch als offizieller Standpunkt unserer Universität, sondern als persönlicher Diskussionsbeitrag zu sehen.

Da auf die gesamtwirtschaftliche Bedeutung eines zentralen Leitungskatasters fast ausschließlich von Vertretern des Vermessungswesens hingewiesen wird und nicht von jenen der Versorgungswirtschaft, Versicherungen usw., gilt das Anliegen nach außen als standespolitisches Beschaffungsprogramm sowohl des staatlichen, wie auch freiberuflichen Vermessungswesens; die kommunalen Vermessungsdienststellen, welche hiebei eigentlich besonders betroffen sind, lassen in der Diskussion ihre

Stimme nicht so kräftig hören. Dabei sollte aber klar sein, daß die gesetzliche Zuordnung des Leitungskatasters zu unserem Stand objektive Gründe besitzt: Der Grundsteuerkataster wurde und wird für wirtschaftlich weniger bedeutsame, jederzeit hinterfragbare und obertägig sichtbare Gegebenheiten angelegt. Die Versorgungsleitungen sind vor allem in ihrer Zusammenschau nur über eine topographisch eindeutige Dokumentation ersichtlich zu machen. Der Zug zu Datenbanken aller Art wird zwar immer stärker, doch für die Führung topographisch orientierter Dateien hat nur unser Stand Referenzen vorzuweisen - unabhängig vom Gesellschaftssystem.

Die Argumente verschiedener Standeskollegen scheinen aber nicht immer stichhaltig, wobei auf wirtschaftliche Gesichtspunkte noch gar nicht eingegangen werden soll.

Entgegen einer häufig geäußerten Meinung sind die technischen Probleme noch keineswegs gelöst, wenn man sich nicht mit mehr oder minder qualitativer Darstellung begnügt. Sinnvollerweise muß eine Leitungsdokumentation auch Funktionsberechnungen zulassen. Die entsprechenden Dimensions- und Logikdaten müssen bei Bezugssystem, Bezeichnung, Software und Aufnahmemethode unter Benützung der Graphentheorie berücksichtigt werden. Bereits die Grundvoraussetzung, eine großmaßstäbliche topographische Bezugsaufnahme, fehlt in Österreich weiträumig (dieses Fehlen ist das größte Manko nicht nur bei uns, sondern in allen Staaten mit Diskussion um den Leitungskataster). Zahlenplan, Festpunktfeld und EDV im Bundesvermessungsdienst sind dabei jedenfalls zu dürftige Voraussetzungen. Weder die fehlende Fürsprache politischer Lobbies noch das Manko an gesetzlichen Vorschriften sind Ursache für die neutrale öffentliche Haltung gegenüber dem allgemeinen Leitungskataster. Nicht euphorische Diskussionen, sondern konkrete Musteroperete könnten unserem Stand die Anlegung und Führung eines allgemeinen Leitungskatasters bringen. Andernfalls werden EDV-Multis als Generalunternehmer mit Hilfe ihrer pressure-groups dieses

Betätigungsfeld an sich reißen; von dieser Seite her sind Investitionen in Modellbeispiele nicht so kostenintensiv in Relation zum Gesamtbudget wie bei uns.

Der allgemeine Leitungskataster ist für unseren Stand sicher keine Überlebensfrage. Die uns gesetzlich allein reservierten Grenzkataster und Landesvermessung haben besonders in letzter Zeit auch bei öffentlichen Dienststellen, geschweige denn bei Ziviltechnikern, im gesamten Tätigkeitsfeld nur einen geringen Anteil erreicht, ohne daß deshalb eine Standeskrise zu sehen wäre. Selbstfindungsversuche unserer Standesmitglieder bedienen sich ungern mit Landesvermessung und Kataster; neuerdings wird der Begriff "Landinformationssystem" hierfür verwendet. Die in Österreich durch die Raumordnungsgesetze vorgeschriebenen Flächenwidmungs- und Bebauungspläne wurden von manchen allzu selbstbewußten Kollegen gleich einschließlich Planung für uns reklamiert; wegen mangelnden Planungsbewußtseins der Öffentlichkeit sind exakte Planungsunterlagen nicht gefragt und somit muß und kann unser Stand großteils ohne das objektiv und subjektiv wichtige Betätigungsfeld der großstädtlichen Planungskartographie auskommen. Und dies hätte schon einige gesetzliche Voraussetzungen für sich gehabt! Dabei muß daran erinnert werden, daß hier gebietsweise von individuell interessierten Betrieben sehr wichtige Arbeit geliefert wurde und wird; auch im Bundesamt ist durch die neuerdings forcierte Einmessung von Neubauten eine Tendenzwende zu erkennen. Exakte Planungsunterlagen für Bebauungspläne sollen aber auch Infrastruktur enthalten, bzw. können als Topographie für Leitungskataster zumindest in ländlichen Gebieten gelten.

2) Einige bereits eingerichtete Leitungskataster.

Ähnlich wie beim Grenzkataster ist keine signifikante Korrelation zwischen Bruttonationalprodukt und Stand des Leitungskatasters zu erkennen. Auch zwischen dem Stand des Grenzkatasters und dem Stand des Leitungskatasters ist keine Abhängigkeit

ersichtlich, wobei hier auffällt, daß Österreich, dessen Grenzkataster technisch und juristisch als beispielgebend gilt, hinsichtlich Leitungskataster nicht einmal punktförmige Akzente gesetzt hat (dieses Statement ist aber keineswegs als Vorwurf zu werten!). Hinsichtlich der Gesellschaftssysteme ist zu bemerken, daß die sozialistischen Staaten fast durchwegs gesetzlich fundierte Leitungskataster betreiben, während z.B. in der Schweiz Städte (bzw. Kantone) mit höchstentwickelten Leitungskatastern Inseln bilden in einem Staat ohne jede solche Regelung, der aber z.B. die höchste Computerdichte aufweist.

In der Schweiz liegt seit 1968 ein Gesetz vor, demzufolge die Gemeinden einen Leitungskataster binnen 3 Jahren zu beginnen, binnen 20 Jahren abzuschließen bzw. fortzuführen haben. Die Aufsicht darüber obliegt den kantonalen Vermessungsämtern. Maßstab 1:200 im Baugebiet, sonst 1:500 bis 1:1000. Dies erinnert an unsere Raumordnungsgesetze.

In den Niederlanden werden vom Gesetzgeber 3 Stufen zur Einführung des allgemeinen Leitungskatasters vorgesehen:

1. Registratur aller Leitungsträger beim Katasteramt (entspricht unseren Vermessungsämtern)
2. Zentrale Registratur der gefährlichsten und wichtigsten Leitungen beim Katasteramt (kleinmaßstäblich)
3. Registratur aller Leitungen beim Katasteramt (großmaßstäblich)

Hiezu wird seit 1975 versuchsweise ein Teil von Friesland 1:1000 aufgenommen und kartiert. Andere Maßstäbe werden photographisch erzeugt. Die Stadt Rotterdam hat dieses System wegen zu geringer Anpassungsfähigkeit abgelehnt und wird ein von Haus aus digitalisiertes Operat erstellen. Dieses wird allerdings nicht von Vermessungsdienststellen, sondern vom Tiefbauamt betrieben; das Interesse von Seiten des Liegenschaftskatasters ist hier nicht maßgeblich, da 65% des Stadtgebietes der Gemeinde Rotterdam gehören.

Tabelle 1 zeigt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) den Stand des Leitungskatasters in einigen europäischen Städten. Der überwiegende Teil davon wird rein konventionell (graphisch) geführt. Die Leitungen sind häufig nicht in der Natur aufgenommen, sondern stammen aus Werkplänen.

Stadt	1000 Einwohner	Topographie			Leitungen			Fluchtlinien	nachträglich digitalisiert	interaktiv	Beginn der Arbeiten	fertiggestellt		
		Maßstab	aus Grundkarte		aus Werkplänen	aufgenommen in Natur	dreidimensional					1976/77		voraussichtlich
			extra aufgenommen	% Topographie								% Leitungen		
Tübingen D	74	500 250	x		x			teilw.		1876	100	100		
Warschau PL	1300	500 250	x		x		x			1881 1949	100?	100?		
Basel-Stadt CH	215				x				x	1913 68,76	100	100?		
Bern CH	150	200	x	x	?					1954	84	32		
Krefeld D	234	500	x	x	x			teilw.		1960	75	61	1980?	
Hildesheim D	95	200	x		x	x				1961	100	100?		
Offenburg D	52	500	x				x							
Prag CS	900	1000 500	x	teilw.	teilw.					1965			1980?	
Leipzig DDR	700	500 250	x	x	teilw.	x				1972?				
Salzburg A	100	200	x	x		x				1976			1988?	

Tübingen hat den ältesten Leitungskataster. Er wurde bis 1960 in einer (nicht transparenten!) Rahmenkarte 1:500 geführt; jetzt gibt es Deckfolien, seit 1975 werden die Leitungen nachträglich digitalisiert bzw. mit Reg Elta aufgenommen.

Warschau besitzt seit 1881 eine Stadtkarte 1:250 mit schweren Einbauten! Die Stadt wurde zu 85% kriegszerstört, dadurch konnte nach 1945 ein modernes Operat aufgebaut werden. Der Geodätische Betrieb der Stadt führt die Stadtkarte, trägt bei Neubau einer Leitung das Projekt gemäß den technischen Vorschriften (Altbestand, Tiefenlage) ein, rechnet die Absteckdaten, steckt die Leitungen ab und nimmt bei offener Künette stichprobenartige Kontrollen über Richtigkeit der Verlegung vor.

Basel-Stadt besitzt derzeit sicherlich den modernsten Leitungskataster. Seit 1976 wird er interaktiv mittels eines Ferranti-Clumis-Systems geführt. Das städtische Vermessungsamt (Mittelding zwischen MA 41 und VA Wien) macht alles. Die Meßtrupps werden per Funk zu den offenen Künetten dirigiert (wie nun auch in anderen Städten). Die Kosten werden nach einem alle 5 Jahre neu zu erstellenden Verteilungsschlüssel auf die Beteiligten (Polizei, Feuerwehr, Straßenbau, Leitungsträger, Vermessungsamt ...) überwältzt.

Bern: bis 1968 wurden Straßenpläne (nur 32% der Topographie!) seither Rahmenkarten aufgenommen. Die Einbauten werden hinsichtlich obertägiger Merkmale vermessen, aus Werkplänen untertägig eingetragen. Im Jahr 1975 gab es bei 368 km Straßen 2800 Ausrückungen bei einem Personalstand von 20 Mann, 4 Bussen. (In Zürich wurden hingegen die Digitalisierungsarbeiten wegen des Verdachtes unlauterer Auftragsabwicklung eingestellt).

Hildesheim: 1961-1963 wurden in der ganzen Stadt Suchkünetten gegraben, darin die Leitungen exakt aufgenommen nach Lage und Tiefe und in die auf 1:200 vergrößerte Stadtkarte 1:500 eingetragen.

Prag: Es bestehen großmaßstäbliche Stadtkarten 1:500 bzw. 1:1000, erstellt aus der Katastermappe. Es besteht keine Meldepflicht, Künetten werden aufgenommen, wo sie gefunden werden.

In Widerspruch dazu steht die Mitteilung am FIG Kongreß 1977, daß in der CSSR jedes Bauunternehmen, welches Leitungen verlegt, den für die Einmessung verantwortlichen Vermessungsfachmann nennen muß.

Leipzig: Hat Basel den besten Automations- und Finanzierungsstandard, so hat Leipzig den wissenschaftlich bestvorbereiteten Leitungskataster. Die Genauigkeit der Erfassung wurde mit der Entnahmegenaugigkeit aus der großmaßstäblichen Topographie festgelegt (0,5 mm aus 1:500 = \pm 25 cm in Lage; \pm 15 cm in Höhe). Der VEB Geophysik Leipzig ermittelte bei einem Ortungsversuch \pm 38 cm in der Lage mittels selbst entwickelter Suchgeräte. Der VEB Geodäsie und Kartographie sorgt für Rahmenkarte, Deckelnivellement usw., das städtische Tiefbauamt für die Organisation. Die Leitungsträger müssen ihre Unterlagen dem VEB Geodäsie und Kartographie zum Eintragen in die Rahmenkarten übergeben, die dabei auftretenden Widersprüche Plan/Natur selbst klären und durch stichprobenweise Suchknetten überprüfen. Die Karten werden gemäß Einmessungsordnung der DDR laufend gehalten (Vergleich Aufgrabegenehmigung - Bestandsrisse). Das Tiefbauamt trägt die Kosten der Aktualisierung der Rahmenkarte und des "komplexen Leitungskatasters", die Leitungsträger die des "speziellen L.K.". Der kritische Weg bei Erstellung und Unterhaltung führt über die Leitungsträger (Aufbereiten der alten Unterlagen, Ergänzungen, spezieller Leitungskataster).

Salzburg wird (auch im Sinne eines Ost-West-Gefälles?) als erste und einzige Stadt Österreichs mit Leitungskataster gefeiert. Bei näherer Betrachtung läuft derzeit eine konventionelle Kartierung der Stadt 1:200 ohne Einschaltung irgendeiner Automatisierung nach der örtlichen Gegebenheit und Winkelprisma oder mit konventionellen Tachymetern (laut einer Firmenzeitschrift aus 1976!); in dieses Gerippe können dann aus den Unterlagen der Leitungsträger die Leitungen eingetragen werden....

In den französischen Trabantenstädten (Villes Nouvelles) werden im Raum Lyon-Grenoble Leitungskataster eingerichtet, welche ohne großen weiteren Aufwand auch Funktionsberechnungen gestatten. Koordinatenaufnahmen der Situation und der Leitungsknoten werden verspeichert und 1:200 in Wohngebieten, 1:500 in Betriebsbaugebieten geplottet; der Zeichenschlüssel ist ident mit jenem von Basel und Bern (ca. 130 Zeichen). Jeder Leitungsknoten wird auf einem Karteiblatt nach Abmessung, 3 Koordinaten, Funktion, Leitungslogik usw. festgehalten und dann verspeichert.

3) Standpunkt der Leitungsträger in der BRD.

Während es bei uns noch zu keiner Konfrontation mit den Vertretern der Leitungsträger gekommen ist, da diese ihre Position durch ein Leitungskataster nicht bedroht sehen (teils aus eigener Vernunft und positiver Einstellung hiezu, teils, weil ihnen die Einführung eines zentralen LK in Österreich nicht realisierbar scheint), gibt es in der BRD heftige Widerstände eines Großteils der Leitungsträger, welche den Dialog mit den Vermessungstechnikern beendet und zu einem unfreiwilligen (?) Solo unserer Standeskollegen geführt hat. Sofern argumentiert wurde, kristallisierten sich folgende Widerstände heraus:

1. "Das Interesse an Planunterlagen wird überschätzt" - eine Erfahrung, die auch bei uns leider verbreitet gemacht wird.
2. "Bei Projekten sind auf jeden Fall integrale Einbautenerhebungen nötig". Damit ist auch der Vorwurf erhoben, daß ein Großteil der Erhebungen überflüssig ist, nämlich jene, welche im Zuge des allgemeinen LK nicht für ein konkretes Projekt gemacht werden.
3. "Die Funktion der Netze wird in kleinmaßstäblichen Netzplänen, nicht in großmaßstäblichen Leitungskatastern geplant".
4. "Suchschlitze sind immer nötig, da keine Gewähr für katastermäßige Verlegung bzw. korrekte Eintragung der Leitungen gegeben werden kann. Weiters sind Suchschlitze im Zuge der sowieso in Angriff genommenen Bauarbeiten fast gratis".

5. "Nur 1% aller Schäden an Leitungen durch Fehlen des Leitungskatasters, sonst durch menschliches Versagen" - z.B. Baggerfahrer kümmern sich weder um Grenzzeichen noch um dienststelleninterne Pläne - wie sollen sie dann die komplizierten allgemeinen Leitungskataster verstehen bzw. beachten?
6. "Mehrfachaufgrabungen, für jeden Strang extra, können auch weiterhin nicht vermieden werden".
7. "Die geodätischen Unterlagen sind mangelhaft hinsichtlich Maßstab, Genauigkeit, Aktualität, Homogenität" (natürlich in der BRD).
8. "Auch weiterhin keine Real-Time-Auskunft möglich". Die Leitungskataster können, wie der Grenzkataster, nie aktuell sein.
9. "Im Katastrophenfall sind die zentralen Leitungskataster nicht greifbar" (vgl. Baupläne brennender Häuser).
10. "Gefahr des Mißbrauches (z.B. für Sabotageakte) ist besonders groß".

Ad 1. und 5. - das ist nur eine Erziehungsfrage.

Ad 2. - durch Aufbaukataster zu entkräften.

Ad 3. - bei Digitalisierung beliebige Maßstäbe und strenge Berechnungen möglich; Koordination von Bauarbeiten bei zentralem LK einfacher.

Ad 4. - bei Aufnahme der Leitungen aus Suchschlitzen heraus sind späterhin keine mehr nötig.

Ad 7. - leider! Der Nachholbedarf ist aber kein Grund zur Resignation, sondern wird in letzter Zeit immer zügiger bereinigt.

Ad 8. - nach Einführung eines automatischen Datenflusses vielleicht einmal möglich.

Ad 10. - ist in vielen Staaten noch ein Argument gegen Freigabe topographischer Karten - wer Terroranschlag plant, kann auch offensichtliche Leitungseinbauten sprengen.

4) Einige Erfahrungen in Österreich.

In Österreich sind die Voraussetzungen zur Einführung eines allgemeinen Leitungskatasters zwar günstiger als in der BRD, da unser Grenzkataster auf hohem Standard steht, nichtsdestoweniger treffen die Vorwürfe der dortigen Leistungsbetreiber voll zu: kein vollständiges Festpunktfeld, kein vollständiger Zahlenplan, keine vollständigen Koordinatendateien; digitalisierte Operate nur in Modellfällen. Aus VA Unterlagen ist sogar Bebauungsplan korrekt nur mit Aufwand abzuleiten. Erst in jüngster Zeit werden Baulichkeiten in der Katastermappe stärker bewertet. Wo Grenzkatasteroperat vorliegt, ist es nicht in real time abzurufen. In Städten liegen keine wirklich großmaßstäblichen Rahmenstadtkarten vor; Linz scheint durch seine besondere finanzielle Situation am weitesten. Als Prüfstein und Voraussetzung für Leitungskataster mag gelten, daß es in Wien (welches die beste und auch "vermessungsfreundlichste" Bauordnung besitzt) unmöglich ist, allgemeine zweidimensionale (!) Fluchtliniengerippe aufzubauen und verbindlich zu archivieren, obwohl hierbei nur fachverwandte Behörden befaßt sind - und zwar nicht einmal graphisch. Dabei wissen die kommunalen Fachdienststellen um die Notwendigkeit der Leitungsdokumentation, die Initiativen scheitern oft an der Gleichgültigkeit der direkt Betroffenen.

Beispiele hierfür: Die Wiener Stadtvermessung hat seit Beginn des U-Bahnbaues (1972-1977) sämtliche dabei zutagegetretenen Leitungen dreidimensional nach Koordinaten aufgenommen; diese Dokumentation war bei den Betreibern bekannt, wurde aber kein einziges Mal abgerufen.

Die "Heizbetriebe Wien" verpflichteten die ausführenden Firmen, Bestandspläne 1:200 im Landessystem als Teil der Anbotsleistung zu liefern. Die Firmen nehmen aber häufig riesige Pönalesummen auf sich, ehe sie diese Pläne liefern.

Bei einem sehr großen und architektonisch anspruchsvollen Wohnbauprojekt in Wien wurden der koordinierenden städtischen Bauleitung Lageplanmatrizen 1:200 zur Verfügung gestellt, worin die Hochbauten aus Projekt und Naturstand kartiert waren, um die Einbautenverleger jeweils in Arbeitspausen die Leitungen auf idente Punkte einmessen zu lassen. Nach Abschluß aller Arbeiten stellte sich heraus, daß keine einzige Leitung so aufgenommen wurde. Die Schlußpläne mußten aus oberirdischen Einbauten, Erinnerungen von Werkmeistern und betriebsinternen Skizzen erahnt werden.

Andererseits ist die Leitungsdokumentation bei uns wieder teilweise viel weiter fortgeschritten, als man aufgrund der verbreiteten Diskussion annehmen könnte. Woran es wirklich fehlt, ist eben ein allgemeiner Leitungskataster. Bei den einzelnen Betreibern gibt es oft gute Unterlagen. Rohrfernleitungen aller Art werden sowohl in Katastermappenausschnitten als auch im Landessystem (dreidimensionale Koordinaten) vom Betreiber dokumentiert.

In der Stadt Wien werden bei jedem Straßen-, Tiefbau- und Hochbauprojekt die unterirdische Lage der Einbauten in Pläne 1:200 aufgrund obertägiger Merkmale und der Unterlagen der Leitungsdienststellen eingetragen; schwere Einbauten (Hauptkanalstränge, Fernheizleitungen usw.) müssen dabei manchmal koordinativ erfaßt werden. Durch die geeignete Archivierung der Pläne existiert damit bereits ein allgemeiner Leitungskataster, der allerdings als Aufbaukataster aus nicht nachgeführten Inselkarten bei sehr wirtschaftlicher Erstellungsart (problemorientiert) angesehen werden muß.

Die geometrischen Unterlagen der Dienststellen sind von sehr unterschiedlicher Qualität, Maßstab, Aktualität. Verschiedene Betreiber sind nun auf Unterlagen 1:200 übergegangen. Deren Erstellung aus Vorplänen bzw. vereinfachter Naturaufnahme im Landessystem mit Punktverwaltung wird von der Stadtvermessung koordiniert und archiviert.

5) Kostenfragen.

In der BRD wird immer wieder versucht, die Einrichtung des allgemeinen Leitungskatasters anhand mehr oder weniger subjektiver Kosten-Nutzen-Analysen seitens unseres Standes herbeizuführen. Dazu möchte ich zwei Fachkollegen zitieren:

Dieter KRÄMER, Krefeld, Verfasser zahlreicher Veröffentlichungen über selbst eingerichtete Leitungskataster in kleineren Städten: "Zur Einführung eines Leitungskatasters werden mit Sicherheit nicht betriebswirtschaftliche Argumente die Entscheidung herbeiführen".

Hans LARSEN, Professor an der Universität New Brunswick, Kanada: "Der Wert und die Leistung eines Mehrzweckkatastersystems als Reaktion auf die Gemeinschaftsbedürfnisse kann normalerweise nicht mit dem klassischen Wirtschaftsprinzip des freien Marktes ermittelt werden".

Ohne eine notwendige Meinungsvielfalt in Frage stellen zu wollen, befürchte ich für Artikel wie "Kosten und Nutzen eines Leitungskatasters" von W.ROSE, Inhaber eines Vermessungs-Großbetriebes, eine andere als die beabsichtigte Wirkung. Da die meisten Kosten- und Nutzen-Komponenten unkalkulierbar, oft nicht einmal abschätzbar sind, behilft sich der Autor mit sehr geschickten Extrapolationen, beklagt das Fehlen von Unterlagen der Leistungsbetreiber und argumentiert dann in etwa so, daß als Kosten eines Leitungskatasters nur jene für Übermittlung zur Zentrale, zentrale Dokumentation und zentrale Auskünfte gewertet werden, als Nutzen aber jeder erdenkliche Nutzen quantisiert wird. Abgesehen von einem sinnstörenden Druckfehler in der Gegenüberstellung, welche "natürlich" einen Nutzenüberschuß von fast 50% des "Gesamtnutzens" bringt, können die angegriffenen Leitungsträger leicht nachweisen, daß bei den Kosten die Erstellung der topographischen Unterlagen noch deren Vereinheitlichung a priori ausgeklammert sind, weder die

Leitungsaufnahme und Darstellung in speziellen Leitungskatastern noch die technologische und organisatorische Vorbereitung des zentralen Leitungskatasters mitkalkuliert werden. Die größten Anteile am Nutzen sind Einsparungen an Suchschlitzen, ein geschätzter Betrag, welcher seit der letzten Kalkulation des Verfassers von diesem auf ein Drittel des Vorwertes zurückgenommen wurde, sowie der Nutzen der Leitungsträger durch Entfall der Auskünfte - in Höhe der Kosten für zentrale Auskünfte..... Obwohl standespolitisch also nicht unbedingt nützlich, halte ich den Artikel wegen der Vielzahl seiner Überlegungen für äußerst lesenswert.

Die veröffentlichten Kosten für Anlegung von Leitungskatastern sind schwer vergleichbar, da die einzelnen Operate zu sehr differieren, die Kosten nach Längen, Flächen, Wohnblöcken, Einwohnern aufgeschlüsselt sind und auch die Kostenanteile der einzelnen Leitungen sehr unterschiedlich gezeigt werden. Die Originalangaben wurden im folgenden mittels des Index der GOV bzw. der Anfang 1979 gültigen Wechselkurse in ö.S., 1978/79, hochgerechnet. Interessanterweise entsprechen die Tarifsätze der Schweiz und BRD besser als $\pm 10\%$ den österreichischen Ziviltechnikersätzen, auch was die Relation innerhalb der Qualifikationsgruppen entspricht.

Umgelegt auf die Aufnahmelänge kostet 1 hm (100 m) beliebiger Leitungen in Bern (Aufnahme ohne Topographie bis zur Deckfolie) S 2.300,--, in L'Isle-d'Abbeau S 2.200,--, in der BRD Einzelleitung ohne Höhen S 1.600,--, mit Höhen S 2.100,--, mit Ortung S 2.700,--. 100 m Einbautenaufnahme über alle Einbauten hinweg kosten in Bern S 16.000,--, ein vergleichbarer Hektar S 28.000,--.

Je Einwohner waren die Kosten in Moers (Westfalen) S 170,--; für die BRD insgesamt hochgerechnet S 150,-- bis 500,--, für Leipzig nur S 90,--.

In Bern betrug das Hochzeichnen der Topographie aus Unterlagen 11% des Gesamtaufwandes; die Darstellung des Kanals war durch Deckelöffnen usw. mit 26% die aufwendigste Leitung. In Moers (und im wesentlich größeren und modernst geführten Basel ebenso) liegt der Strom mit 30% des Aufwandes voran, gegen 5% Kanal, 4-6% Topographie, aber 20% Darstellung des Straßenoberbaus (Randsteine, Bedeckungen ...), welcher sonst entfällt.

In L'Isle-d'Abbeau ist der Kostenanteil von Kanal und "öffentlicher Beleuchtung" jeweils 31%. Das günstigste Verhältnis von Dokumentations- zu Baukosten liegt beim Kabelfernsehen mit 3%, das ungünstigste bei Wasser und Telephon mit jeweils 9%.

In Bern gab es 1975 2800 Ausrückungen (20 Mann, 4 Busse). Außen-: Innenaufwand wie 1 : 0,72 (in L'Isle-d'Abbeau 1 : 0,33). Als Fortführungskosten werden in der BRD 10-15% der Einrichtungskosten angegeben.

Legen wir nun das bisherige und auch eigene Erfahrungen auf Wien um. Unter der Annahme, die Topographie sei vorhanden (nach Musterarbeiten und Grobkalkulationen zu S 1.000,-- bis 3.000,-- je km) setzen wir 100 m Leitungsdarstellung "über alles" als "Straßenaufnahme 1:200 mittlerer Schwierigkeit, untere Grenze" zu S 10.000,--. In Wien gibt es 2500 km Straßen, die Aufstellung würde zuzüglich zur Topographie 250 Millionen Schillinge kosten, S 160,-- je Einwohner.

Andererseits ergibt eine Grobkalkulation auf dem Aufwand je 100 m Leitung (ohne den Rationalisierungseffekt durch gebündelte Bearbeitung) S 3.000,-- bis 4.000,--. In Wien kostet 1 lf.m Leitung zwischen 1.000,-- und 80.000,--, mit dem Mittelwert 10.000,--; der Anteil Dokumentations- zu Baukosten liegt also im Prozentbereich; in den Villes Nouveaux dürften die Baukosten durch die völlige Neuanlage niedriger sein als bei uns.

Fortführung: In Wien gibt es derzeit 10.000 bis 40.000 Aufgrabungen je Jahr; bei 20.000 je Jahr sind ca. 100 Einsätze je Tag nötig. Wenn eine Partie 5 Einsätze im Tag bestreiten kann, ist der mittlere Bedarf 20 Partien. Nimmt man dies als Mittelwert einer Poissonverteilung, beträgt die Wahrscheinlichkeit, an einem Tag nur 10 Partien zu benötigen, 0,6%; für 20 ... 8%; für 30 Partien je Tag ... 0,7%; dies wäre in etwa der maximal nötige Partiaufwand, der aber durch Abziehen vom Innendienst gedeckt werden kann.

Für die Partiekonfiguration wie in Bern (1 T + 2 F), welche bestimmt das kalkulierbare Minimum mit S 6.000,-- je Tag darstellt, unter Annahme von Außen- zu Innenaufwand wie in Bern von 1 : 0,72, würde die Fortführung ca. 40 Millionen im Jahr (16% der Einrichtungskosten) erfordern.

Umstritten in ihrem Umfang sind die Neubauraten; hier ist von 1% bis 5% jährlich die Rede. Bei 2,5% haben die Leitungen in 10 Jahren 28%, in 20 Jahren 64% Zuwachs bzw. bestehen von den ursprünglichen nur mehr 78% bzw. 60%. Bei 5% liegen die entsprechenden Zahlen bei 63% bzw. 165% Zunahme, bzw. Bestand von 60% bzw. 36% nach 10 bzw. 20 Jahren. Da offensichtlich während der Aufstellung eines neuen Leitungskatasters nicht nur die Technologie der Erfassung und Dokumentation, sondern auch der Bestand selbst unkontrollierbar veralten würden, ist die Notwendigkeit, einen Aufbaukataster zu erstellen, unabdinglich. Gleichermaßen leuchtet ein, daß man wegen 100 Arbeitsplätzen in einer Gebietskörperschaft wie Wien keine Politiker als standespolitische Zugpferde gewinnen kann.

6) Zum Aufbau eines Leitungskatasters.

Vor Beginn müssen unter anderem folgende Gesichtspunkte der Einrichtung eines Leitungskatasters geklärt sein, welche voneinander teilweise abhängig sind:

6.1. Zweck:

- 6.1.1. Nur zur Dokumentation (zur Schadensverhütung usw.).
- 6.1.2. Auch als Bestandsplan für Straßen- und Fluchtlinienprojektierung.
- 6.1.3. Multifunktional (auch für Leitungsberechnung im Netz, Kapazität usw.).

6.2. Umfang:

- 6.2.1. Universell für gesamtes Gebiet.
- 6.2.2. Aufbauverfahren:
 - 6.2.2.1. Vor Bau aus Projektsplänen
 - 6.2.2.2. Nach Leitungsbau
 - 6.2.2.2.a) Bei speziellem Bedarf auf Abruf
 - 6.2.2.2.b) Bei jedem Bauvorhaben

6.3. Grad der Zentralisierung:

- 6.3.1. Zentraldienststelle.
- 6.3.2. Einheitliche Richtlinien.
- 6.3.3. Einheitliche Unterlagen für: a) Bundesgebiet, b) Länder, c) Verwaltungsbezirk, d) Vermessungsbezirk, e) Gemeinde.
- 6.3.4. Dezentraler Leitungskataster bei: a) Stadtplanung, b) Tiefbaudienststelle, c) Vermessungsamt, d) neu zu schaffende zentrale Stelle der Leitungsbetreiber, e) Stadtvermessung, f) EDV Abteilung der Gebietskörperschaft - oder gar bei Versicherung? EDV-Firma?

6.4. Gerippeunterlagen:

- 6.4.1. Topographie vorhanden (Kataster, Stadtkarte).
 - 6.4.1.1. nur analog
 - 6.4.1.2. auch digital (z.B. Zahlenplan mit Koordinatenverzeichnis)
- 6.4.2. Topographie nach Maßstab und/oder Inhalt zu bearbeiten (Leitungseinbauten ober Tage, Charakteristika für Einmessung).
- 6.4.3. Topographie ist neu zu erfassen

6.5. Darstellung der Höhen:

6.5.1. ohne Höhen- bzw. Tiefenlage

6.5.2. mit Höhen

6.5.2.1. absolute Höhenangaben

6.5.2.2. relative Höhenangaben

6.6. Reproduktionsmöglichkeit, Speicherung der Information:

6.6.1. analog

6.6.1.1. einheitlicher Maßstab

6.6.1.1.1. Rahmenkarten

6.6.1.1.2. Inselkarten

6.6.1.2. bebauungsrelevanter Maßstab, leitungsrelevanter Maßstab

6.6.2. digital

6.6.3. Mischformen (analoge Darstellung mit Punktnummern und Aufbau einer Koordinatendatenbank usw.)

6.7. Standard der Leitungserhebung:

6.7.1. aus bestehenden Werkplänen

6.7.1.1. ohne weiteren Indizien

6.7.1.2. mit Hilfe oberirdisch aufgenommener Einbauten

6.7.2. Leitung unter Tag durch Suchgeräte geortet

6.7.3. Aufnahme bei offener Künette

6.7.a) aus Einmeßskizzen durch Anbinden an idente Punkte (Hausecken, Einfahrten usw.)

6.7.b) Koordinatenaufnahme vom Festpunktfeld aus oder durch Transformation in idente Punkte

6.8. Auskunftsbereitschaft, Stand der Nachführung:

6.8.1. Real time, LK ist stets am aktuellen Stand durch laufende Nachführung

6.8.2. Periodische Nachführung, wie bei Grenzkataster, Landesvermessung

6.8.2.1. einheitlicher Maximalrückstand (z.B. ein Jahr),

6.8.2.2. verschieden für Operate

6.9. Zuständigkeit, Verantwortung:

6.9.1.a) Einmessen der Leitungen

6.9.1.b) Eintragen der Leitungen

- 6.9.1.1. durch Dienststellen der Leitungsbetreiber
- 6.9.1.2. durch Vermessungsstelle
 - 6.9.1.2.1. Bundesamt
 - 6.9.1.2.2. Gebietskörperschaft
 - 6.9.1.2.3. Ziviltechniker
- 6.9.2. Aufteilung der a) Verantwortung, b) Kosten für
 - 6.9.2.1. Anlage
 - 6.9.2.2. Fortführung
 - 6.9.2.3. Bauverzögerung durch Einmessen
 - 6.9.2.4. Leitungsschäden

Da weder die technologischen, noch juristischen, noch finanziellen Aspekte derzeit einen zentralen und damit notwendigerweise digitalisierten und interaktiv zu betreibenden Real time-Leitungskataster zulassen, ist eine optimale Strategie zur Vorbereitung eines solchen notwendig. Diese besteht m.E. in juristischer Hinsicht in den drei Dokumentationsstufen der Niederlande (siehe Kapitel 2), in technischer Hinsicht im Weg der Wiener Stadtvermessung: die Leitungsbetreiber sollen so weit gebracht werden, daß sie für ihre internen Unterlagen stufenweise verwenden 1. einheitlichen Maßstab, 2. einheitliche Signaturen und 3. einheitliche Planunterlagen. Somit ist bei allen Betroffenen erforderlich a) Wille zur Vereinheitlichung und b) Wille zur Fortführung.

Die einheitlichen Planunterlagen müssen von der Vermessungsdienststelle beigestellt, die Signaturen sollen von ihr entworfen werden. Diese Arbeiten sind bereits im Gange, wie schon unter 4) erwähnt. Wenn die Leitungsbetreiber derzeit nach ihren internen Vorschriften vorgehen würden, wäre schon viel getan. Jeder von uns sollte darauf achten, daß bei dem ihn ev. betreffenden lokalen Großbauvorhaben eine Einbautendokumentation entsteht - so einfach geht es nie wieder. Sollte dies aus Nachlässigkeit unterlassen werden, geht ein gutes Beispiel für die Anwender verloren - und für uns ein echtes "Projektobjekt".

Damit ist unser Stand bereits koordinierend tätig. Die Unterlagen sollen in Hinblick auf einfache Digitalisierung aufbereitet sein. Bundesweit soll der Zahlenplan vorangetrieben werden, damit das BAfEuV damit den Anspruch auf Führung der Unterlagen dokumentiert. Die Leitungsbetreiber sollen wissen, daß ihnen weder Arbeitsplätze noch Budget genommen wird, sondern ihre beizubehaltende interne Dokumentation auch zentral notwendig ist. Sie können durch inselartige Musteroperate oder auch durch eigene Erfahrung überzeugt werden. Finanzierung und Gesetzgebung werden sich mit dem steigenden Dokumentationsbedürfnis von selbst (von der Gebietskörperschaft her) ergeben, wie jene des Grenzkatasters, Massenverkehrs, Umweltschutzdokumentationen.

Die sich ergebenden Forschungsprobleme hinsichtlich der Organisation, Zeit- und Kostenoptimierung durch beste Strategien bei gegebenen Randbedingungen mittels multipler Korrelationsanalyse, Monte Carlo-Methoden, Graphentheorie sind sicherlich wichtig (hiebei sind uns die Elektrotechniker voraus); aber praktische Arbeiten sind überzeugender.

Verwendete Unterlagen bzw. Auswahl aus einschlägiger Literatur:

- Bericht der Kommission Mehrzweckkataster des SVVK zur Frage des Leitungskatasters. SZ (Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik) 12-77, S 403-408
- CALEK, Dokumentation unterirdischer Leitungen in einigen FIG-Ländern. FIG Kongreß Wiesbaden 1971, Vortrag 606.1
- CHUZEVILLE, Récolement et archivage des réseaux souterrains dans la Ville Nouvelle de L'Isle-d'Abeau. Le Geomètre 2/ 1979, S 24-33
- EICHHORN, Gesetzlich verankerte Einmessungspflicht von Leitungen - eine volkswirtschaftliche Notwendigkeit. ZfV 12/ 1977, S 553-563
- FISCHER, Situation und Perspektiven des Leitungskatasters in der Bundesrepublik Deutschland. FIG Kongreß Stockholm 1977, Vortrag 608.3
- FISCHER, Leitungskataster - Technisches Rahmensollkonzept. ZfV 11/1978, S 516-521
- Hamburger E-Werke, Testanforderungen für ein interaktives Grafisches System (Mitt.durch J.FÜRST 1977)
- HEYNE, Organisation und Planung des Aufbaus des Leitungskatasters der Stadt Leipzig. VT 9/1976, S 328-331
- HEYNE, Verantwortlichkeiten bei Aufbau und Laufendhaltung eines Leitungskatasters. VT 11/1976, S 407-411
- HÖFLINGER, Der Leitungskataster als ein Teil des Mehrzweckkatasters aus der Sicht des Ziviltechnikers. ÖZfV 3/1978, S 118-135
- KLING, Mündliche Mitteilungen 1977, 1979 (MA 41)
- KLOPICINSKI, Leitungskataster und Projektierung unterirdischer Leitungen in Warschau. FIG Kongreß Wiesbaden 1971, Vortrag 606.2
- KÖNIG, Zeit- und Kostenanalyse für Leitungskatasterpläne der Stadt Bern. ZfV 3/1977, S 126-131
- KRÄMER, Die Problematik in der Aufstellung von Straßen- und Leitungskatastern bei den Städten und Versorgungsunternehmen. FIG Kongreß Wiesbaden 1971, Vortrag 606.3
- KRÄMER, Entwurf eines Organisationsmodelles zur Realisierung des Leitungskatasters (Kurzfassung). ZfV 11/78, S 521-525
- KRUG, Das Leitungskataster aus rechtlicher Sicht. ZfV 11/1978, S 538-554

KUGEL, Vermessungswesen bei Versorgungsunternehmen. AVN 8-9/
1977, S 315-320

KUMMER, Die Einführung des Leitungskatasters aus der Sicht der
Versorgungswirtschaft. FIG Kongreß Stockholm 1977, Vortrag
610.1

LARSEN, Mc LAUGHLIN, Economic Criteria for multi-purpose Ca-
dastral Systems Development. FIG Kongreß Stockholm 1977,
Vortrag 702.4

MESSMER, Das Leitungskataster aus der Sicht des Mehrzweckkata-
sters. ZfV 11/1978, S 525-534

MÜLLER-ZERRENTHIN, Großmaßstäbliche Basiskarte als Grundlage
für den Mehrzweckkataster in den Niederlanden. AVN 6/1978,
S 219-222

NEUBERT, Methoden und Geräte zur Ortung vorhandener metalli-
scher Leitungen. ZfV 11/1978, S 508-516

ROSE, Kosten und Nutzen eines Leitungskatasters. ZfV 11/1978,
S 554-569

SCHMIDLIN, MESSMER, Die Automatisierung des Basler Mehrzweck-
katasters. FIG Kongreß Stockholm 1977, Vortrag 608.2

WAGNER, Vermessung im Zusammenhang mit dem Bau von Rohrlei-
tungen. ÖZfV 4/1978, S 174-190

Geowiss. Mitt. 16
1979, 81

KARTOGRAPHIE
FÜR INGENIEURKONSULENTEN

VON

E. Jiresch

(Vortrag gehalten am 17. Juni 1978 im
Rahmen des Kolloquiums der Assistenten
der Studienrichtung Vermessungswesen)

Dipl.Ing. Erich Jiresch, Universitäts-Assistent am Institut für
Kartographie und Reproduktionstechnik der Technischen Universität Wien
1040, Karlsgasse 11

ZUSAMMENFASSUNG

Die Befugnis der Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen umfaßt auch die Ausführung kartographischer Arbeiten. Das 1970 neu geschaffene Institut für Kartographie und Reproduktionstechnik bildet die Studenten des Vermessungswesens einschlägig aus. Es lag daher nahe, zu erheben, in welchem Umfang Kartographie von Ingenieurkonsulenten betrieben wird. Eine diesbezügliche Umfrage zeigt durch die hohe Rücklaufquote von 36 % das große Interesse an, ergab aber auch, daß die tatsächliche Beschäftigung mit kartographischen Arbeiten außerordentlich gering ist.

Aus den Arbeiten des Instituts für Kartographie und Reproduktionstechnik wurden Beispiele von Karten vorgeführt, von denen der Autor meint, daß sie auch von Ingenieurkonsulenten hergestellt werden könnten. Von der geodätischen Grundlage her handelt es sich um 1. Planverwandte Darstellungen mit geringer oder keiner Generalisierung, 2. Eng mit topographischen Karten verbundene Darstellungen und 3. Luftbildkarten. Von der Anwendung her wurde die Auswahl nach 1. Planungskarten, 2. Freizeitkarten und 3. Stadtpläne beschrieben.

Abschließend wurde ein Überblick über den derzeitigen Stand der Ausbildung der Studenten gegeben, die auf den m. E. praktisch in Frage kommenden Bereich der Kartographie, wie er im Vortrag skizziert wurde, ausgerichtet ist.

Der Vortrag erschien in überarbeiteter Fassung in Heft 2 des 67. Jahrganges (1979) der Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie.