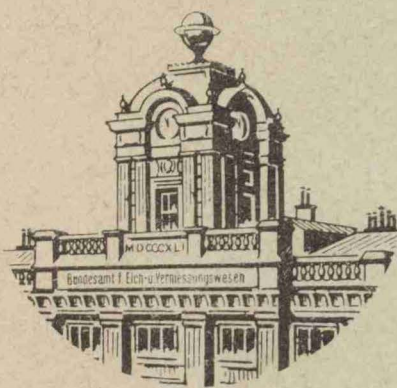


**Sonderheft 30**  
der **Österreichischen Zeitschrift**  
für **Vermessungswesen und Photogrammetrie**

**Aufsuchen oberflächennaher Hohlräume**  
mit dem **Gravimeter**

von

**Bruno Bauer, Innsbruck**



**Herausgeber:**

**Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie**

**Eigentümer und Verleger:**

**Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie**

1080 Wien VIII., Friedrich-Schmidt-Platz 3

**Wien 1975**

# Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie

Friedrich-Schmidt-Platz 3, 1082 Wien

## Sonderhefte zur Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie

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

Bruno Bauer

AUFSUCHEN OBERFLÄCHENNAHER HOHLRÄUME  
MIT DEM GRAVIMETER

Innsbruck, im April 1973

## V O R W O R T

Die vorliegende Arbeit liefert Beiträge zur Theorie und Praxis der Auswertung von gravimetrischen Messungen in der angewandten Geophysik. Entsprechend der Schwerpunktsetzung für Forschungsgebiete wurden an das Institut für Vermessungswesen der Universität Innsbruck mehrfach Aufgabenstellungen dieser Art herangetragen. Neben einer theoretischen Bearbeitung des Problems sind daher auch praktische Anwendungen beigebracht, die zu ihrer fachlichen Unterstützung dienen sollen.

Herrn Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. W. Embacher, Vorstand des Institutes für Vermessungswesen und Photogrammetrie, verdanke ich den Vorschlag für das Arbeitsgebiet, eine großzügige Förderung sowie wertvolle Ratschläge und kritische Hinweise. Ihm gilt mein besonderer Dank.

Zu danken habe ich ferner Herrn Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. F. Brandstatter für zahlreiche Diskussionen und Anregungen.

Zur Durchführung der Schweremessungen wurde das derzeit für den Feldeinsatz optimalste Gerät (LaCoste u. Romberg gravity meter Mod. G) verwendet, das bei kleinsten Abmessungen eine hervorragende Genauigkeit liefert. Anlässlich einer Studienreise nach Austin, Texas zum Herstellerwerk war es mir möglich, mich mit den besonderen Problemen im Zusammenhang mit dem Bau und beim Einsatz der Gravimeter vertraut zu machen. Die dabei gemachten Erfahrungen konnten bei der Vorbereitung und Durchführung dieser Arbeit vorteilhaft genutzt werden.

Die Aufbereitung der Daten sowie kleinere Berechnungen wurden auf einem Nixdorf - Computer (820/15) am Institut für Vermessungswesen durchgeführt.

Alle umfangreicheren Rechenarbeiten konnten am Rechenzentrum der Universität Innsbruck abgewickelt werden; hier stand

eine Anlage der Firma Controldata (3300) zur Verfügung.

Diese Arbeit entstand mit Unterstützung des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Mittel konnten notwendige Eich- und Meßfahrten sowie andere Nebenarbeiten finanziert werden.

Innsbruck, im April 1973

Bruno Bauer

## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
<u>Zusammenfassung</u>	4
<u>Einleitung</u>	6
I. Kapitel	8
<u>Topographische Reduktion</u>	
1. Annäherung der natürlichen Geländeform durch stehende rechteckige Prismen	8
2. Ableitung der Formeln und Darstellung in ALGOL	8
3. Rechenzeit und numerische Verifikation	11
4. Digitales Geländemodell	11
4.1. Erstellung photogrammetrisch	12
4.2. Erstellung durch Einzelpunkte	12
a) verstreute Punkte	
b) Profilaufnahme	
5. Interpolation von Geländehöhen	12
5.1. Spline - Interpolation, mathematische Grundlagen	13
5.2. Anlage eines digitalen Modells durch zweifache Interpolation in annähernd senkrechten Richtungen	14
5.3. Betonung von Geländestufen und Kanten	15
6. Digitales Geländemodell und Rechenanlage	15
6.1. Verwendung eines Hilfsspeichers für das Gesamtmodell; Teilmodell	16
6.2. Berechnung der topographischen Reduktion	16
6.3. Wirkung starker Geländeunregelmäßigkeiten in größerer Entfernung	17
II. Kapitel	20
<u>Der Effekt verschiedener Reduktionsmethoden</u>	
1. Reduktion mit gemessenen Freiluftgradienten	20
1.1. Meßgenauigkeit der Vertikalgradienten	20
1.2. Abhängigkeit vom Gelände	21

	Seite
2. Reduktion mit einem mittleren Vertikalgradienten	22
3. Reduktion nach Bouguer (einfache unendliche Platte)	23
4. Reduktion nach Poincaré - Prey (doppelte Platte)	24
5. Anwendung der Reduktionen an Hand von Beispielen	26
III. Kapitel	28
<u>Ein neues numerisches Verfahren zur Lokalisierung einer Störung</u>	
1. Schwereverteilung und Massenstörung	28
1.1. Schwereprofile	30
1.2. Vergleich mit einer Probekugel	31
1.2.1. Hoch liegende Probemasse	32
1.2.2. Tief liegende Probemasse	33
1.3. Endliche Anzahl und Auswahl von Meßstellen	33
1.4. Approximation der Kurve [PVV]	35
1.4.1. Quadratische Parabel	36
1.4.2. Näherungswert	37
1.4.2.1. Die Krümmung als Indikator	37
1.4.2.2. Eine Iteration zur optimalen Anpassung	39
1.5. Restfehler der homogenen Probierkugel	40
1.5.1. Fehler der topographischen Korrektur	41
1.5.2. Fehler der Plattenreduktion	41
1.5.3. Fehler wegen unterirdischer Dichteunregelmäßigkeiten	41
1.5.4. Fehler wegen abweichender Form von homogener Kugel	42
1.5.5. Fehler wegen endlicher Anzahl der Meßwerte und deren Meßfehler	44
1.6. Art und Stärke der Deformation	45
1.7. Beispiele für theoretische Anordnungen	46
1.7.1. Würfel der Kantenlänge 2 m	46
1.7.2. Stehendes quadratisches Prisma 2 x 2 x 3 m	48

	Seite
1.7.3. Liegendes quadratisches Prisma 2 x 3 x 2 m	48
1.7.4. Liegendes Prisma 2 x 4 x 2 m	48
IV. Kapitel	53
<u>Meßinstrument und Meßmethoden</u>	
1. LaCoste und Romberg Gravimeter	53
1.1. Genauigkeit	53
1.2. Zeitlicher Gang	53
2. Meßmethoden	53
2.1. Profilmessung	54
2.2. Kombinierte Messung von Horizontal- und Vertikalgradienten	54
2.3. Erdgezeiten	55
V. Kapitel	56
<u>Praktische Anwendung der numerischen Lokalisierung</u>	
1. Ermittlung der ungestörten Schwerekurve	56
1.1. Graphische Festlegung des ungestörten Schwerverlaufs	56
1.2. Rechnerische Ermittlung des ungestörten Schwerverlaufs	57
2. Verdichten der gemessenen Schwerewerte	62
2.1. Wahl einer geeigneten Interpolationsfunktion	62
2.2. Aussagekraft des Restfehlers	62
3. Berechnung der Schweredifferenz	63
4. Beispiel zur gravimetrischen Bestimmung der Tiefe und Masse eines Hohlraumes	63
5. Grenzen der Anwendung	64
<u>Literaturverzeichnis</u>	67
<u>Anhang A</u>	69
<u>Anhang B</u>	81



## Z U S A M M E N F A S S U N G

Zur Bestimmung oberflächennaher Massenstörungen - im besonderen von Hohlräumen in Bergbaugebieten - werden mit Vorteil gravimetrische Verfahren angewandt.

Um in stark kuperem Gelände von Abschätzungen der topographischen Reduktion unabhängig zu sein, wurde ein digitales Geländemodell erzeugt und, je nach Genauigkeitsanforderung in der Größe variierend, in rechteckige Prismen zerlegt. Mit Hilfe von Rechenautomaten kann nun der störende Einfluß der Topographie wirtschaftlich berechnet werden (Kapitel I).

Damit wird die Bouguer'sche Reduktion in dieser Hinsicht hypothesenfrei.

Ein Störkörper unbekannter Größe und Tiefe in Oberflächennähe wird zunächst in erster Näherung als Massenpunkt bzw. als homogene Kugel betrachtet. Nun berechnet man für verschiedene Tiefen das Schwereprofil einer Probekugel mit jeweils genau dem Volumen, das notwendig ist, die maximale Störwirkung am Oberflächenpunkt über dem Störzentrum zu erzeugen.

Von allen diesen Tiefen ist jene die wahrscheinlichste, bei welcher die Quadratsumme der Verbesserungen an die gemessenen Werte ein Minimum wird. Der Wert dieses Minimums gibt einen Anhaltspunkt, wie weit die Annahme der homogenen Kugel zu Recht besteht (Kapitel III).

Im Anhang werden Beispiele zur Schwerereduktion und zur Lokalisierung einer Störung gebracht.

## S U M M A R Y

Gravimetric methods can be used advantageously for determining close surface mass perturbations especially in mining districts.

A digital terrain model was set up to be independent from evaluations of the topographic correction in undulating areas. This model was divided in rectangular prisms of various sizes depending on requirements of accuracy. Computers can be used to calculate economically the disturbing influence of topography (chapter I).

Therewith the Bouguer reduction has become non hypothetical in this respect.

In the first approximation a perturbing body of unknown size and depth will be regarded as mass point or homogeneous sphere. The gravity profile for different depths of a test sphere has to be computed that has exactly the same volume that is necessary to produce the maximum perturbing effect at the surface point above the perturbing center.

Of all the depths computed the one is the most probable at which the sum of squares of the corrections become a minimum in relation to the observed anomalies. The rate of this minimum serves as a criterion in how far the assumption of the homogeneous sphere is justified (chapter III).

In the appendix examples are given for gravity corrections and for locating of a mass anomaly.

## E I N L E I T U N G

Bis vor kurzem erfolgte die Auswertung lokaler gravimetrischer Vermessungen in der angewandten Géophysik mehr graphisch und gefühlsmäßig oder numerisch mit Hilfe sehr starker Vereinfachungen, da der Rechenaufwand oft beträchtlich ansteigt, wenn man mehr als eine Schweredifferenz in die Berechnung einbezieht.

Natürlich kann der erfahrene Auswerter aus dem Schaubild der Schwerewerte eine Menge ablesen. Eine hypothesenfreie Berechnung eines Teils der Einflüsse kann jedoch nur von Vorteil sein. Diese gelang unter Einsatz moderner Rechenhilfsmittel, wobei die topographischen Einflüsse automatisch und mit einem erträglichen Aufwand berechnet werden, um in Hinkunft einerseits händische Interpolationen und andererseits ungerechtfertigte Vereinfachungen zu vermeiden. Die Vorgangsweise dabei wird in Kapitel I dargelegt und ein praktischer Ablauf skizziert.

In einem ehemaligen Kohlenbergbaugebiet in Kärnten führte der Verfasser umfangreiche Schweremessungen aus. Es stand somit ein reiches Zahlenmaterial zur Verfügung.

Anknüpfend an frühere Arbeiten konnte meist leicht der Ort einer vermuteten Störung angegeben werden. Die beiden Lagekoordinaten  $(x, y)$  werden jedoch, z.B. bei der Begutachtung der Einsturzgefahr unterirdischer Hohlräume, sehr wesentlich unterstützt durch die dritte Koordinate  $z$ , welche die Tiefe angibt, in welcher der Hohlraum beginnt. Außerdem ist es von großer Wichtigkeit, die Größe desselben bestimmen zu können. Da man wegen der Mannigfaltigkeit der möglichen Massenanordnungen aus Schweremessungen allein nicht mit Sicherheit eine Aussage treffen kann, muß man auf geologisch denkbare Anordnungen einschränken. Gleichzeitig müssen so viele Meßdaten als möglich in die Betrachtung einbezogen werden.

Diese Überlegungen regten den Verfasser dazu an, ein neues numerisches Verfahren zur Lokalisierung eines Störkörpers

zu entwickeln. Dies ist in Kapitel III beschrieben und durch Beispiele in Anhang B belegt.

Die vorliegende Arbeit möchte ein Beitrag und Leitfaden zur praktischen Auswertung genau gemessener Schwereprofile unter Ausnützung zeitgemäßer Möglichkeiten auf dem Gebiet der Meß- und Rechentechnik sein. Es werden alle Grundlagen so weit ausgeführt, daß ein Praktiker mit Sach- und Programmierkenntnis tatsächlich nach der beschriebenen Methode arbeiten kann.

Die aus der praktischen Arbeit mit dem Gravimeter gewonnene Erfahrung hat gezeigt, daß die Auswertemethoden oft deutlich hinter der reinen Meßgenauigkeit nachhinken. Das wird Anlaß sein, sich noch mehr mit den Problemen der Kapitel I und II zu beschäftigen.

## KAPITEL I

### Topographische Reduktion

#### 1. Annäherung der natürlichen Geländeform durch stehende rechteckige Prismen

Zur bis jetzt strengsten Lösung des Problems der Berechnung des Einflusses der topographischen Unregelmäßigkeiten auf eine Schweremessung tragen die Arbeiten K. Maders [2] wesentlich bei. Einfachere Berechnungs- und Auswertemethoden finden wir auch in [1], [17], [18].

Hat man nämlich einmal die Attraktionswirkung eines Prismas mit drei endlichen Kantenlängen durch brauchbare Formeln ausgedrückt, so ist es nur mehr eine Frage der zur Verfügung stehenden Rechenzeit, in wie kleine Kompartimente man ein natürliches Gelände zerlegt, um dem wahren Wert der topographischen Reduktion am nächsten zu kommen.

Alle anderen Methoden, die mit theoretischen Massenlinien und dergleichen operieren, geben sicher hervorragend schnelle und gute Werte für die größere und mittlere Entfernung vom Aufpunkt, werden jedoch mit zunehmender Nähe ihre Schwächen nicht los.

#### 2. Ableitung der Formeln und Darstellung in ALGOL

Die von Mader als "geschlossene Form" der Formeln bezeichnete Schreibweise ist für heutige Rechenhilfsmittel nicht optimal und wird daher wie folgt entwickelt:

Für das Koordinatensystem (ABB. 1) sei das Potential

$$V = k^2 \cdot \sigma \cdot \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{y_1}^{y_2} dy \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (T.1)$$

worin  $k^2$  die Gravitationskonstante ( $k^2 = 66,7 \cdot 10^{-9} \text{g}^{-1} \text{cm}^3 \text{sec}^{-2}$ ) und  $\sigma$  die Dichte des Prismas ( $\sigma = \sigma_0 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$ ) bezeichnen.

Die ersten Ableitungen haben dann bis auf Vertauschungen der Koordinatenachsen die Form:

$$V_x = -k^2 \cdot \sigma \cdot \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{y_1}^{y_2} dy \int_{z_1}^{z_2} \frac{x \cdot dz}{(\sqrt{x^2+y^2+z^2})^3} \quad (T.2)$$

das unbestimmte Integral für die uns interessierende Z - Komponente also:

$$W_z = - \int dx \int dy \int \frac{z dz}{(\sqrt{x^2+y^2+z^2})^3} \quad (T.3)$$

Die Integration nach Z ergibt:

$$W_z = + \int dx \int \frac{dy}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \quad (T.4)$$

was nach (T.1) vorauszusehen war.

Nach der bekannten Formel

$$\int \frac{du}{\sqrt{u^2+v^2+w^2}} = \ln(u + \sqrt{u^2+v^2+w^2})$$

folgt nach Y integriert:

$$W_z = \int dx \cdot \ln(y + \sqrt{x^2+y^2+z^2}) \quad (T.5)$$

hier hilft die partielle Integration

$$W_z = x \cdot \ln(y + \sqrt{x^2+y^2+z^2}) - \int \frac{x^2 \cdot dx}{(y + \sqrt{x^2+y^2+z^2}) \cdot \sqrt{x^2+y^2+z^2}}$$

mit der Substitution  $x = y^2 + z^2 \cdot \tan^2 \varphi$   
gilt bei uns

$$Wz = x \cdot \ln(y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) + y \cdot \ln(x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) - z \cdot \arctan \frac{x \cdot y}{z \cdot \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (T.6)$$

Nun führen wir die bestimmten Grenzen ein und bezeichnen mit  $i, j, k$  die Indizes derselben:

$$Vz = \sum_{i,j,k=1}^2 (-1)^{i+j+k} \cdot x_i \cdot \ln(y_j + \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}) + y_j \cdot \ln(x_i + \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}) - z_k \cdot \arctan \frac{x_i \cdot y_j}{z_k \cdot \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}} \quad (T.7)$$

abkürzend läßt sich die Wurzel als Raumstrecke zwischen Aufpunkt und jeweiligem Prismeneck  $(i, j, k)$  einführen als

$$S_{i,j,k} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

und erspart im Programm die dreimalige Berechnung.

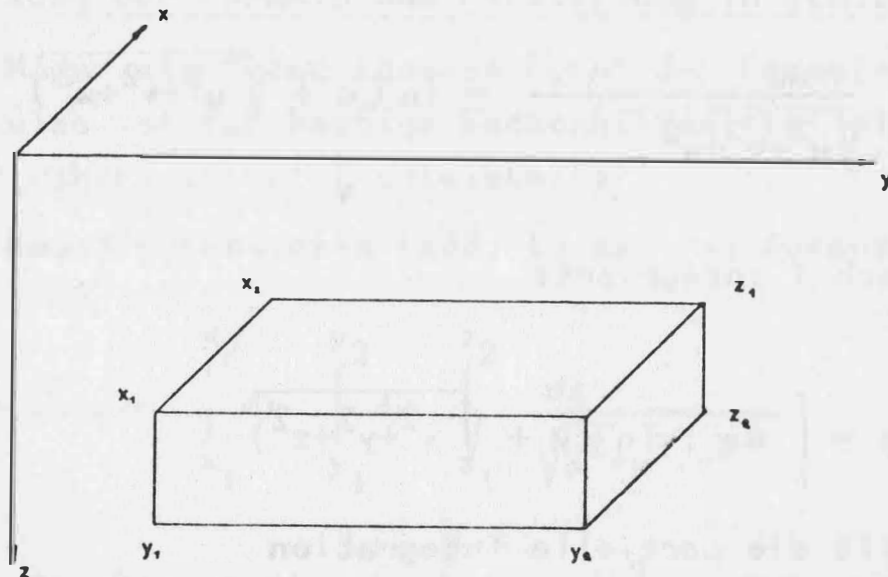


ABB. 1

Koordinatensystem

Als Funktionsprozedur (ALGOL) kann man dann wie in [16] schreiben:

$$S. = \text{SQRT} (X*X+Y*Y+Z*Z)..,$$

$$VZ. = X * \text{LN} (Y+S) + Y * \text{LN} (X+S) - Z * \text{ARCTAN} (X*Y/Z/S)..,$$

und erhält

$$\begin{aligned} G. = & VZ (X_2, Y_2, Z_2) - VZ (X_2, Y_2, Z_1) - VZ (X_2, Y_1, Z_2) - \\ & - VZ (X_1, Y_2, Z_2) + VZ (X_2, Y_1, Z_1) + VZ (X_1, Y_2, Z_1) + \\ & + VZ (X_1, Y_1, Z_2) - VZ (X_1, Y_1, Z_1).. \end{aligned}$$

### 3. Rechenzeit und numerische Verifikation

Diese komprimierte Form ermöglicht es, die Attraktion eines beliebig geformten Prismas für alle Aufpunkte mit einem minimalen Aufwand zu berechnen. Bei Versuchsläufen mit Schleifen von 1000 solcher Berechnungen wurde ein mittlerer Wert von 0.054 sec für ein Prisma festgestellt, sodaß auch eine sehr kleine Zerlegung von zu berechnenden Körpern praktisch möglich ist.

Zur numerischen Verifikation wird der Erdkörper (als Kugel vom Radius 6370 km) in quadratische Prismen der Kantenlängen 1000 km, 250 km und 100 km zerlegt. Mit der mittleren Dichte 5.5 ergeben sich die Werte:

$$964.684, 977.879 \text{ und } 978.707 \text{ gal};$$

Wird die Attraktion der Kugel mit denselben Daten als Massenpunkt berechnet, so ergibt sich 978.851, welcher Wert auch bei fortschreitend kleinerer Zerlegung in Prismen erreicht werden wird.

(Die quadratische Interpolation liefert den etwas zu hohen Wert 978.924)

### 4. Digitales Geländemodell

Nun bedarf es noch eines digitalen Geländemodells, wie es schon früher für solche Zwecke eingeführt, jedoch meist immer noch von Hand erstellt worden war.

(Vgl. dazu auch H. Watermann [6] : Ein "absolutes" System



mittlerer Geländehöhen als Voraussetzung für eine rationelle Berechnung topographischer Reduktionen)

Man kann es grundsätzlich auf zwei Arten erhalten:

4.1. Kontinuierliche (kurzschnittige) Abtastung eines photogrammetrischen Modells

4.2. Punktweise Erstellung durch a) wahllos verstreute Punkte  
b) besonders ausgewählte Punkte.

ad 4.1. Erstellung photogrammetrisch

Die Photogrammetrie wird in Zukunft sehr günstig zu verwenden sein, wird ihre volle Leistung in dieser Anwendungsform jedoch nur bei großmaßstäblichen Spezialflügen erreichen, da sonst die einzelnen elektronisch registrierten Höhen zu große Kompartimente repräsentieren müssen und die Berechnung der topographischen Reduktion daraus zu ungenau würde.

ad 4.2. Erstellung durch Einzelpunkte

Vor allem für kleinere Einsätze wird man das Gelände punktweise erfassen müssen.

Im Fall a) sind irgendwelche unregelmäßigen Geländeformen ohne zusätzliche Gefühlsarbeit des mathematischen Auswerters kaum zu beschreiben. Besonderheiten des Geländes (Stufen, Kanten, Kuppen) können praktisch nicht erfaßt werden, wenn man das Wesen der Methode, zufällig verteilte Höhenpunkte in mäßiger Anzahl heranzuziehen, nicht in Frage stellen will.

Im Fall b) kommen vor allem Profilaufnahmen in Frage, wobei man sich mit Vorteil gleich der gravimetrischen Meßpunkte bedienen kann, die ja zumindest in ihrer nachbarlichen Höhendifferenz bestens bekannt und in der Regel in einem gleichmäßigen Abstand vom Boden angelegt werden. Außerdem hat man den Vorteil, daß gerade in unmittelbarer Nähe der Punkte das Gelände sehr gut approximiert wird, das ja in der Gravimetrie am interessantesten ist.

5. Interpolation von Geländehöhen

Nun muß zwischen den einzelnen Höhenangaben, die noch in

verschiedenen Entfernungen vorliegen, so interpoliert werden, daß jede interpolierte Höhe mit großer Wahrscheinlichkeit die tatsächliche Höhe des Geländepunktes an dieser Stelle darstellt.

### 5.1. Spline - Interpolation, mathematische Grundlagen

Dazu wurde das Verfahren der Spline - Interpolation verwendet, das stetige Kurven sowie stetige erste und zweite Ableitungen liefert. Es treten also weder Sprünge noch Knicke noch sprunghafte Krümmungsänderungen (wie im Korbogen) auf. Die dritten Ableitungen sind in der Regel unstetig, was jedoch der Geländeapproximation keinen Abbruch tut.

Aus den Forderungen an unsere gesuchte Funktion  $F_s(x)$  für die zu interpolierenden Höhen  $H_i$ :

- 1)  $F_s(x_i) = H_i$  d.h.  $F_s(x)$  nehme an den Stützstellen genau die Stützwerte an,
- 2)  $F_s(x)$  sei zweimal stetig differenzierbar,
- 3) Unter allen solchen Funktionen sei  $F_s$  jene mit der minimalen Krümmung,  
d.h.

$$\int_{x_0}^{x_n} F_s''(x)^2 \cdot dx \leq \int_{x_0}^{x_n} F_m''(x)^2 \cdot dx \quad (T.9)$$

folgt, daß  $F_s(x)$  in jedem Intervall  $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ , das ist zwischen zwei Stützstellen, ein Polynom dritten Grades sein wird.

Dieses hat die Form:

$$P_i(x) = a_i + b_i(x-x_i) + c_i(x-x_i)^2 + d_i(x-x_i)^3 \quad (T.10)$$

Unter Beachtung der Forderungen 1)2)3) lassen sich die Koeffizienten mit

$$L = x_{i+1} - x_i$$

bestimmen aus:

$$1) \quad a_i = H_i$$

$$2) \quad b_i = \frac{a_{i+1} - a_i}{L_i} - \frac{2c_i + c_{i+1}}{3} \cdot L_i$$

$$3) \quad d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3L_i}$$

(T.11)

$$4) \quad L_{i-1} \cdot c_{i-1} + 2(L_{i-1} + L_i) \cdot c_i + L_i \cdot c_{i+1} = \\ = 3 \left[ \frac{a_{i+1} - a_i}{L_i} - \frac{a_i - a_{i-1}}{L_{i-1}} \right]$$

$$5) \quad c_0 = c_n = 0,$$

wobei aus den Gleichungen 1,4,5 die  $c_i$  ermittelt werden müssen, um sie in 2 und 3 einzusetzen.

### 5.2. Anlage eines digitalen Modells durch zweifache Interpolation in annähernd senkrechten Richtungen

Haben wir die Koeffizienten für alle Strecken zwischen unseren Meßpunkten auf diese Art berechnet, können leicht bestimmte Punkte (z.B. in der Profilgeraden liegende Punkte mit einem regelmäßigen Abstand in der x-Richtung) eingeschaltet werden. Liegen mehrere Profile nebeneinander (annähernd parallel) vor, so können dann entsprechende Punkte auf einer Koordinatenachsparallelen in derselben Art verbunden werden und liefern so ein, den Erfordernissen entsprechendes, aus quadratischen oder rechteckigen Elementen aufgebautes, digitales Geländemodell.

In der Praxis werden auch die topographischen Reduktionen für die Randprofile zu berechnen sein, was es nötig macht, je ein weiteres Höhenprofil vor dem ersten und nach dem letzten anzuschließen, das wenigstens ungefähr den weiteren Verlauf des Geländes bringen soll. Dabei kommt uns die Krümmungsfeindlichkeit der Spline-Interpolation entgegen, die unser Modell möglichst wenig gewellt der Natur meist sehr gut anpaßt.

Genauso werden wir an den Enden der gravimetrischen Profile selbst verfahren und in größerer Entfernung mindestens je

einen Punkt zum Auspendeln zusätzlich der Höhe nach bestimmen.

### 5.3. Betonung von Geländestufen und Kanten

Manchmal kann sich der Vorteil der minimalen Krümmung auch in einen Nachteil verwandeln, und zwar dann, wenn in der Natur tatsächlich Kanten und Stufen auftreten.

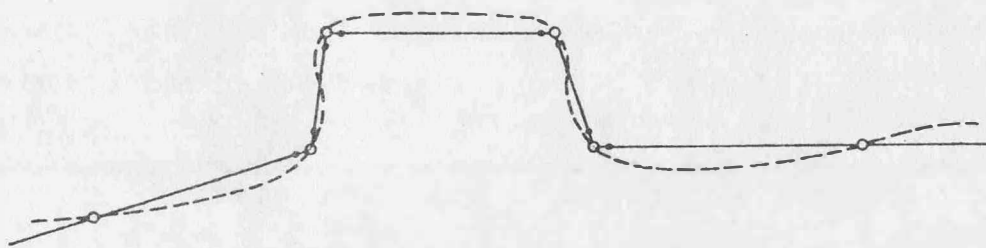


ABB. 2

Approximationsfehler der Spline - Interpolation  
an Geländekanten

Um in diesen Fällen ein sanftes, gewelltes Verbiegen zu vermeiden (strichlierte Linie in ABB. 2), muß man entweder automatisch vom Programm durch Kennziffern oder durch händische Einschaltung an den entsprechenden Stellen nahe vor und nach dem gemessenen Knickpunkt je einen Punkt in die Raumstrecke zum nächstliegenden Punkt einrechnen. Hier wird dann selbst die Spline - Funktion eine rasche Richtungsänderung machen müssen, um nach den eingeschalteten Punkten in der Krümmung nahtlos in die wieder flacheren Teile übergehen zu können. Als brauchbare Distanz kann hier der Erfahrungswert von 0.1 m angegeben werden, der auch beim eventuellen Ausstanzen der Höhen auf mm - Genauigkeit noch die gewünschte Wirkung bringt.

### 6. Digitales Geländemodell und Rechenanlage

Reicht die Speicherkapazität eines Rechenautomaten aus, so ist es angebracht, alle Höhenangaben des digitalen Modells zu berechnen und im zentralen Speicher zum schnellen Zugriff bereitzuhalten.

### 6.1. Verwendung eines Hilfsspeichers für das Gesamtmodell; Teilmodell

Für größere Modelle wird dies jedoch nicht möglich sein, weshalb man als schnellen Hilfsspeicher vorteilhafterweise eine Magnetplatte verwenden wird. Notfalls kann auch ein Magnetband als Datenträger dienen, wenn auch die Zugriffszeiten beim wiederholten Einlesen von bestimmten Blöcken bedeutend höher liegen werden.

Auf der Platte ist es günstig, das Modell so anzulegen, daß jeweils eine Zeile in der Richtung der geringeren Ausdehnung desselben einen logischen Block darstellt.

Bei der Berechnung der topographischen Wirkung für einen bestimmten Aufpunkt wird man dann jeweils die größtmögliche quadratische Matrix von je  $2n + 1$  Elementen aus dem Gesamtmodell auswählen und in den Arbeitsspeicher des Rechners (Kernspeicher) einlesen.

### 6.2. Berechnung der topographischen Reduktion

Als Richtung des Fortschreitens bei der Berechnung wird eine spiralähnliche Kurve verwendet, die vom Aufpunkt weg bis in jene Entfernung geht, in der die Wirkung des Geländes unter einer festzusetzenden Schranke liegt.

Wenn man als Kriterium des Abbruchs den Wert eines einzigen Prismas wählt, so kann dieser schon in ganz geringer Entfernung sehr klein werden, bald danach wegen eines steileren Anstiegs oder Abfalls aber wieder einen nicht vernachlässigbaren Betrag erhalten. Man wird daher mit Vorteil jeweils einen "Ring" um den Aufpunkt legen, der in der Summe eine bessere Aussagefähigkeit besitzt und nicht durch kleine Geländeteile, die in Aufpunkthöhe liegen, sofort unter die gewählte Schranke abfällt. Da es viel zu mühsam und rechenintensiv wäre, als solchen "Ring" tatsächlich einen Kreis zu verwenden - man müßte bei vorgegebenem Radius für alle  $0 \leq y < 400$  abfragen, ob der Diagonalschnittpunkt eines Geländeelementes noch innerhalb dieses Kreises liegt - wählt man ein rechteckiges (quadratisches) Fortschreiten, das kaum unnütze Rechenzeit verschlingt.

Im übrigen vereinfacht es die Berechnung und ist genauso streng, wenn man am Ende eines Rechtecks noch ein Element dazurechnet, sodaß man danach sofort in der um  $100^{\circ}$  gedrehten Richtung weitergehen kann.

Das Berechnungssystem läßt sich also darstellen:

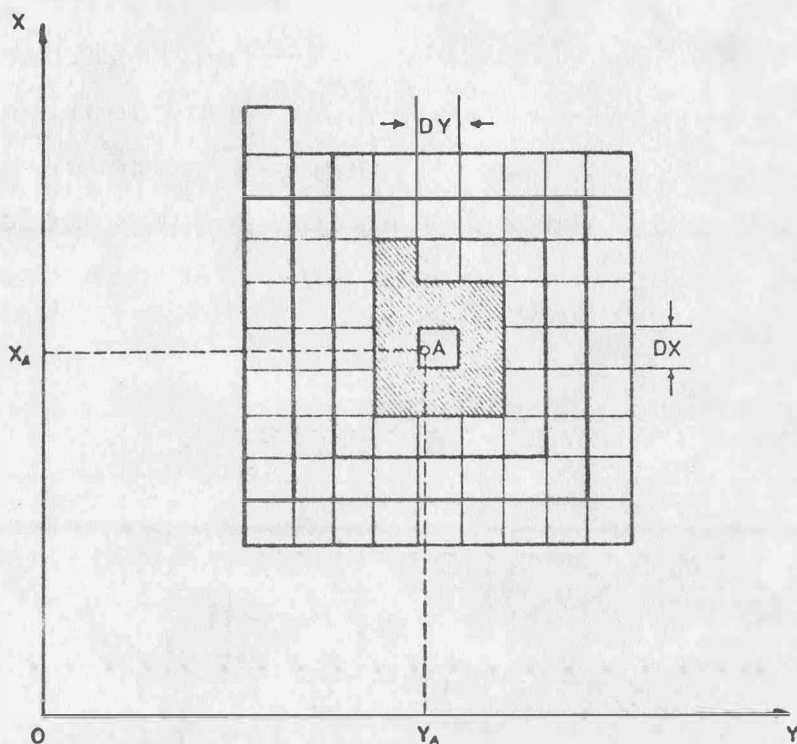


ABB. 3

Spiralenartiges Fortschreiten bei der Berechnung der Topographie

Will man Fehler vermeiden, die aus der maschineninternen Zahlendarstellung resultieren, so wird man die Wirkungen der einzelnen Kreise vorerst in einem eigens dafür geschaffenen Feld abstellen und erst nach Eintreten der Abbruchsbedingung von hinten her (bei den anzunehmenderweise kleinsten Werten beginnend) bis zum innersten Kreis summieren.

### 6.3. Wirkung starker Geländeunregelmäßigkeiten in größerer Entfernung

Da auch durch die Anlage der Berechnung in dieser Form noch nicht sichergestellt ist, daß die auf eine sanfte

Neigung folgenden, plötzlichen Höhenänderungen (Steilstufen) in ihrer Wirkung erfaßt werden, wurde dafür eine Abschätzung vorgesehen.

Diese erfolgt dermaßen, daß an den letzten ( $n$ -ten) Kreis je 12 Rechtecke (Quadrate bei  $dx = dy$ ) angeschlossen werden, die mit einer gemittelten Höhe auch noch entferntere Unebenheiten erfassen. Ist diese Abfrage positiv, d.h. ist der Wert der Fernwirkung größer als eine festzusetzende Schranke, so erfolgt - entgegen der ursprünglichen Abbruchsbedingung - eine Berechnung von weiteren  $n$  Kreisen, obwohl der Wert des letzten ( $n$ -ten) schon unbedeutend war. Die Abschätzung der Fernwirkung wird man nachher sofort wiederholen.

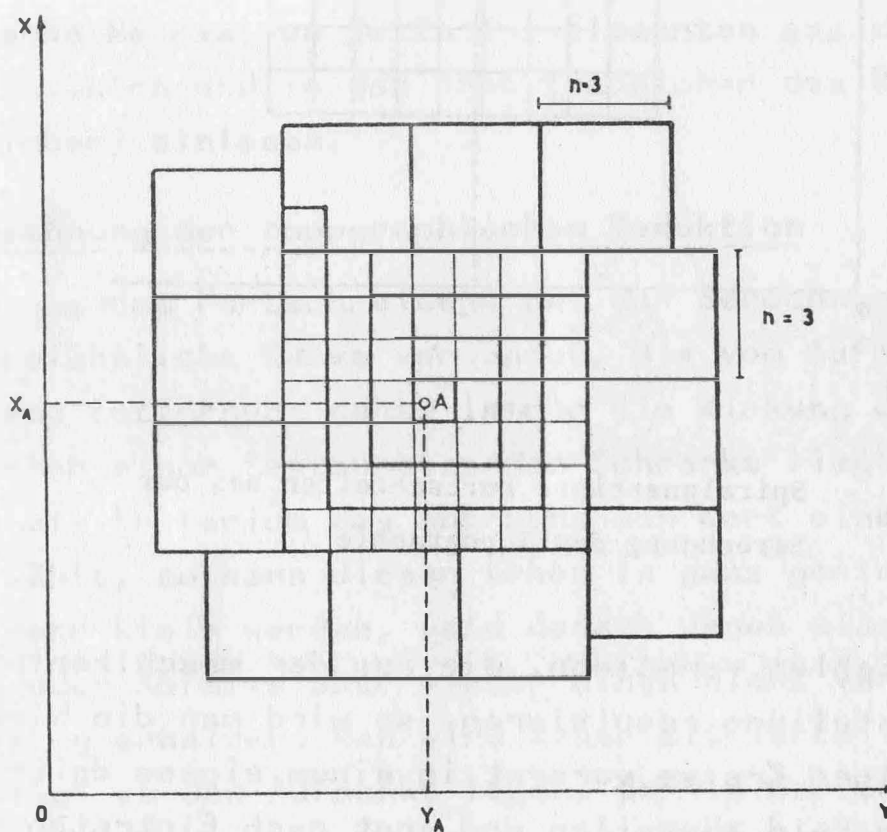


ABB. 4

Berechnung der Fernwirkung nach erfüllter Abbruchbedingung

Trotzdem hier eine nicht direkt verwertbare Berechnung vorgenommen wird, kann man dieses Verfahren bei größtmöglicher Strenge als sehr schnell bezeichnen, da der

Aufruf von zahlreichen Standardfunktionen in der Formel für die Anziehung eines Prismas doch einige Zeit beansprucht, was besonders bei den auftretenden sehr großen und unterschiedlichen Argumenten ins Gewicht fällt. Wollte man jedesmal eine von Anfang an bestimmte Anzahl von Modellelementen ohne Rücksicht auf die Geländeverhältnisse durchrechnen, so würde in sehr vielen Fällen ein großer Teil der Werte unnütz, d.h. ohne Beitrag zum Endergebnis, berechnet werden. Dies wären aber sicher in Summe mehr als die jeweils 12 Berechnungen für die Fernwirkung.



## KAPITEL II

### Der Effekt verschiedener Reduktionsmethoden

Um Schweremessungen an verschiedenen Punkten eines geneigten oder unebenen Meßgebietes gemeinsam betrachten zu können, muß man sie auf ein gemeinsames System beziehen. Üblicherweise wird als solches jeweils eine Fläche gleicher Höhe verwendet, wobei dahingestellt sei, wie dieselbe definiert sein soll. In unseren begrenzten Arbeitsgebieten bei der Auffindung oberflächennaher Hohlräume oder ganz allgemein kleinräumiger Störungen ergibt sich niemals eine meßbare Differenz zwischen verschieden definierten Höhen, sofern man von Parallelverschiebungen des Bezugsniveaus absieht.

Der Sinn jeder Reduktion von Schwerewerten liegt also in der rechnerischen Ermittlung von praktisch nicht meßbaren Werten in einer einzigen Höhenlage, wobei auch Massen verschoben werden können.

Zur Veranschaulichung werden diese Werte in Kurven dargestellt.

#### 1. Reduktion mit gemessenen Freiluftgradienten

Als erstes bietet sich die Reduktion mit dem gemessenen (wirklichen) Freiluftgradienten an, der als Differenzenquotient zwischen den Höhenlagen 0.1 m (Höhe der Gravimetermasse) und etwa 1.5 m (Stativ) über dem Boden repräsentativ für eine Höhe von etwa 0.8 m sein dürfte, also zumeist recht gut in die tatsächliche Reduktionsstrecke hineinfällt.

Aus den mit (R.1) erhaltenen Kurven kann man vor allem zweierlei entnehmen:

##### 1.1. Meßgenauigkeit der Vertikalgradienten

Bei der Verwendung verschiedener Horizonte, 1) über allen Meßpunkten, 2) in einer mittleren Höhenlage, sodaß einige Meßpunkte oberhalb, andere schon unterhalb liegen und 3) auch tiefer als alle Oberflächenpunkte, kann festgestellt werden, daß eine deutliche Beruhigung der Kurven eintritt, wenn die Reduktionshöhen gering sind.

Aus der Formel

$$G \text{ RED.} = G \text{ GEM} - (VH_i - H \text{ GEM}) * VG \text{ GEM} \quad (R.1)$$

ergibt sich nach dem Differenzieren sofort, daß ein Fehler im Vertikalgradienten mit wachsendem  $(VH - H \text{ GEM})$ , d.i. der Reduktionsweg, immer stärker in den reduzierten Wert ein- geht, während der Fehler des gemessenen Schwerewertes davon unabhängig ist (die nivellierten Höhen werden zunächst als fehlerfrei angesehen). Man darf also annehmen, daß die Vertikalgradienten der Schwere mit Fehlern behaftet waren, \*) die geeignet sind, pro 1.5 m Reduktionsstrecke einen Fehler im reduzierten Wert von beunruhigenden 0.02 mgal zu erzeugen, was mit anderen Worten heißt, daß die schlechtesten Gradienten mit einer Genauigkeit von etwa 4.4% bestimmt waren. Da aber weit über 200 Messungen durchgeführt wurden, darf mit statistischer Berechtigung angenommen werden, daß der relative mittlere Fehler einer Bestimmung nicht über 1.5% liegt. Das haben auch Wiederholungsmessungen bestätigt.

### 1.2. Abhängigkeit vom Gelände

Besonders starke, fast ungläubwürdige Ausschläge zeigt die Kurve der reduzierten Schwerewerte \*) bei der Überquerung des etwa 1 m hohen Straßendamms. Davon ausgehend kann auch sonst überall ein Zusammenhang zwischen Maxima der Kurve und Geländekuppen und umgekehrt entdeckt werden. Ein so großer Dichteunterschied, wie er zur Erklärung der etwa 0.1 mgal über der Straße notwendig wäre, ist dadurch eher unwahrscheinlich.

Die Abhängigkeit wird verständlich, wenn man bedenkt, daß man in einem gedachten Horizont (Ebene oder Kugel, d.h. Nivcaufläche ohne Störung) über dem Gelände (VH) zu messen scheint und klarerweise alle noch so kleinen Erhebungen über dem diesem Horizont parallelen, höchstmöglichen, völlig unter der Erdoberfläche liegenden Horizont (HH) genauso wie die eigentlich gesuchten Massenstörungen wirken. Da sie

\*) siehe Anhang A

obendrein den Meßpunkten noch näher liegen als diese und daher relativ stärker wirken, verfälschen sie das Bild zum Teil bis zur Sinnlosigkeit (ABB. 5).

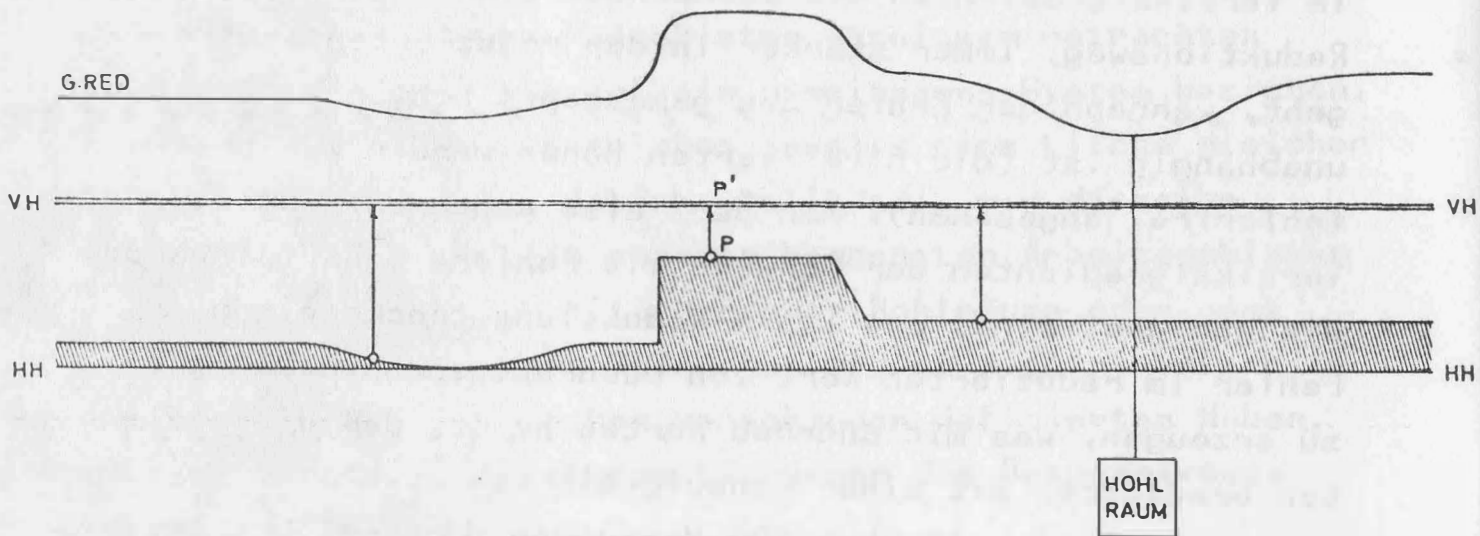


ABB. 5

'Topographische' Reduktion mit Freiluftgradienten

## 2. Reduktion mit einem mittleren Vertikalgradienten (Freiluftgradienten)

Man kann hier ein Mittel aus allen tatsächlich gemessenen Gradienten oder den Wert des normalen Gradienten heranziehen (VG Mi). Bei beiden wird sich jedoch der Effekt nicht sehr voneinander unterscheiden, da wiederum die schon vorher beschriebene Abhängigkeit vom Gelände sehr groß ist.

Qualitativ gilt wieder ABB. 5.

Für die Verwendung eines mittleren Gradienten wird man dann eintreten, wenn die tatsächlich gemessenen so große mittlere Fehler aufweisen, daß sie das Bild der reduzierten Kurven unnötig auszacken.

Man berechnet:

$$G \text{ RED.} = G \text{ GEM} - (VH - H \text{ GEM}) * VG \text{ Mi} \quad (R.2)$$

und erhält wiederum reduzierte Werte, die von der Theorie her bis auf den Fehler in der Annahme eines auf allen Meß-

punkten und in allen Höhenlagen konstanten Vertikalgradienten die tatsächlichen Meßwerte in einer Niveaufläche darstellen.

### 3. Reduktion nach Bouguer (einfache unendliche Platte)

Die Attraktion einer unendlichen Platte ist

$$K = 2 \pi k^2 \sigma \cdot d \quad (R.3)$$

wobei  $k^2$  die Attraktionskonstante,  $\sigma$  die Dichte und  $d$  die Dicke der Platte bezeichnen.

Der reduzierte Schwerewert wird erhalten aus:

$$G \text{ RED.} = G \text{ GEM} - (VH - H \text{ GEM}) * (VG \text{ Mi} - K \text{ BOU}) \quad (R.4)$$

wobei

$$K \text{ BOU.} = 2 * \pi * k^2 * \sigma$$

die Anziehung einer Platte der Stärke 1 darstellt.

Die Reduktion mittels einer einfachen unendlichen Platte der Dicke  $d = \Delta H_{\text{red}}$ , d. i. der Abstand vom Meßpunkt bis zur Vergleichsebene, bringt in annähernd ebenem Gelände eine theoretische Einebnung auf die Höhe dieses Vergleichshorizontes (VH). Dabei ist es in der angewandten Geophysik egal, wohin die Massen über dem VH bzw. woher die Massen für die Auffüllung der Hohlräume unter dem VH kommen. Sollten sich diese nicht ausgleichen, so wird wohl künstlich das Potential der Gesamterde verändert, was jedoch für Zwecke der Lagerstättenforschung im lokalen Bereich keine Rolle spielt.

Nach Durchführung der Bouguer'schen Reduktion haben wir die theoretischen Schwerewerte vorliegen, die erhalten würden, wenn vor der Messung alle sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten beseitigt würden (ARB. 6). Daß wir bei der Rechnung in den meisten Fällen eine konstante Dichte in der Erdkruste annehmen, ist in der Praxis selbstverständlich, sofern nicht besonders markante, sichtbare Differenzen zutage treten, da die Berücksichtigung derselben einen unverhältnismäßigen

Mehraufwand nötig macht, im Endeffekt aber kaum einen Einfluß auf das Resultat hat.

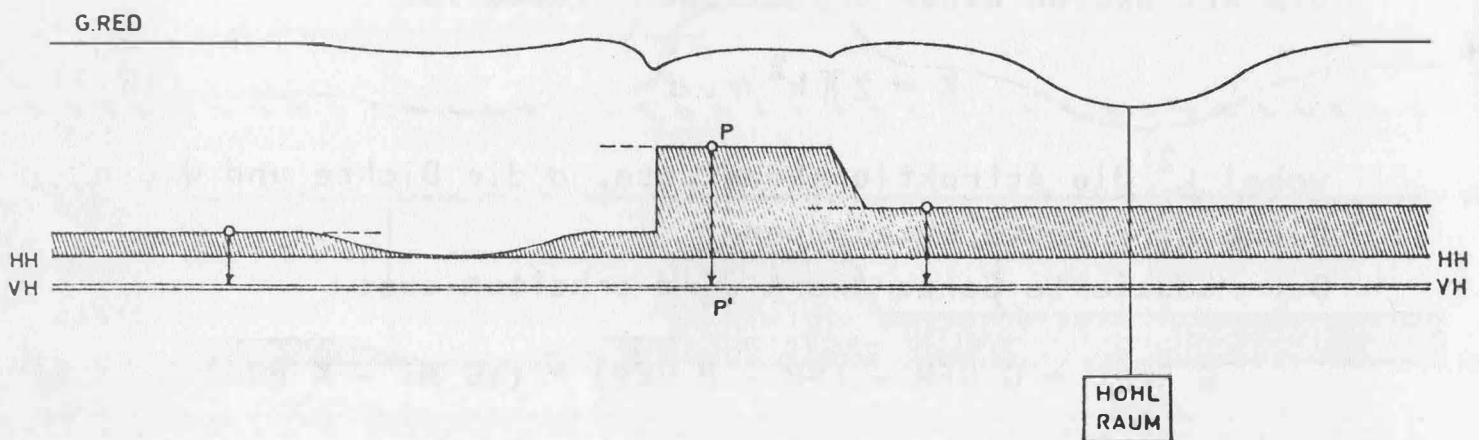


ABB. 6

'Topographische' Reduktion nach Bouguer

4. Reduktion nach Poincare - Prey (doppelte Platte)

Wenn wir vor der Reduktion des gemessenen Schwerewertes mit dem Freiluftgradienten (wie in 1.u.2.) die Massen unter dem Standpunkt entfernen (mit Hilfe der Approximation durch eine unendliche horizontale Platte) und nach erfolgter Reduktion zur Erhaltung des Gesamtpotentials der Erde eine ebenso dicke Platte wieder über dem Vergleichshorizont aufsetzen, haben wir bis auf Fehler durch die Annahme eines horizontalen Geländes und eines konstanten Vertikalgradienten den tatsächlichen Schwerewert im projizierten Punkt  $P'$  des Vergleichshorizontes gefunden.

Genauso wie in den Fällen 1. und 2. spielt hier also die Oberflächengestalt unter Umständen eine weit größere Rolle als die unterirdischen Massenstörungen.

Es ist also dieses Verfahren der Reduktion für Zwecke der angewandten Geophysik ebenfalls nicht brauchbar.

Die Berechnung erfolgt nach der Formel

$$G \text{ RED.} = G \text{ GEM} - (VH - H \text{ GEM}) * (VG \text{ Mi} - 2 * K \text{ BOU}) \quad (\text{R.5})$$

wobei dieselben Vereinbarungen wie unter 3. gelten.

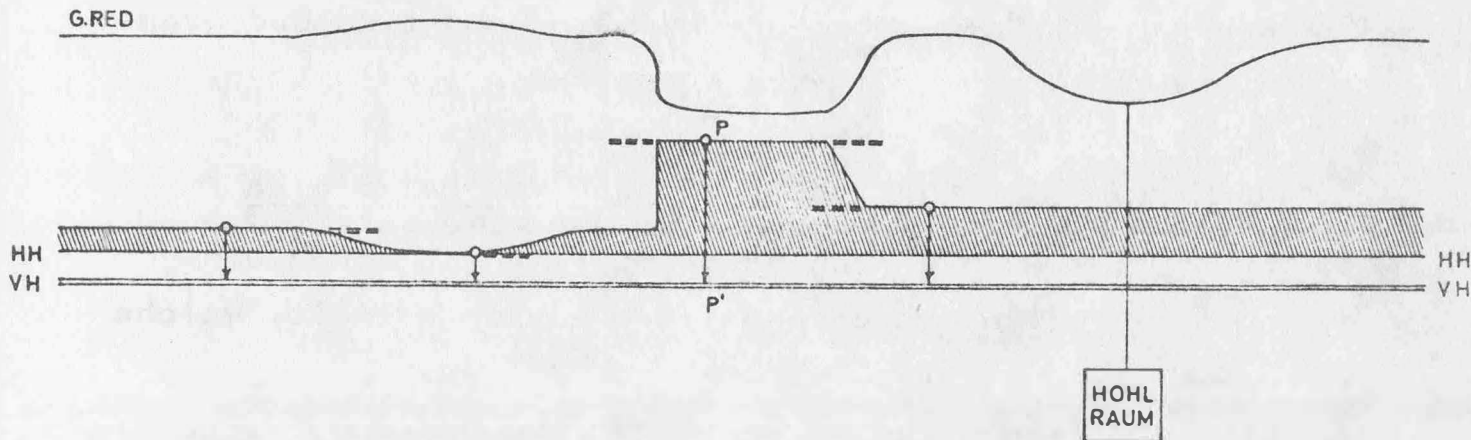


ABB. 7

'Topographische' Reduktion nach Poincare - Prey

In ABB. 6 sehen wir, daß nur geringe Einflüsse der Topographie spürbar werden. Diese kann man durch Berechnung der topographischen Reduktion im lokalen Meßbereich theoretisch vollkommen eliminieren, weil damit zuerst die später verlangte Ebene im Meßpunkt hergestellt und danach mit der fugenlos passenden Bouguer'schen Platte bis zum gewünschten Horizont gerechnet wird.

In großen Meßgebieten, bei denen großräumig nicht mehr mit der ebenen Platte gearbeitet werden könnte, weil die Erdkrümmung schon eine bedeutende Abhebung derselben von der Niveaufläche des Standpunktes bewirken würde, braucht man dennoch nicht zu einer sphärischen Scheibe zu greifen, da die Fehlereinflüsse für alle Profilpunkte nahezu gleich oder zumindest innerhalb der heute erreichbaren gravimetrischen Meßgenauigkeit unbedeutend sind.

Wir sehen also, daß in den reduzierten Schwerewerten nur mehr die unsichtbaren Massenstörungen, die wir ja suchen,

zur Wirkung kommen, was beweist, daß einzig und allein die einfache Bouguer'sche Platte zur Schwerereduktion für Zwecke der angewandten Geophysik sinnvoll ist.

Die Bemerkung K. Jung's in [7], S. 73, daß "die Bouguer'sche Reduktion fast immer ausreicht", kann demnach nur so verstanden werden, daß nur noch eine Verfeinerung eben dieser Methode mit Hilfe der topographischen Reduktion und eventuell durch variable Dichten vorgenommen werden kann.

### 5. Anwendung der Reduktionen an Hand von Beispielen

Im Anhang A sind die Berechnungen und graphischen Darstellungen zweier Schwereprofile zusammengestellt, welche die beschriebenen Effekte recht gut zeigen.

Auf den Tabellen Seite ff sind die Reduktionen nach allen beschriebenen Verfahren ausgeführt worden. An die reduzierten Schwerewerte wurde danach die topographische Reduktion angebracht. Diese ergab für die meisten Punkte im flachen Teil Werte unter der Meßgenauigkeit. An den Flanken des Straßendamms und in dessen Mitte waren die Reduktionen jedoch merklich. Für den Dammkörper wurde eine größere Dichte ( $\Delta\sigma = + 0.2 \text{ g. cm}^{-3}$ ) angenommen und in den Schaubildern berücksichtigt. So ergaben sich im Profil 1 (Strecke I) einige Minima, die auf Hohlräume oder lockeren Unterbau schließen ließen. Diese wurden rechnerisch untersucht und die Ergebnisse fanden durch nachfolgende Bohrungen eine glaubwürdige Bestätigung.

Das Profil 2 (Strecke II) lieferte keine einzige seriöse Verdachtstelle, obwohl die Meßgenauigkeit, wie aus dem ruhigen Linienverlauf zu ersehen ist, ganz beträchtlich ist. Die beiden positiven Zacken in der Mitte und am rechten Ende sind ohne Zweifel ein Hinweis auf eine größere Bodenverdichtung durch den Straßenbau als ursprünglich angenommen. Der Anstieg der Kurven und die geringfügige Krümmung über die gesamte Länge sind auf regionale Störungen zurückzuführen.

Die sehr hohe erreichbare Genauigkeit der Schweremessung kann man besonders aus dem dritten Profil entlang des Straßendamms entnehmen. Hier konnte durch Hin- und Rückmessung auf stabilen Aufstellpunkten ein mittlerer Fehler von weniger als 0.003 mgal erreicht werden.

Der starke Anstieg der ausnehmend geraden Kurve zeugt von der starken Überhöhung und ist in einer großräumigen Störung (tiefes, mit leichtem Material gefülltes Tal) begründet.



### KAPITEL III

## Ein neues numerisches Verfahren zur Lokalisierung einer Störung

### 1. Schwereverteilung und Massenstörung

Nachdem wir die gemessenen Schwerewerte bezüglich Gang und Gezeitenwirkung korrigiert und topographisch sowie nach Bouguer reduziert haben, wird das Schaubild eine mehr oder weniger systematisch gezackte Linie sein, die der auswertende Ingenieur eventuell noch durch interpolierte Werte ergänzen muß. Dabei können, nach Aufwand sehr verschieden, einfache Polynome oder moderne statistische Prädiktionsverfahren angewendet werden. Im Einzelfall wird unter Umständen auch eine rein graphische Methode genügen. Für die weitere numerische Behandlung wird eine Glättung der Schwerekurven unerläßlich sein.

Ebenso muß man den Einfluß von regionalen Störungen beseitigen.

Sehen wir nun bei der Suche nach oberflächennahen Hohlräumen jedes Minimum und den unmittelbar angrenzenden Bereich als Bild eines Schwereprofils über einer kugelförmigen Störmasse an, dann kann man alle Abweichungen vom berechenbaren Idealbild so wie zufällige Fehler betrachten.

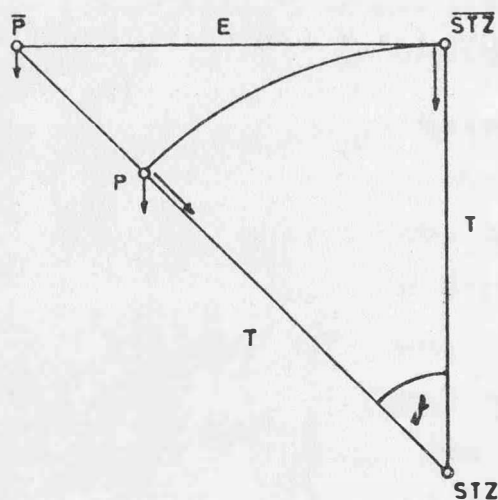
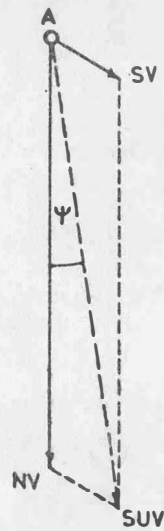


ABB. 8

Attraktionswirkung einer kugelförmigen Störung



SV : STÖRVEKTOR  
 NV : NORMALFELDVEKTOR  
 SUV: SUMMENVEKTOR  
 Ψ : LOTSTÖRUNG

ABB. 9

Überlagerung einer seitlichen Störung  
 und der Normalschwere

Im Punkt  $\overline{STZ}$  wirkt die theoretische Störmasse wie

$$V_z(\overline{STZ}) = \frac{k^2 \cdot \sigma \cdot V}{T^2} \quad (L.1a)$$

wobei  $k^2$  die Gravitationskonstante,  $\sigma$  die Dichte und  $V$  das Volumen der homogenen Kugel bezeichnen, also  $\sigma \cdot V$  die Masse darstellt.

Wir wollen diese Attraktion  $V_z(\overline{STZ})$  genau über dem Störzentrum, die je nach dem Vorzeichen von  $\sigma$  positiv oder negativ sein kann, in Hinkunft mit  $\Delta g_{\max}$  bezeichnen. Dieser Wert soll entstehen aus gestörter (tatsächlicher) Schwere minus ungestörter (theoretischer) Schwere nach Wegnahme der gesuchten Störung.

Analog dazu sind die  $\Delta g_i$  die entsprechenden Differenzen in der horizontalen Entfernung  $E_i$  vom Oberflächenstörzentrum  $\overline{STZ}$ .

In einem Punkt  $P$  in der gleichen Entfernung vom Störzentrum, jedoch in der Zenitdistanz  $\vartheta$  tritt die gleiche Kraft auf. Bei der Überlagerung des vergleichsweise großen Normalfeldes der Erde (vektorielle Zusammensetzung) wirkt die Störung in der  $Z$ -Richtung wie

$$V_z(P) = \Delta g(\overline{STZ}) \cdot \cos \vartheta = \Delta g_{\max} \cdot \cos \vartheta \quad (L.1b)$$

was sich aus ABB. 8 und 9 leicht ersehen läßt.

In dem um den Betrag  $\sqrt{E^2 + T^2} - T$  vom Massenpunkt entfernteren Punkt  $\bar{P}$  wirkt eine entsprechend geringere Kraft, die sich ausdrücken läßt wie:

$$V_z(\bar{P}) = \frac{k^2 \cdot \sigma \cdot V}{E^2 + T^2} \cdot \cos \vartheta = \Delta g \quad (\text{L.2})$$

wobei

$$\tan \vartheta = \frac{E}{T}, \quad \text{also} \quad \vartheta = \arctan \frac{E}{T} \quad (\text{L.3})$$

Nach dem Einsetzen von  $\vartheta$  haben wir eine Gleichung für die beiden Unbekannten T und V vorliegen, sofern wir  $\sigma$  als bekannt (und konstant) vorausgesetzt haben.

### 1.1. Schwereprofile

Ein Schwereprofil besteht aus mehreren Punkten, in Verdachtsgebieten werden wir sogar noch verdichtende Messungen einschalten. Es liegen also im meßbaren Bereich einer Störung mehrere Angaben für  $\Delta g$  (bzw.  $V_z$ ) vor. Da aber nur zwei nötig wären, das Problem streng zu lösen, können wir die überschüssigen Messungen zu einem Ausgleich heranziehen. Alle Verbesserungen von  $\Delta g$  lassen sich schreiben wie:

$$v_{\Delta g} = \frac{k^2 \cdot \sigma \cdot V}{E^2 + T^2} \cdot \cos \vartheta - \Delta g' \quad (\text{L.4})$$

wenn  $\Delta g'$  die gemessene, örtliche Schwereanomalie bezeichnet. Für die weiteren Überlegungen wollen wir voraussetzen, daß wir eine unbegrenzte Anzahl von  $\Delta g_i$  für alle möglichen Entfernungen  $E_i$  vorliegen haben.

Wir wollen annehmen, daß die Masse des gesuchten Körpers in jeder Tiefe gerade so groß sein soll, daß sie in der Entfernung  $E=0$ , das ist an der Stelle des Maximums der Anomalie, gerade den Wert  $\Delta g_{\max}$  ergibt.

In die Gleichung (L.2) eingesetzt ergibt sich dann also (für  $\vartheta = 0$  und  $E = 0$ )

$$V = \frac{T^2 \cdot \Delta g \max}{k^2 \cdot \sigma} \quad (L.5)$$

als das Volumen der angenommenen Kugel in Abhängigkeit von ihrer variablen Tiefe T.

Nun können wir wieder in (L.4) einsetzen und erhalten

$$v_{\Delta g} = \frac{T^2 \cdot \Delta g \max}{E^2 + T^2} \cdot \cos \vartheta - \Delta g' \quad (L.6)$$

Wir wollen festsetzen, daß die Vorzeichen von  $\Delta g$  und  $\sigma$  das Vorzeichen der gesuchten Tiefe (positiv nach unten) ergeben, also unsere Z-Achse nach unten zeigt. Ein verschiedenes Vorzeichen von  $\Delta g \max$  und  $\sigma$  kann nach (L.5) nur im nicht reellen Fall eines negativen Volumens auftreten, was praktisch wieder einem umzukehrenden Vorzeichen der Dichte entspricht.

Will man auf der Basis von Meereshöhen arbeiten, braucht man das Vorzeichen von T nur beim Ergebnis umzukehren und erhält einen Höhenunterschied.

### 1.2. Vergleich mit einer Probekugel

Wenn wir nun für eine sehr große Anzahl von Tiefen T den Wert [PVV] berechnen, in unserem Fall bei gleich genauen Messungen und  $P = 1$  also [VV], lautet die strenge Forderung:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{T^2 \cdot \Delta g \max}{E^2 + T^2} \cdot \cos \vartheta - \Delta g' \right]^2 \cdot dE \Rightarrow \text{Min} \quad (L.7)$$

Zur numerischen Auswertung des Integrals können wir die Quadratsumme der Verbesserungen als eine Funktion der Tiefe ansetzen, also

$$[VV] = F(T) \quad (L.8)$$

Stellen wir die Funktion als Kurve dar, so werden die Tiefen ( $T$ ) als Abszissen und die Quadratsummen der Verbesserungen ( $[VV]$ ) als Ordinaten aufzutragen sein.

Bei einer theoretischen Schwerekurve, die aus der  $Z$ -Komponente einer unterirdischen homogenen Kugel (Massenpunkt) in der Tiefe  $T_0$  entstanden ist, werden für die Tiefe  $T=T_0$  alle Verbesserungen verschwinden, also wird auch  $[VV] = 0$  sein. Bei gegebenen Kurven mit Meßfehlern und Gestaltsfehlern - d.h. Abweichungen von der postulierten Form der homogenen Kugel - wird  $[VV]$  an dieser Stelle ein Minimum werden.

#### 1.2.1. Hoch liegende Probemasse

Bewegen wir den Kugelmittelpunkt der Probemasse nach oben, sodaß am Ende  $T=T_0$ , so werden die notwendigen Verbesserungen an die Meßkurve vor allem am Rande anwachsen, es wird also die Summe der  $VV$  ebenfalls größer werden.

Da das Maximum den gleichen Scheitel haben muß wie die Meßkurve, müssen wir eine immer kleiner werdende Masse verwenden, die Vergleichskurve wird also steil ansteigen und abfallen (siehe ABB. 10,  $T=T_1$ ). Steigt die homogene Probekugel bis zu ihrer Berührung mit der Oberfläche, so wird die kleinste Masse notwendig sein, das erforderliche  $\Delta g_{\max}$  zu erzeugen, der Anstieg und Abfall wird sich in einem sehr schmalen Bereich um die Ordinatenachse befinden, wenn wir von der Störungstiefe auf die Halbwertsbreite schließen [7]. Danach wäre der theoretische Fall zu betrachten, daß das Volumen wieder wächst, wenn die homogene Kugel (Radius  $R$ ) die Erdoberfläche durchstößt und sogar unendlich groß werden muß, um genau ein  $\Delta g_{\max}$  zu bewirken, wenn der Kugelmittelpunkt die Oberfläche erreicht.

Die Schwerekurve entartet also zu einer Geraden, die in der ( $Y = \Delta g$ ) Achse bei  $E=0$  liegt und vom Ursprung bis zum Punkt  $\Delta g_{\max}$  reicht (ABB. 10,  $T=T_0$ ).

Da hier alle Verbesserungen gleich den  $-\Delta g_i$  sein müssen, liegt ein Maximum der  $[VV]$  vor. Zwischen diesem Maximum bei  $T=0$  und dem Minimum bei  $T=T_0$  muß ein Wendepunkt der



jedoch vor allem dahingehend negativ auf unsere Arbeit auswirkt, daß die beiden Wendepunkte näher zusammenrücken können.

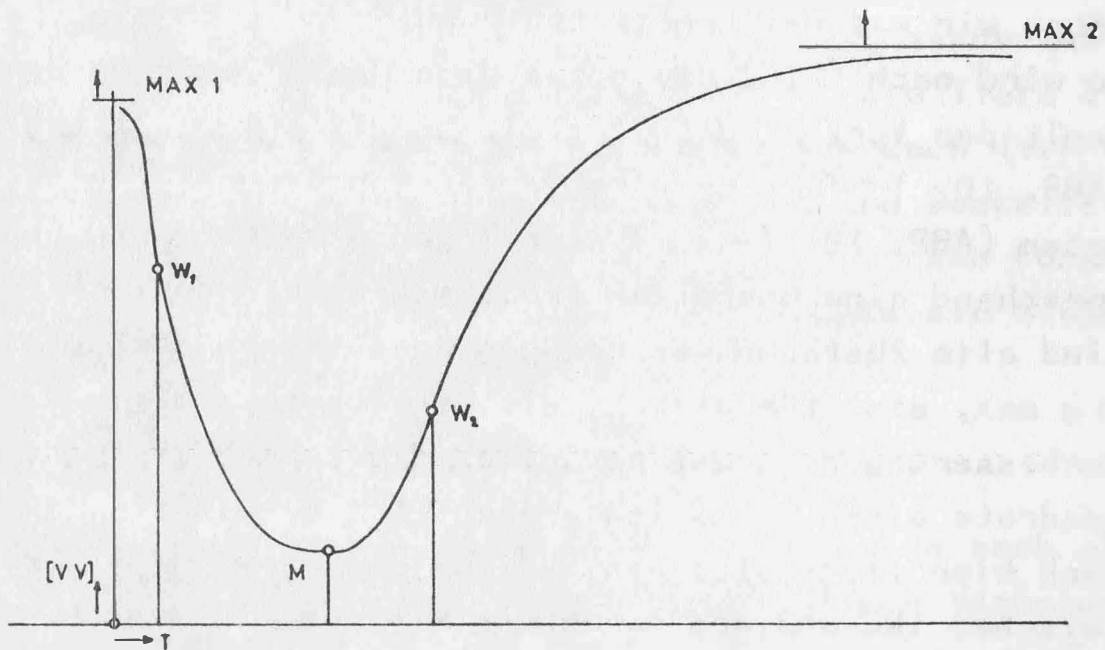


ABB. 11

Tiefenfunktion bei unendlicher Anzahl der Messungen

Es kann hier natürlich kein allgemeines Gesetz über die Form für alle möglichen Punktauswahlen angegeben werden; die Deformationen in größerer Entfernung von  $T_0$  können aber ganz beträchtlich sein.

Aus mannigfachen Modellrechnungen und aus theoretischen Überlegungen heraus kann folgendes gesagt werden:

- 1) Die Werte  $\Delta g_i$  sollen jedenfalls bis in eine solche Entfernung  $E_i$  vom Maximum erfaßt werden, daß der Wendepunkt der Schwerekurve deutlich überschritten ist, also einer weiteren Zunahme von  $E$  eine geringere Abnahme von  $\Delta g$  als vorher entspricht.
- 2) Die Punkte sollen so dicht wie nötig angelegt werden, um die charakteristischen Stellen gut herauszubekommen, vor allem also die Verflachung in der Nähe des Maximums, die Gegend um den Wendepunkt und den Verlauf im letzten Teil der Kurve (Endtangente).

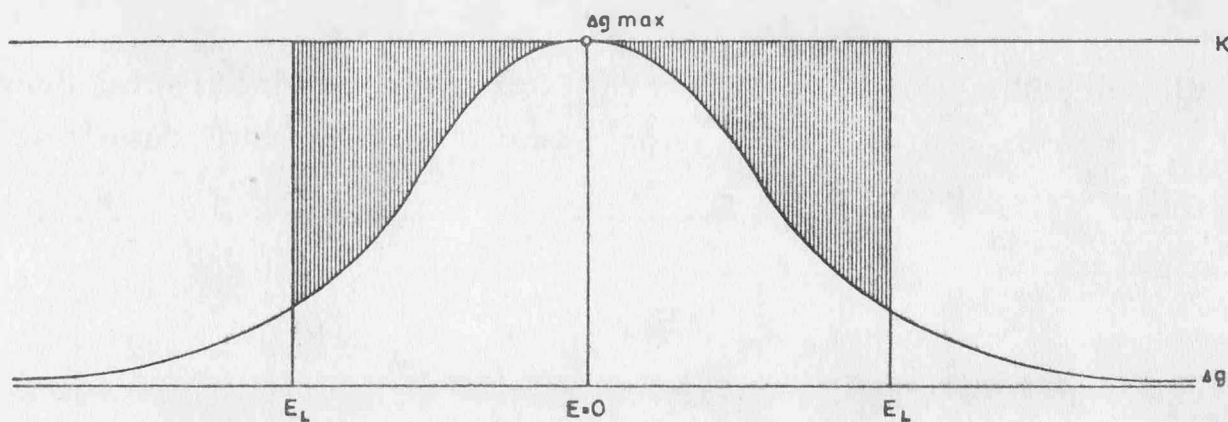


ABB. 12

Wenn wir in der Entfernung  $E = E_L$  den letzten Wert einer dichten Reihe von  $\Delta g_i$  herausgreifen, so stehen uns zur Bildung der  $[VV]$  nur die Werte  $E$  von 0 bis  $E_L$  zur Verfügung. Das rechte Maximum resultiert dann nur aus den Verbesserungen im begrenzten schraffierten Teil oberhalb von  $\Delta g$  (ABB. 12).

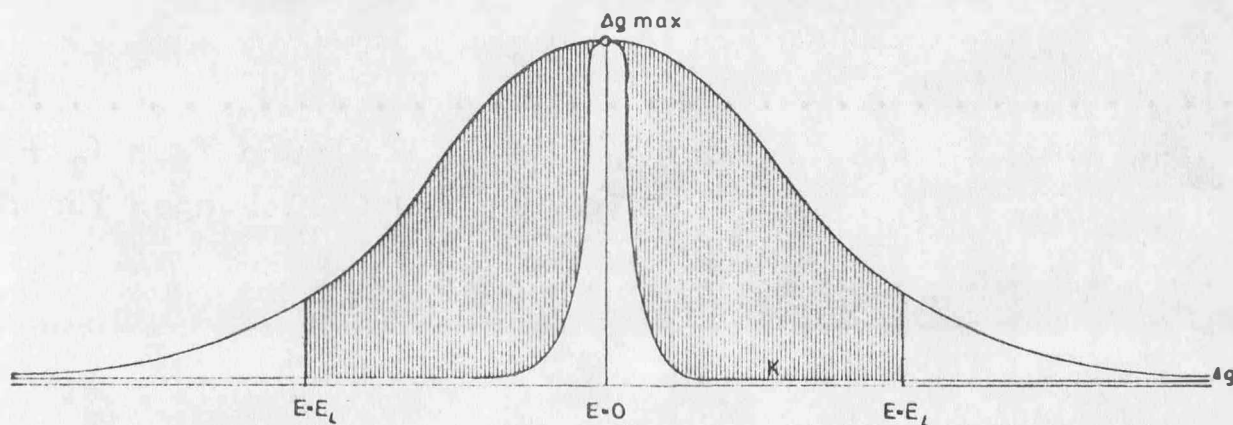


ABB. 13

Ähnlich liegt der Fall beim linken Maximum, wo der zwar schmale, dennoch unendlich weit ausdehnbare Bereich zwischen den Kurven  $\Delta g$  und  $K$  wegfällt (ABB. 13).

Die in der Praxis auftretende Kurve wird daher prinzipiell die in ABB. 14 skizzierte Form haben.

#### 1.4. Approximation der Kurve $[PVV]$

Da uns für die Lösung der gestellten Aufgabe nur das Minimum der  $[VV]$  interessiert, das wir bei der Tiefe  $T_0$  finden, werden wir versuchen, den Teil der Kurve durch eine passende Funktion



anzunähern. Günstig scheint hierzu die quadratische Parabel, die trotz einfachem Bildungsgesetz den Verlauf daselbst recht gut approximiert.

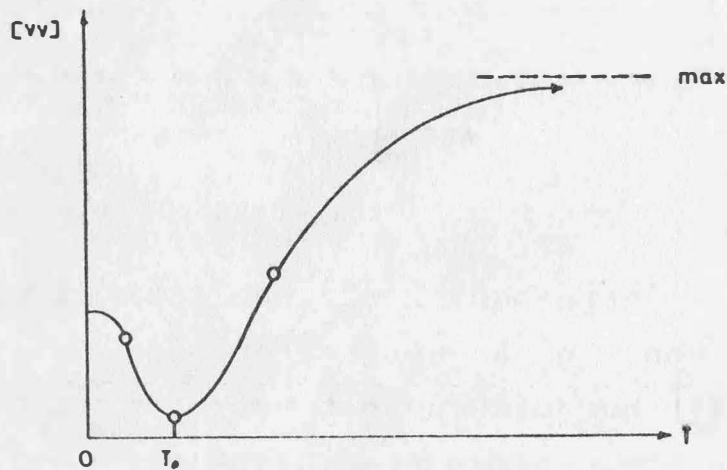


ABB. 14

#### 1.4.1. Quadratische Parabel

Wenn wir für drei Tiefen  $T_1$ ,  $T_2 = T_1 + DT$  und  $T_3 = T_2 + DT$  die Werte  $[VV]$  berechnen, können wir 3 Gleichungen für die Koeffizienten der Parabel aufstellen.

Es ist

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

in unserem Fall

$$[VV] = A \cdot T^2 + B \cdot T + C \quad (L.9)$$

Die Koeffizientenmatrix hat die Form:

$T_1^2$	$T_1$	1	$[VV]_1$	(L.10)
$T_2^2$	$T_2$	1	$[VV]_2$	
$T_3^2$	$T_3$	1	$[VV]_3$	

Eine notwendige, jedoch nur im Bereich zwischen  $W_1$  und  $W_2$  hinreichende Bedingung für ein Minimum ist eine horizontale Tangente.

Es muß also gelten:

$$T_0 = - \frac{B}{2A} \quad (L.11)$$

Diesen Vorgang kann man wiederholt durchführen und daraus  $T_0$ , besonders wenn man die Unterschiede  $T_2 - T_1$  und  $T_3 - T_2$  genügend klein gewählt hat, mit sehr guter Genauigkeit erhalten. Bei Rechenanlagen mit einer festen Kommaausstattung ist dabei jedoch Vorsicht geboten, da durch Rundungsfehler starke Verzerrungen der Kurve [VV] entstehen können und damit sehr schlecht passende Parabeln berechnet werden. Durch Veränderung des Maßstabs der Ordinaten kann man sich aber meist leicht behelfen.

#### 1.4.2. Näherungswert

Als schwierig erweist sich in manchen Fällen das Festsetzen des ersten Näherungswertes  $T_a$  und der Nachbarwerte  $T_a - DT$  und  $T_a + DT$ .

Ist man zu weit von  $T_0$  entfernt (außerhalb der beiden Wendepunkte), so wird durch 3 Punkte der Kurve [VV] eine nach unten hohle Parabel und bei Iteration eines der beiden Maxima erhalten.

##### 1.4.2.1. Die Krümmung als Indikator

Will man hier ein händisches Probieren vermeiden, wird man zuerst die Krümmung (als zweiten Differenzenquotienten) auf ihr Vorzeichen abfragen, und bei einem negativen Wert links vom linken Wendepunkt als nächste Näherung ein  $T_b = T_a + DT$  wählen, umgekehrt auch rechts vom rechten Wendepunkt  $T_b = T_a - DT$ .

Es muß gelten: a) bei

$$\begin{aligned} [VV]_2 &< [VV]_1 \\ [VV]_1 - [VV]_2 &> [VV]_2 - [VV]_3 \end{aligned} \quad (L.12)$$

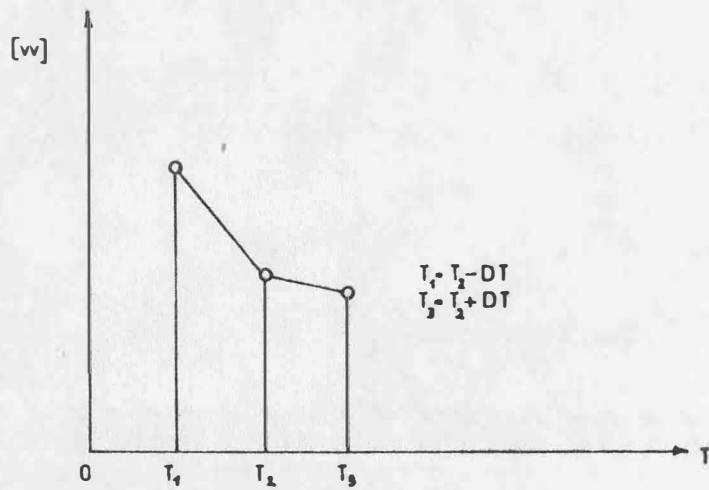


ABB. 15

b) bei

$$[vv]_2 > [vv]_1$$

$$[vv]_3 - [vv]_2 > [vv]_2 - [vv]_1 \quad (L.13)$$

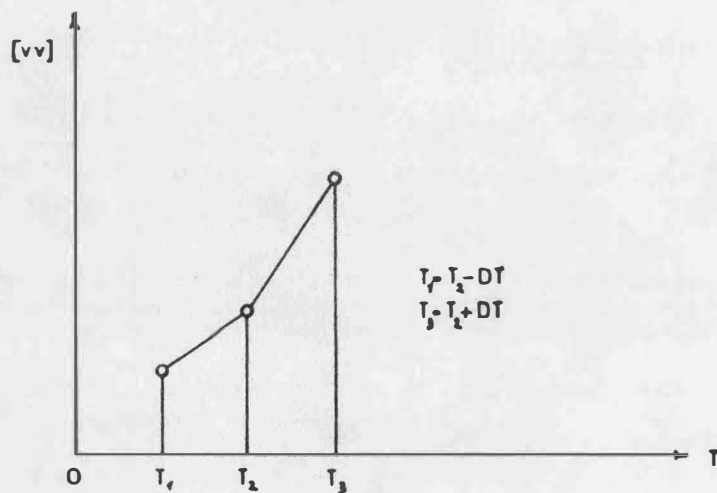


ABB. 16

was sich auch umkehren läßt und dann dasselbe wie vorher aussagt.

Ist die Ungleichung (L.12) nicht erfüllt, wird man ein unbrauchbares Resultat voraussehen und

im Fall a) T größer wählen

b) T kleiner wählen.

Da man den mindestens notwendigen Betrag nicht kennt, der die drei benachbarten Punkte  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  aus den gefährlichen

Randzonen in den sinnvoll iterationsfähigen Mittelbereich bringt, wird man einfach um den Betrag  $DT$  verschieben. Es ist allerdings der Bereich nahe den Wendepunkten in seinen Krümmungsverhältnissen von einer um das Minimum passenden Parabel so stark verschieden, daß eine zu weitreichende Extrapolation wieder völlig sinnlose Ergebnisse bringen kann.

#### 1.4.2.2. Eine Iteration zur optimalen Anpassung

Der sicherste Weg zur Feststellung des Minimums der zunächst allein qualitativ bekannten Kurve ist wohl der, daß man in verhältnismäßig großen, äquidistanten Schritten  $T$  von 0 weg größer werden läßt, bis der Wert  $[VV]$  nicht mehr abnimmt.

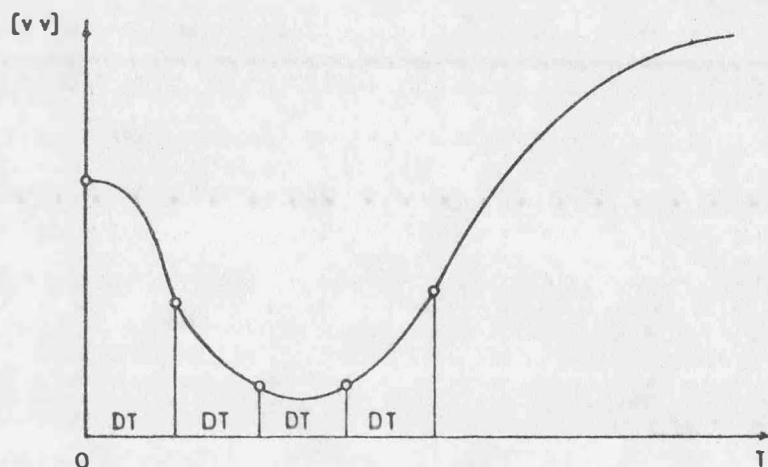


ABB. 17

Aufsuchen des Minimums

Die aus dem Minimum der Parabel durch die letzten drei Werte von  $T$  gewonnene Tiefe ist dann sicher innerhalb des brauchbaren Bereichs.

Danach muß man nur mehr die differenziellen Abstände ( $\bar{T} DT$ ) vom Minimum kleiner werden lassen, um die bestmögliche Anpassung zu erreichen. Bei zu kleinen Werten  $DT$  geht natürlich die erwünschte Annäherung der Differenzen an die Differenziale im Rundungsrauschen unter. Schon lange vorher

würden wir aber bei den heute üblichen Stellenkapazitäten weit über das notwendige Maß genaue Tiefen erhalten. Meßgenauigkeit und topographische Reduktion setzen hier viel früher Schranken.

Besonders zu betrachten haben wir nur den Fall, daß unsere anfängliche (große) Schrittweite (ABB. 17) so groß war, daß wir schon mit dem zweiten Wert von  $T$  eine  $[VV]$  erhalten, die größer ist als bei  $T=0$ . Dann muß  $DT$  systematisch verkleinert werden - man wird vielleicht den halben Betrag ansetzen ( $DT_2 = \frac{DT_1}{2}$ ) - bis der zweite Wert kleiner ist als der erste.

Praktisch werden solche Schwierigkeiten selten auftreten, da eine gravimetrisch zu bestimmende Störung sicher tiefer liegen wird als 1 m, und es z.B. bei  $DT = 1$  m einem elektronischen Rechner ohne weiters zugemutet werden kann, in Schritten von 1 m auch bis zu einer Tiefe von 100 m zu gehen, wo das Minimum bei kleinen Störungen sicher überschritten ist, da ja die Meßgenauigkeit von vornherein begrenzt ist.

Setzt man überdies die Schrittweite noch in einem Verhältnis zu der Entfernung des am weitesten entfernten Schwereprofilpunktes an, so ist für alle Fälle vorgesorgt, da man Werte für  $\Delta g$  wohl nur bis zu jenem Abstand vom Maximum herausgreifen wird, in dem sie über der Meßgenauigkeit liegen.

### 1.5. Restfehler der homogenen Probierkugel

Mit Hilfe der Formel

$$m \Delta g' = \sqrt{\frac{[VV]_{\min}}{n-1}} \quad (L.14)$$

bekommen wir einen groben Anhaltspunkt, wie genau die ursprünglich angenommene Kugelform des Störkörpers mit der Wirklichkeit übereingestimmt hat.

Wenn man nämlich die normale Meßgenauigkeit des Instrumentes kennt, wird, besonders bei wiederholten Messungen, der Fehler einer Messung auf Grund der Ableseunsicherheit und

sonstiger Instrumentenfehler ( $m_1$ ) recht gut anzugeben sein. Der Unterschied aus dem oben erhaltenen Wert des mittleren Fehlers ( $m_{\Delta g'}$ ) einer Beobachtung und diesem Wert ( $m_1$ ) wird sich zusammensetzen aus

- 1) dem Fehler der topographischen Korrektur
- 2) dem Fehler der Plattenreduktion durch unbekanntes Dichte
- 3) dem Fehler aus der unterirdischen Dichteunregelmäßigkeit
- 4) dem Fehler aus der Annahme einer sphärischen Störmasse
- 5) dem Fehler wegen der endlichen Anzahl der Meßwerte und deren zufällige Meßfehler

#### 1.5.1. Fehler der topographischen Reduktion

Nach Kap. I können wir die Topographie jederzeit mit beinahe beliebiger Genauigkeit berücksichtigen, sofern wir genügend große und leistungsfähige (schnelle) Rechner zur Verfügung haben. Dieser Einfluß dürfte also nicht von Bedeutung sein, wenn man sich in besonderen Fällen auch bemühen muß, lokale Dichteanomalien der Oberfläche (Monolith) hier besonders zu berücksichtigen.

#### 1.5.2. Fehler der Plattenreduktion

Wenn wir die Plattenreduktion mit verschiedenen Dichten im Sinne der bekannten Verfahren (Nettleton, Steiner, Jung, Parasnis) durchführen \*), wird sich bald ein guter mittlerer Wert einstellen. Sollte hier noch eine offensichtlich inhomogene Dichteverteilung in den reduzierten Werten spürbar sein, so kann dem Umstand durch Approximation der Verhältnisse meist unschwer Rechnung getragen werden (siehe Beispiel St. Stefan: Straßendamm mit geringfügig höherer Dichte als das umgebende Gelände).

#### 1.5.3. Fehler wegen unterirdischer Dichteunregelmäßigkeiten

Weit schwieriger zu verfolgen ist der Aufbau des Untergrundes.

\*) Vgl. dazu auch [8].

Bei der Überlagerung von mehreren benachbarten, gleich großen Störungseinflüssen, die womöglich noch verschiedenes Vorzeichen haben, kann man kaum mehr eine Trennung vornehmen

Nun hat aber unsere grundsätzliche Annahme, daß wir in einem homogenen Untergrund störende Massenpunkte suchen, die Bedeutung, daß wir eben jede kleine Abweichung von dieser Homogenität als leichteren oder schwereren Massenpunkt registrieren würden, also eine Überlagerung von vielen Störungen vorliegen haben.

Die Aufgabe der angewandten Geophysik kommt uns zu Hilfe, da sie (bis jetzt) eine Suche nach eher markanten Dichteunterschieden und Störungen größeren Ausmaßes ist.

Überdies wollen wir uns in der vorliegenden Arbeit prinzipiell mit Hohlräumen befassen, für die das Gesagte in besonderem Maße zutrifft.

Damit fallen die meisten der kleineren positiven und negativen Störzentren in der Auswertung nicht auf, da die erzielbare Meßgenauigkeit nicht ausreicht, sie zu entdecken. Wir nehmen an, daß sie als gering im Einfluß, etwa gleich groß und gleichmäßig verteilt, so wie zufällige Fehler in die Messung eingehen.

Tatsächlich wird, wo dies nicht der Fall ist, eine kleinere Dichteänderung in der Natur meist nicht sprunghaft, sondern eher stetig wie eine regionale Störung - und also praktisch unschädlich - in den Resultaten spürbar werden. Als Beispiel sei hier etwa die zunehmende Korngröße in einer Schutthalde hangabwärts genannt, die eine gleichmäßige Verziehung bewirkt, trotzdem aber den Sprung an ihrem oberen Ende beim Zutagetreten des Felsens erkennen läßt.

#### 1.5.4. Fehler wegen abweichender Form von homogener Kugel

Als wesentlicher Rest des Formfaktors (1.5.) bleiben die Abweichungen der Störung von der kugeligen Form, da man ja durch entsprechende Vermehrung der Meßstellen im Gravimeterprofil die Fehler, die aus zu geringer Anzahl entstehen würden, praktisch eliminieren kann. Die Anzahl der Punkte

muß so lange erhöht werden, bis eine weitere Verdichtung auch durch lineare Interpolation erfolgen könnte, weil die Meßfehler größer werden als die Fehler aus der Interpolation.

Im Sinne einer Negierung von kleinsten Störungen wirken Glättungsverfahren, ob sie nun von Hand oder numerisch erfolgen. K. Jung beschreibt in [7] eine ganze Reihe solcher Verfahren, die heute um einige moderne, auch zeitgemäße Rechenmethoden berücksichtigende, ergänzt werden müssen.

Es ist von großem praktischen Nutzen, Messungsprofile mit geringen Punktabständen durch ein geeignetes numerisches Verfahren zu glätten, und wenn möglich mit Hilfe eines automatischen Zeichengerätes (Plotter) auftragen zu lassen. Dann kann der Auswerter relativ leicht seine Entscheidungen treffen, für welche besonders markanten Anomalien und mit welcher Bezugslinie die Werte  $\Delta g$  herausgegriffen werden sollen. Das kann dann auch durch eine Maschine und sehr dicht erfolgen, sodaß Pkt. 5) von Seite 41 kaum mehr eine Rolle spielen wird.

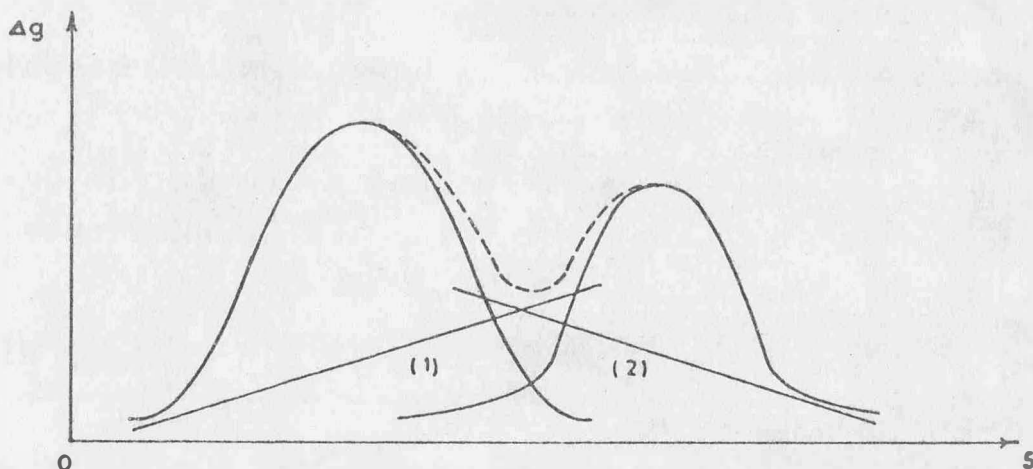


ABB. 18

Überlagerung zweier Störungen



Aus ABB. 18 können wir erschen, daß bei der Überlagerung von zwei benachbarten Störungen und bei der automatischen Festlegung eines ungestörten Schwereverlaufs zunächst die schief liegende Gerade (1) erhalten würde. Danach ergibt sich für das rechte Maximum die Gerade (2), und beide Störungen werden sowohl in Größe als auch in ihrer Tiefe unterschätzt.

Durch Einführung einer glatten Bezugslinie, die den Verlauf der (ungestörten) Normalschwere darstellt, und mit der man den Knick zwischen den Geraden (1) und (2) vermeiden kann, wird es möglich, die Größen  $\Delta g$  recht wirklichkeitsnah herauszugreifen. Dies trifft jedoch nur dann zu, wenn es ausschließlich Störungen einer einzigen Art, also entweder Massendefizite oder dichtere Masseneinlagerungen gibt. Sonst kann ohne Eingreifen des Auswerters rechnerisch kaum entschieden werden, ob z.B. ein breitgestrecktes Maximum oder zwei weit auseinanderliegende Minima vorliegen. Bei allen Versuchen des Verfassers, das vorgeschlagene Verfahren der Störungsfindung völlig automatisch ablaufen zu lassen, konnte aus diesem Grund keine befriedigende Allgemeinlösung gefunden werden.

#### 1.5.5. Fehler wegen endlicher Anzahl der Meßwerte und deren Meßfehler

Wie schon erwähnt, lassen sich besonders bei maschineller Glättung beliebig viele Meßstellen annehmen. Aus den im Anhang B gezeigten Beispielen kann man außerdem ersehen, daß normalerweise überhaupt keine hohe Punktdichte erforderlich ist.

Nicht zu eliminieren sind jedenfalls die Fehler, die bei der Messung und durch topographisch nicht mehr erfaßbare Bodenrauhigkeit zustande gekommen sind. Sie haben absolut gesehen jedoch nicht den größten Anteil und haben natürliche Grenzen in der Technologie der verwendeten Meß- und Aufnahmegeräte.

### 1.6. Art und Stärke der Deformation

Es bleibt noch die Frage zu klären, welche Form am ehesten zutrifft, wenn wir aus  $[VV]_{\min}$  vorerst nur wissen, daß die Kugel eine schlechte Approximation war. Für eine Reihe von Probekörpern wurde versucht, einen Faktor  $F_k$  zu ermitteln, der über das Ausmaß der Deformation etwas aussagen soll.

Setzen wir an:

$$F_k = F(T) \cdot \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}, \quad (L.15)$$

so müßte  $F_k$  bei einer geeigneten Funktion  $F(T)$  für alle ähnlichen und ähnlich gelagerten Körper eine Konstante sein. Nehmen wir für  $F(T)$  die einfache und normalerweise den physikalischen Gegebenheiten in der Gravimetrie überall Rechnung tragende Funktion

$$F(T) = T^n, \quad (L.16)$$

so brauchen wir nur die Potenz  $n$  zu ermitteln. Diese ergibt sich bei der Form eines Würfels mit  $n \doteq 6$  und beim stehenden quadratischen Prisma mit  $n \doteq 3$ , was auf kein einfaches Bildungsgesetz des Formfaktors schließen läßt, da offenbar die Form selbst noch als Veränderliche in  $F(T)$  - also eigentlich  $F(T, F_k)$  - enthalten ist.

Es wird im Einzelfall nicht zu umgehen sein, bei einem errechneten Approximationsfehler (zu dem in der Praxis noch die Meßfehler kommen) eine Reihe wahrscheinlicher Anordnungen durchzurechnen und daraus genauere Aufschlüsse zu erhalten.

Die einzige Möglichkeit der Berechnung von spezifischen Gestaltsfehlern liegt in der Trennung der Schwereprofilkurven in einen äußeren, mittleren und inneren Teil und die Lokalisierung der Störung allein aus einem solchen Abschnitt. Dabei wird aber unsere Forderung von 1.3. nicht mehr erfüllt sein und es ergeben sich zum Teil unbrauchbare Resultate.

### 1.7. Beispiele für theoretische Anordnungen

Zur Darlegung der Möglichkeiten bei dieser neuen Art der Berechnung werden eine Anzahl von besonders signifikanten Fällen als Beispiele im Anhang B gebracht.

Für das jeweils erste Beispiel wurden die Eingangswerte auf die gesamte Kapazität der Rechenanlage (14.s.Stellen) genau berechnet, worauf allerdings nur 8 Nachkommastellen ausgedruckt wurden. Diese sind wie Meßwerte zu betrachten ( $\Delta G$ ) und liefern die danach ausgedruckten Ergebnisse. Dann erfolgte eine Rundung der  $\Delta g$  auf 5 Nachkommastellen und eine zweite Berechnung (Beispiele mit Index a).

Aus dem Vergleich der Ergebnisse ersieht man sehr gut die Stabilität des Verfahrens. Besonders sei auf die Beispiele 4 und 6 hingewiesen, wo nicht einmal die Halbwertsbreite durch das Profil überschritten wurde und die Horizontalgradienten fast konstant sind, trotzdem aber noch recht brauchbare Resultate erhalten wurden. Man kann also erwarten, daß auch mäßig genaue Messungen noch verwertbar sind. Dabei darf man sich nicht von der Anzahl der hier verwendeten Nachkommastellen beirren lassen, da ja die gesuchten Störkörper meist wesentlich größer sein werden (speziell bei Tiefen von mehr als 10 m).

#### 1.7.1. Würfel der Kantenlänge 2 m

in verschiedenen Tiefen ( $\sigma = 2.0$ ), siehe Anhang B, Beispiele Nr. 1 - 4, Seite 82 ff

Für einen Würfel von  $8 \text{ m}^3$  wurden in horizontalen Abständen von je 1 m vom Oberflächenstörzentrum die Werte  $\Delta g$ , hier die positiven Werte für  $V_z$  einer positiven Dichte  $\sigma = 2.0$ , berechnet (ABB. 19). Bei insgesamt 11 Werten, die also nur bis in eine Entfernung von 10 m gehen, werden sehr gute Angaben über Tiefe und Masse bis in Tiefen von etwa 15 - 20 m erhalten. Die etwas zu große Tiefe (5% bei 1 m, 1% bei 2 m, 0.5% bei 3 m) und damit gekoppelt das größere Volumen der Näherungskugel ergibt sich daraus, daß die Kugel im oberflächennahen Teil über den Würfel hinausragt und diese Partien wegen der

Abnahme der Schwerkraft mit dem Quadrat der Entfernung viel stärker wirken als alle tieferliegenden Teile. Es wird also der oberste Teil eines Störkörpers immer am genauesten erhalten, was sich für die Zwecke der Aufsuchung einsturzgefährdeter Hohlräume besonders günstig erweist, weil ja die Überdeckungshöhe neben der Bodenstabilität das stärkste Argument für die Beurteilung der Sicherheit ist (ABB. 20).

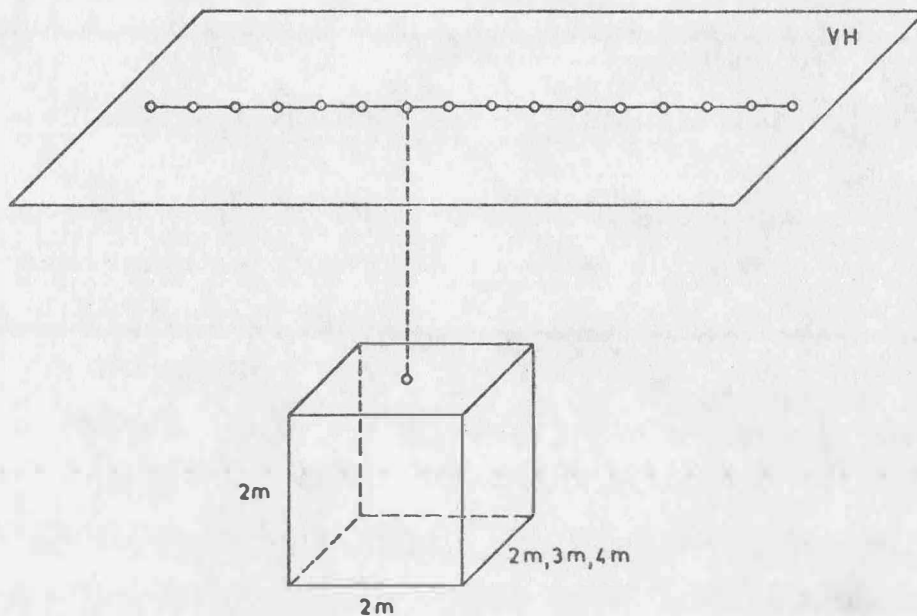


ABB. 19

Anordnung bei den Musterbeispielen

Bei der normalerweise in der Praxis noch kaum vorkommenden Tiefe von 1 m, gemessen von der Erdoberfläche bis zur oberen Begrenzung der Störung, ist in unserem Fall des Würfels auf einen Durchmesser von 1,6 m die Genauigkeit der Approximation durch die Kugel  $\pm 16$  cm, der Fehler also absolut gesehen unbedeutend (relativer Fehler 10%). Bei größeren Tiefen wird der relative Fehler so klein, daß er nicht einmal durch Bohrungen aufgedeckt werden kann, da ja das Gestänge schon ein Stück vor dem Hohlraum durchfällt.

1.7.2. Stehendes quadratisches Prisma 2 x 2 x 3 m

in verschiedenen Tiefen ( $\sigma = 2.0$ ), siehe Anhang B, Beispiele Nr. 5 und 6, Seite 90 ff

Das im Beispiel gezeigte Prisma wird durch die homogene Kugel wieder bezüglich Volumen und oberer Begrenzung gut approximiert (ABB. 21). Dadurch sind natürlich die Schwerpunkte der beiden Körper etwas gegeneinander verschoben. Am Wert für das Minimum erkennt man schon einen etwas größeren Formfehler als beim Würfel, wobei man allerdings beim Vergleich nicht die Überdeckungshöhe sondern die Tiefen der Schwerpunkte heranziehen muß.

1.7.3. Liegendes quadratisches Prisma 2 x 3 x 2 m

siehe Anhang B, Beispiele Nr. 7 und 8, Seite 94 ff

Aus diesem Beispiel kann man ersehen, daß der Wert des mittleren Fehlers trotz der gleichen Gestalt wie unter 1.7.2. wegen der anderen Lage etwas größer wurde, was durch die bekannte Tatsache verständlich wird, daß eine senkrechte, schlotförmige Masse selbst bei großer Tiefenerstreckung durch einen Massenpunkt gut ersetzt werden kann. Aus der schon besprochenen, hier schlechteren Anpassung der oberflächennahen Teile der Kugel an den rechteckigen Grundrißquerschnitt läßt sich diese Tatsache ebenso erklären (ABB. 22).

1.7.4. Liegendes Prisma 2 x 4 x 2 m

siehe Anhang B, Beispiele Nr. 9 und 10, Seite 98 ff

Bei sehr geringen Tiefen würde als Näherung für das im Beispiel verwendete querliegende Prisma beinahe schon die Massenlinie (eig. homogener liegender Zylinder) vertretbar sein. Trotzdem liefert auch der Massenpunkt noch gute Werte. In größerer Tiefe (Beispiel 10) ist das Resultat jedenfalls überraschend genau, selbst wenn man die gerundeten Werte (Beispiel 10a) verwendet. Daß hier das Minimum von  $[VV]$  kleiner ist als im vergleichbaren Beispiel 8a liegt selbstverständlich an der starken Rundung, was durch die entsprechenden, mit voller Stellenanzahl gerechneten Beispiele 10 und 8 sofort nachgewiesen werden kann.

Aufrißdarstellung des theoretischen Würfels und der approximierten Kugel in der Y,Z - Ebene (zu Bspl. 1 - 4); Schwereprofil in X - Richtung (senkrecht zur Zeichenebene)

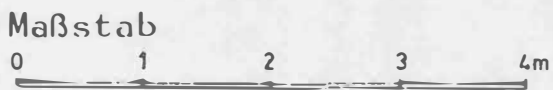
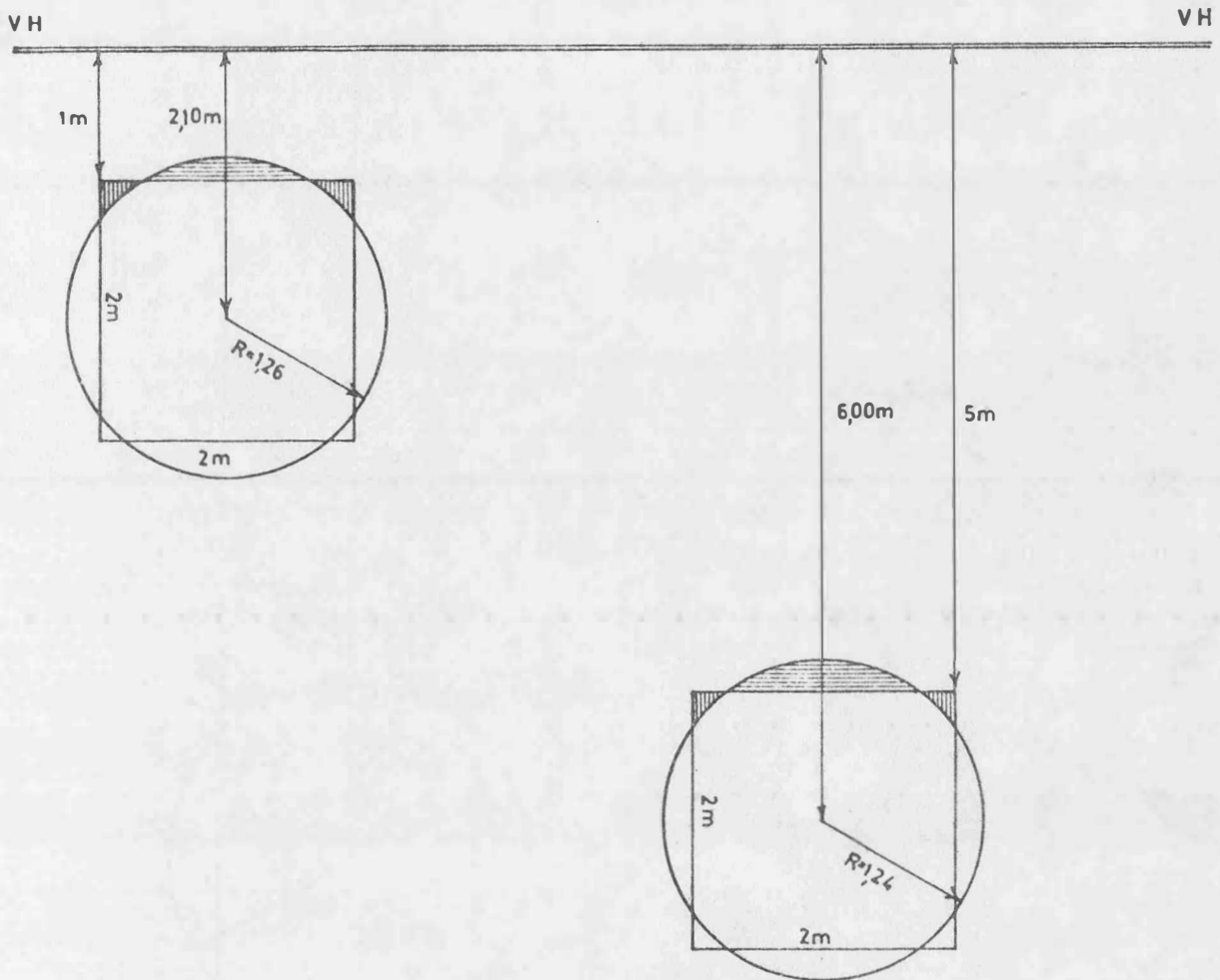
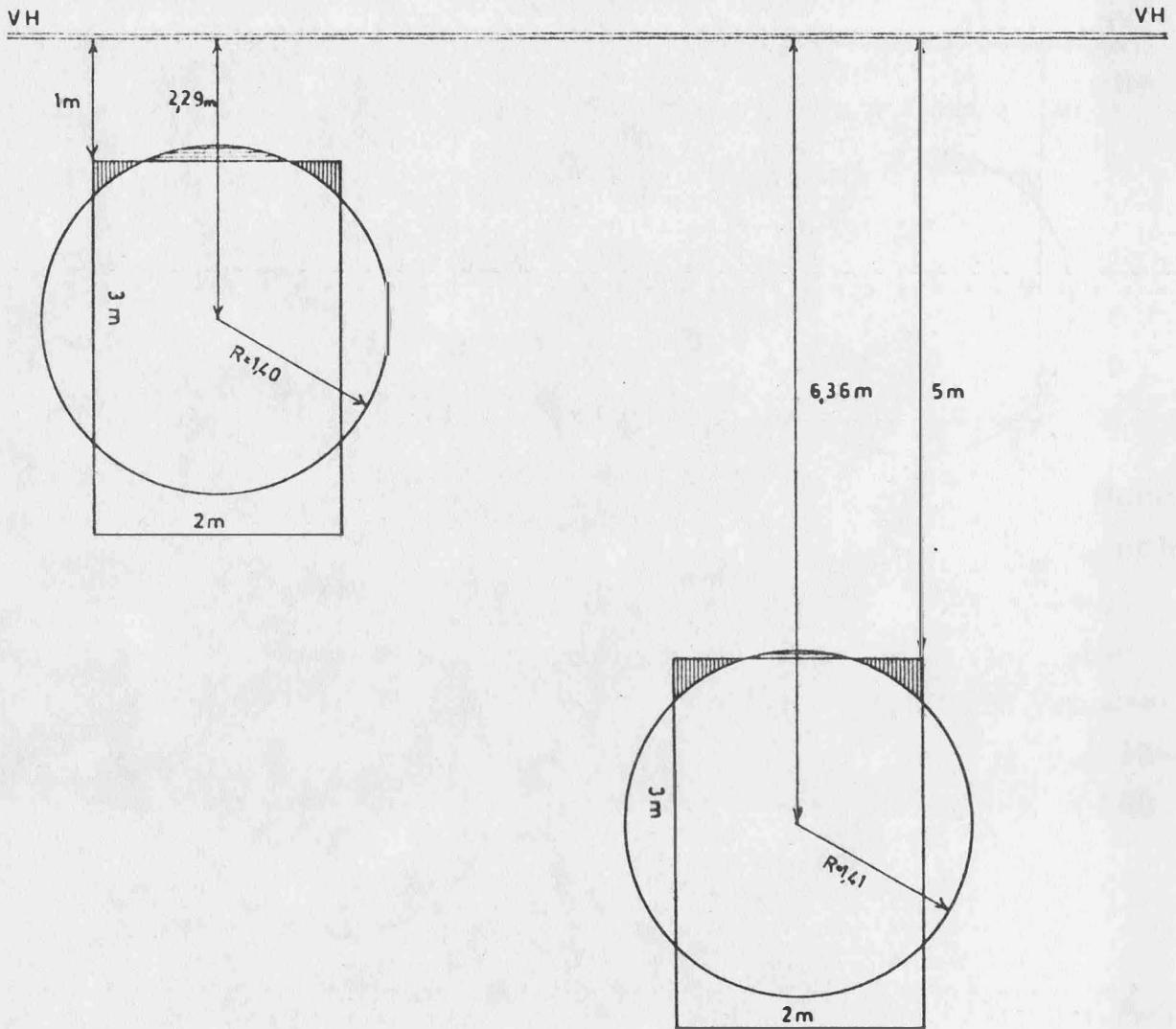


ABB. 20

Aufrißdarstellung des theoretischen Prismas und der approximierten Kugel in der Y,Z - Ebene (zu Bspl. 5 u. 6); Schwereprofil in X - Richtung (senkrecht zur Zeichenebene)



Maßstab

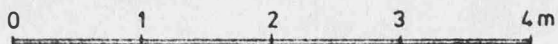


ABB. 21

Aufrißdarstellung des theoretischen Prismas und der approximierten Kugel in der  $Y, Z$  - Ebene (zu Bspl. 7 u. 8); Schwereprofil in  $X$  - Richtung (senkrecht zur Zeichenebene)

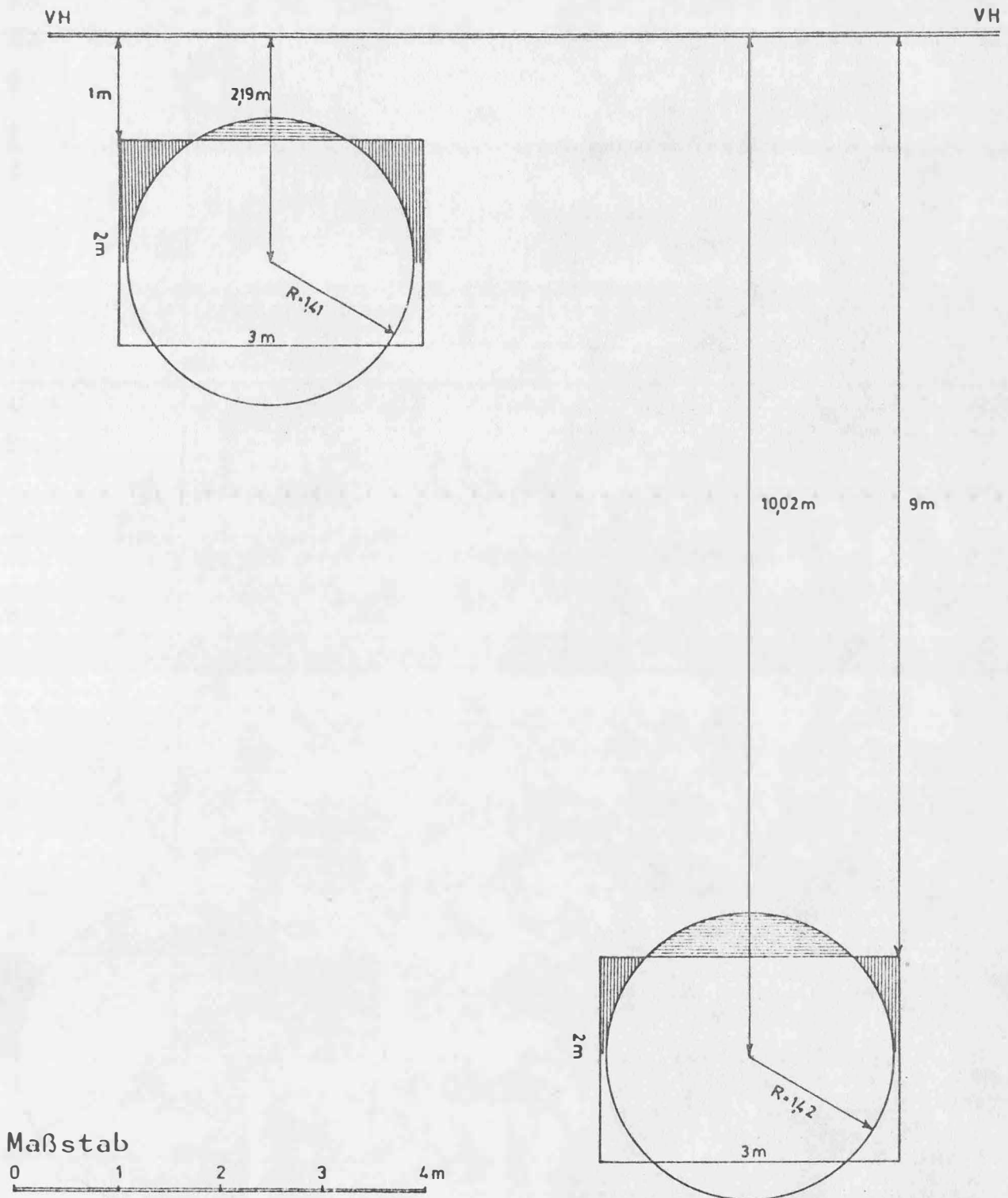


ABB. 22



Aufrißdarstellung des theoretischen Prismas und der approximierten Kugel in der Y,Z - Ebene (zu Bspl. 9 u.10); Schwereprofil in X - Richtung (senkrecht zur Zeichenebene)

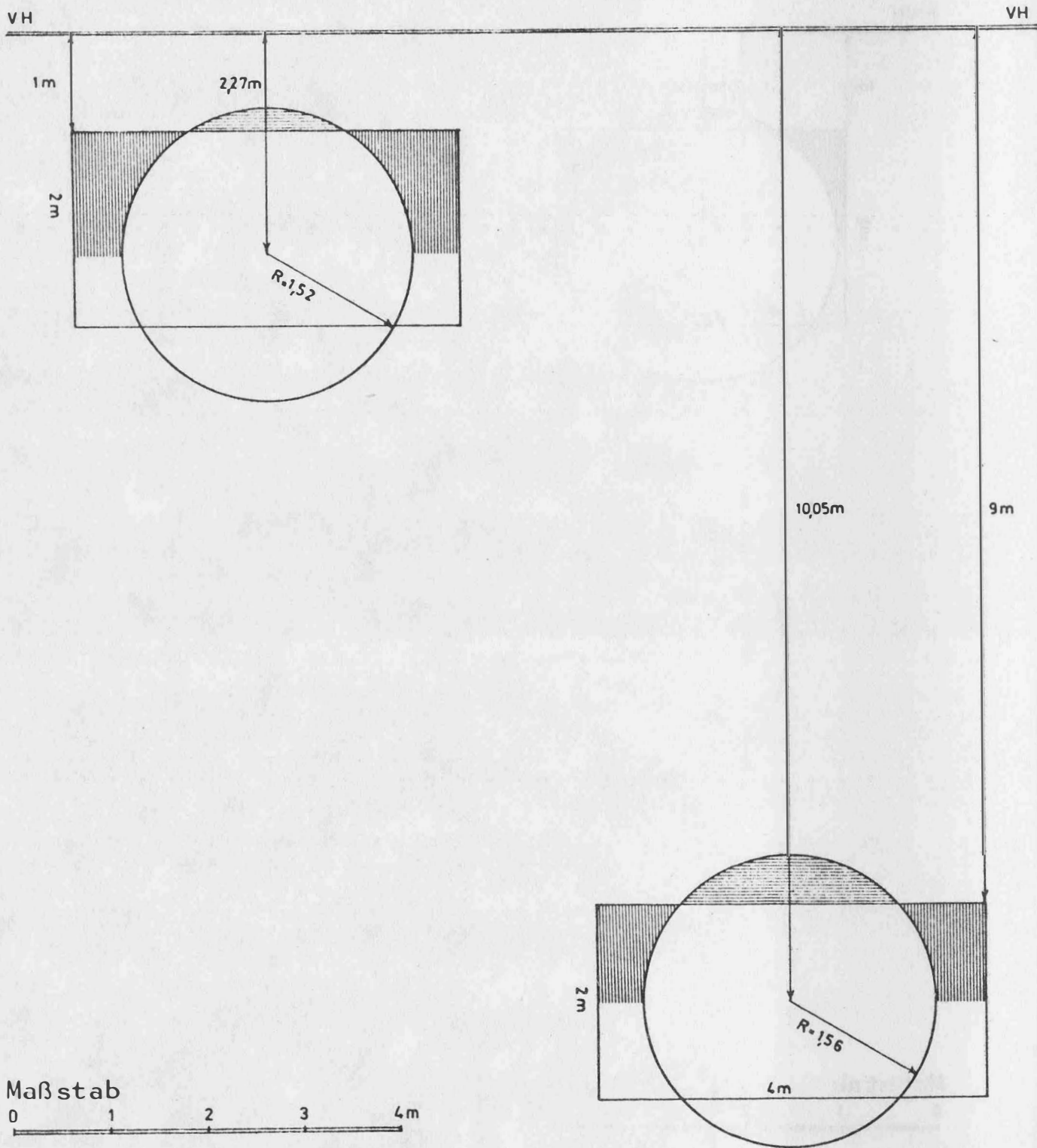


ABB. 23

## KAPITEL IV

### Meßinstrument und Meßmethoden

#### 1. LaCoste und Romberg Gravimeter

Das für alle Schwermessungen verwendete Gerät war ein LaCoste und Romberg Gravimeter Modell G (Nr. 251) im Normalgehäuse mit unten zu betätigenden Fußschrauben. Die praktischen Erfahrungen seien im folgenden kurz beschrieben.

Im übrigen wird auf [10] und [11] verwiesen.

##### 1.1. Genauigkeit

Im laboratoriumsmäßigen Test (stabile Aufstellung und längere erschütterungsfreie Standzeit) wurde im Mittel ein Einstellfehler von  $\pm 0.002$  mgal gemessen.

Dagegen ergeben sich im Gelände:

a) bei stabilem Untergrund (verkehrsfreie Betonstraße) und Profilmessung hin - zurück ca.  $\pm 0.003$  mgal

b) auf horizontierbaren Metalltischen am Pflock im Ackerboden bei Profilmessungen hin - zurück ca.  $\pm 0.004 - 0.005$  mgal.

##### 1.2. Zeitlicher Gang

Werksangabe: weniger als 0.1 mgal pro Monat

Eigene praktische Erfahrungen:

a) Bei Meßtagen mit sehr vielen Ablesungen (100 - 150) werden Ermüdungserscheinungen der Feder, d.i. Nachlassen der elastischen Gegenkraft, festgestellt. Es ergibt sich ein positiver Gang, der deutlich größer als die Angabe, jedoch ausreichend linear ist.

b) Bei Vergleichsmessungen auf denselben Standpunkten in langen Zeitabständen ist die Drift wesentlich geringer als nach Werksangabe.

#### 2. Meßmethoden

Obwohl gravimetrische Verfahren im allgemeinen bedeutend

einfacher und schneller Aufschluß über unterirdische Massenstörungen liefern als Bohrungen, muß dennoch der Zeitfaktor berücksichtigt werden. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wird man deshalb jene Methode wählen, die bei ausreichender Genauigkeit (Aussagefähigkeit der Ergebnisse) die größtmögliche Geschwindigkeit bringt. Man kann sicher auch in der angewandten Geophysik die verschiedenen, sich selbst kontrollierenden und Gerätefehler aufdeckenden Stepverfahren anwenden [10], die vor allem für großräumige Messungen geeignet sind. Man wird aber dabei recht langsam vorwärts kommen und hat obendrein gegenüber den im folgenden beschriebenen Anordnungen keinen Vorteil bei der Auffindung von Störungen.

### 2.1. Profilmessung

Wenn es auf besondere Nachbarschaftsgenauigkeit ankommt (Horizontalgradienten), ist die Messung von maximal 15 Profilpunkten im Hin- und Rückgang zu empfehlen. Dabei wird eine ausreichende Wirtschaftlichkeit mit einer Genauigkeit verbunden, die im allgemeinen höher ist, als es im Hinblick auf unregelmäßige Dichte und Rauigkeit der Oberfläche notwendig wäre.

Es wurde auch versucht, im Vertrauen auf linearen Gang und Unabhängigkeit von Transporterschütterungen jeden Punkt nur einmal zu messen und nach dem letzten Profilpunkt mit einer Lesung auf dem ersten Punkt die Reihe abzuschließen. Dabei konnte allerdings mit keiner höheren Genauigkeit als  $\pm 0.01$  mgal gerechnet werden. Die Linearität des Ganges scheint besonders in den ersten beiden Punkten stark gestört, weshalb bei höchsten Anforderungen trotz Mittelbildung beim Hin- und Rückgang ein Weglassen des ersten Punktes bzw. der ersten Schweredifferenz geboten scheint.

### 2.2. Kombinierte Messung von Horizontal- und Vertikalgradienten

Sollen gleichzeitig mit den horizontalen auch die vertikalen

Gradienten bestimmt werden, und ist es nicht erforderlich, die Schweredifferenz zweier benachbarter Punkte auf höchste Genauigkeit anzugeben, so kann man ein kombiniertes Verfahren anwenden. Der Vertikalgradient wird aus zwei Lesungen am unteren und einer Lesung am oberen Aufstellpunkt gewonnen und anschließend sofort der nächste Bodenpunkt gemessen\*), sodaß wohl für jeden unteren Punkt zwei Lesungen zur Mittelbildung zur Verfügung stehen, diese aber nicht die Herabsetzung der Fehler wegen Nichtlinearität des zeitlichen Ganges und wegen der Gezeiteneinflüsse bringen. Am Schluß eines solchen Profils, das aus nicht mehr als 12 Punkten bestehen sollte, wird am ersten Punkt noch einmal abgelesen und daraus der Gang bestimmt. Man hat den Vorteil, daß bei der Auswertung gleich die Vertikalgradienten zur Verfügung stehen. So kann man in Verdachtsgebieten, die aus den Schwerekurven abgeleitet wurden, sofort mittels der Gradienten gewisse Massenanordnungen aus der weiteren Betrachtung ausschließen.

### 2.3. Erdgezeiten

Die Wirkung der Erdgezeiten kann im allgemeinen vernachlässigt werden, da sie für die kurzen Zeiträume keine großen Beträge erreicht. Hat man eine eigene Gezeitenstation in der Nähe des Meßgebietes, so sind die Meßwerte leicht zu verbessern. Meist wird dies nicht der Fall sein, und man wird versuchen, ganz ohne solche Reduktionen auszukommen, da sie nicht nur Zeit sondern strenggenommen auch die Kenntnis des örtlichen Maßstabfaktors erfordern

Trotzdem scheint es angebracht, sich aus vorherberechneten Kurven für das ganze Jahr bei kleineren Arbeiten die günstigen Tage auszusuchen, in denen sich die Hauptwirkungen von Sonne und Mond nahezu aufheben. Im praktischen Einsatz kann man aber zumindest jene Stunden von der Messung ausschließen, an denen eine besonders starke Krümmung der Gezeitenkurven selbst bei Hin- und Rückmessung noch merkliche Fehler bringen würde.

\*) Vgl. auch [16]

## KAPITEL V

### Praktische Anwendung der numerischen Lokalisierung

#### 1. Ermittlung der ungestörten Schwerekurve

Als eines der schwierigsten Probleme in der Praxis wird sich die Auffindung derjenigen Schwereprofilkurve erweisen, die beim Fehlen der gesuchten Störung gemessen würde.

Man hat ja hypothetisch Meßgrößen festzulegen, die im gesamten endlichen Bereich nirgends mit den tatsächlich gemessenen Schwerewerten übereinstimmen.

##### 1.1. Graphische Festlegung des ungestörten Schwereverlaufs

Begründet auf der Tatsache der raschen Abnahme der Z-Komponente der Schwerkraft mit wachsender horizontaler Entfernung wird man ein Schwereprofil so weit zu beiden Seiten einer lokalen Störung ausdehnen, daß dessen Einwirkung unbedeutend wird, d.h. deutlich unter die Meßgenauigkeit fällt.

Treffen wir die Annahme einer sonst störungsfreien Horizontalebene, so können wir durch die äußersten Punkte des Profils eine gerade Verbindung als weitgehend richtige Anpassung an die ungestörte Schwerekurve legen. Der immer noch enthaltene Mangel ist die um den auch hier noch wirkenden Betrag der Störkomponente zu sehr an die gestörte Kurve angelehnte und im ganzen systematisch verfälschende Parallelverschiebung. Müssen wir aber in einem kuperten Gelände auch mit verschiedenen anderen Störungen rechnen, so kann nur eine gefühlvolle Hand mit Rücksicht auf den allgemeinen Trend und eventuell mit Beachtung nahegelegener sichtbarer Massenunregelmäßigkeiten einen anzunehmenden störungsfreien Verlauf graphisch entwerfen.

Trotz der scheinbar recht unsicheren Methode kann man im Einzelfall ausnehmend gute Resultate erhalten. Mit einiger Erfahrung läßt sich nämlich verhältnismäßig leicht eine glatte, biegungsarme Kurve finden, die ständig auf einer Seite der Meßkurve liegt. Bei Hohlräumen, an deren Epizentrum ein

Minimum der Schwerewerte gemessen wird, muß demnach die ungestörte Kurve ständig über den tatsächlich gemessenen Werten liegen.

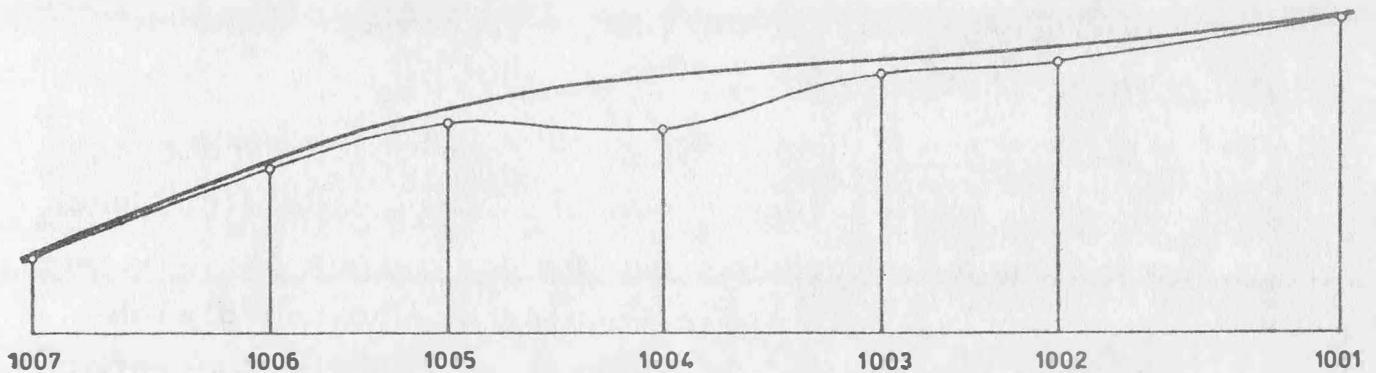


ABB. 24

Graphische Bestimmung des ungestörten Schwereverlaufs (Einödhöhle)

Störungen, die ihrer Wirkung nach im Mittelfeld zwischen großregionalen und lokalen Störungen liegen, können die Bezugslinie sehr stark deformieren. Besonders gilt das für topographische Einflüsse, wenn man sie wegen mangelnder Aufnahmen nicht wegrechnen kann.

### 1.2. Rechnerische Ermittlung des ungestörten Schwereverlaufs

Für die gesuchte Funktion  $f(x)$  ist zunächst vor allem im Hinblick auf die erste theoretische Annahme von 1.1. eine gerade Linie über dem Minimum bzw. Maximum der Schweremeßkurve  $G(x)$  als erste Näherung des ungestörten Schwereverlaufs vertretbar. Diese Gerade berücksichtigt nur den engeren Bereich der gesuchten Störung und läßt sich entsprechend der Form der großräumigen Störung in deren Bereich folgendermaßen festlegen:

(Wir wollen hier von den Verhältnissen bei Hohlräumen ausgehen. Bei dichteren Masseneinlagerungen sind die Vorzeichen entsprechend umzukehren)

- 1) Die gesuchte Störung liegt im Bereich einer im ganzen negativ gekrümmten \*) regionalen Störung. Die Gerade wird Tangente mit zwei Berührungspunkten.
- 2) Die gesuchte Störung liegt im Bereich einer leichten Krümmung mit positivem Vorzeichen. Die Gerade wird Verbindungslinie der beiden entstehenden äußeren Wendepunkte.
- 3) Die gesuchte Störung liegt im Bereich des Krümmungswechsels regionaler Störungen. Die Gerade wird durch den äußeren Wendepunkt gehen, der in den positiv gekrümmten Teil der Kurve überleitet und muß gleichzeitig Tangente an den negativ gekrümmten Kurventeil sein.

Die erste Berechnung wird nur mit den  $\Delta g$ -Werten zwischen dieser Näherungsgeraden und der Meßkurve durchgeführt. Alle außerhalb liegenden Punkte der zu suchenden Kurve  $F(x)$  werden gleich  $G(x)$  gesetzt.

Wir berechnen:

$$\Delta g = \begin{cases} (X_i \leq X_{TWL}) & = 0 \\ (X_{TWL} < X_i < X_{TWR}) & = g_i - g_{TWL} + \\ & + \frac{(g_{TWR} - g_{TWL}) \cdot (X_i - X_{TWL})}{X_{TWR} - X_{TWL}} \\ (X \geq X_{TWR}) & = 0 \end{cases}$$

dabei sind:

- X horizontale Entfernung vom Epizentrum
- TWL, TWR Berührungspunkte der Tangenten oder äußere Wendepunkte der Schweremeßkurve
- g gemessene Schwerewerte -  $G(x)$
- $\Delta g$  Schweredifferenz zwischen gestörtem und ungestörtem Schwerprofil

\*) mathematisches, linksdrehendes Koordinatensystem

Es wird sich ein Störzentrum mit zu geringer Tiefe und Masse ergeben, die Annäherung wird schlecht sein.

Iterativ kann man aus den nach der Durchrechnung mit dieser Annahme resultierenden Restfehlern Verbesserungen an die erste Näherung anbringen und nach einer Glättung im Mittelbereich - da sonst voraussetzungsfremde Wellen im Mittelbereich entstünden - die nächste Berechnung im gleichen Sinn durchführen. Damit hat man die Möglichkeit, auch am Rande des Schwereprofils Werte für  $\Delta g$  zu erhalten, die der Wirklichkeit am ehesten entsprechen, besser jedenfalls, als wenn sie mit 0 angenommen werden.

Mit

$$v_i = \Delta \bar{g}_i' - T^3 \Delta g \max(E^2 + T^2)^{3/2} = g_i - \bar{g}_i' - T^3 \Delta g \max(E^2 + T^2)^{3/2}$$

und für

$$\left[ \begin{array}{l} X_i \leq X_{TWL} \\ X_{TWL} < X_i < X_{TWR} \\ X_i \geq X_{TWR} \end{array} \right] \quad \left[ \begin{array}{l} \bar{g}_i = \bar{g}_i' + v_i = g_i - T^3 \Delta g \max(E^2 + T^2)^{3/2} \\ \bar{g}_i = \bar{g}_{TWL} + \frac{(\bar{g}_{TWR} - \bar{g}_{TWL}) \cdot (X_i - X_{TWL})}{X_{TWR} - X_{TWL}} \\ \bar{g}_i = \bar{g}_i' + v_i = g_i - T^3 \Delta g \max(E^2 + T^2)^{3/2} \end{array} \right.$$

berechnen wir

$$\Delta g_i = g_i - \bar{g}_i$$

es bedeuten:  $\bar{g}'$  ungestörte Schwerewerte -  $F(x)'$

$v$  Verbesserungen an vorausgehende Annahme von  $F(x)'$

$\bar{g}$  neue Annahme für  $F(x)$

Der gerade Mittelteil von  $F(x)$  wird grundsätzlich bei jeder Näherung kürzer, d.h. also, daß er nach einer großen Anzahl von Berechnungen fast völlig verschwinden müßte, um einer leicht gekrümmten Funktion Platz zu machen, die sich in die Randkurve harmonisch einfügt. Diese Entwicklung hat ihre Grenzen in der diskreten Angabe der Funktionswerte und hängt außerdem noch von der Form von  $G(x)$  ab.



Im Prinzip wird eine solche Iteration wieder eine Minimierung der Restfehler, ähnlich wie wir sie schon für das Verfahren in Kapitel III verwendet haben.

Es wird von der vorhandenen Rechananlage abhängen, ob man den möglicherweise schnelleren Weg der vorausplanenden quadratischen Extrapolation oder die einfache schrittweise Annäherung wählt.

Der größte Nachteil des zweiten Verfahrens liegt in der Gleichmäßigkeit der Vorzeichen - die folgende Berechnung kann immer nur eine größere Tiefe ergeben als die vorhergehende - was eine sehr langsame Konvergenz bewirkt. Eine sehr einfache Regelung wäre durch Einführung einer Überkorrektur erreicht, womit ein alternierendes Vorzeichen der Tiefenänderung und damit bedeutend kürzere Rechenzeiten verbunden wären.

Da jedoch jede neue Annahme eines bestimmten Störzentrums mit entsprechender Masse eine eigene Funktion  $F(x)$  zugeordnet hat, die jeweils neu bestimmt werden muß, kann man auf diese Weise nur einen geringen Teil der Rechenarbeit einsparen.

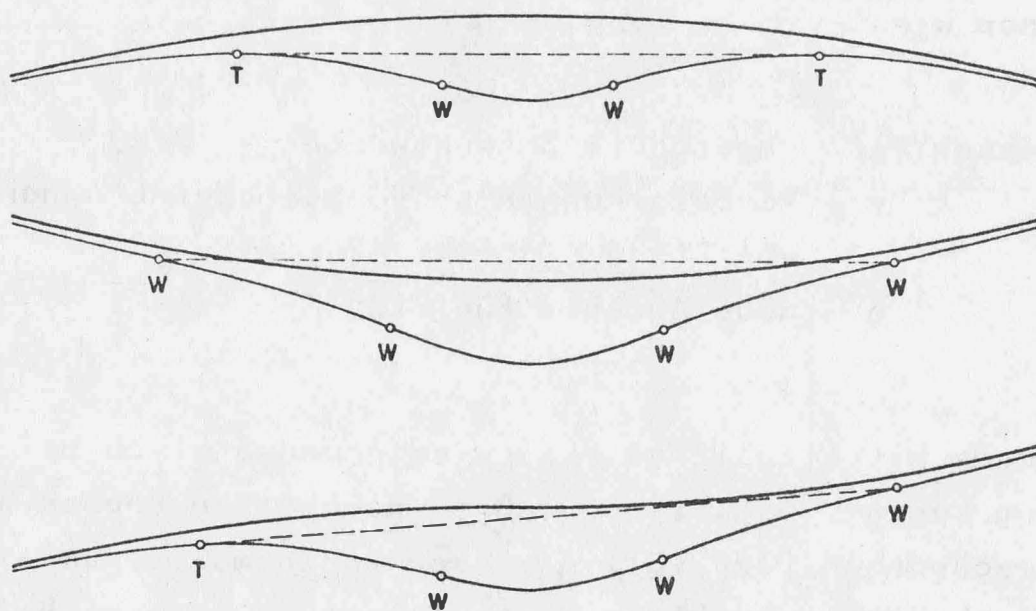


ABB. 25

Grundformen der regionalen Störung

Bei einer sehr welligen Meßkurve  $G(x)$  wird - mit Ausnahme des geraden Mittelstücks - auch  $F(x)$  wellig sein. Man könnte nun im gleichen Sinn wie die erste Gerade mehrere Tangenten einführen, die analog zu dieser die ungestörte Schwerekurve  $F(x)$  beruhigen würden. Dazu sind wir aber nicht berechtigt, da die Wellen ja von Meßfehlern und Fremdstörungen herrühren. Es muß also die Differenz  $G(x) - F(x)$  in ihrem Betrag in Neben-Tälern von  $G(x)$  bei Hohlräumen nicht wirklich größer sein. Es können auch die Berge zu hoch sein.

Das beschriebene Verfahren der Anbringung von Verbesserungen an die Meßkurve entsprechend der geraden bearbeiteten Näherungskörper bleibt im Fall kleinerer Nebenstörungen diesen gegenüber unempfindlicher. Wie schon erwähnt hat man jeweils zu entscheiden, ob die Unregelmäßigkeiten von  $G(x)$  wie Meßfehler vernachlässigbar klein sind gegen die Wirkung der gesuchten Anomalie, oder ob sie getrennt zu bearbeiten sind. Dies ist besonders in den Fällen nicht präzise berücksichtigter Topographiereduktion ein Problem.

Als nächste Stufe der Approximation lassen sich mehrparametrische Modelle denken. Praktische Versuche haben gezeigt, daß der Aufwand im allgemeinen nicht im Verhältnis zum Resultat steht. Trotzdem lassen sich hier noch einige Entwicklungen absehen, die vor allem aus einer wesentlich umfangreicheren Schweremessung in engmaschigen Netzen differenziertere Aussagen erwarten lassen. Besonders leicht realisierbar ist zunächst die Annahme von mehreren homogenen Kugeln nebeneinander im Profil oder seitlich davon. Sie vermehren den Rechenaufwand nur proportional zu ihrer Anzahl. Schwierigkeiten bereiten kann allerdings eine Überschneidung der Kugeloberflächen, was einen Dichteunterschied von  $2 \cdot \Delta\sigma$  bedingen würde. Das ist natürlich praktisch nicht möglich. Diese doppelt gezählten Störkörperteile müssen dann als Zugaben ober- oder unterhalb der Schnittlinien angebracht werden.

## 2. Verdichten der gemessenen Schwerewerte

Die Programme für die numerische Auswertung sind zweckmäßig auf die endliche Anzahl von Stützstellen der Funktionen aufgebaut. Zu ihrer besseren Handhabung wird man zwischen die gemessenen noch eine Anzahl interpolierte Werte einschalten.

### 2.1. Wahl einer geeigneten Interpolationsfunktion

Aus dem genannten Grund ist es nicht notwendig, eine Prädiktion von Schwerewerten an den Zwischenpunkten im Sinne der Veröffentlichungen statistischen Charakters vorzunehmen. Zudem soll unsere grundsätzliche Annahme nur die Überlagerung einer großräumigen, regionalen und einer lokalen Störung sein. Auch mehrere solcher Störungen können trennbar nebeneinander liegen. Daraus ergibt sich, daß eine glatte, biegungsarme Kurve die größte Wahrscheinlichkeit hat, dem tatsächlichen Schwereverlauf zu entsprechen. Eine Spline - Interpolation wird also auch hier gute Dienste tun.

### 2.2. Aussagekraft des Restfehlers

Nicht ernstzunehmen ist bei praktischen Meßbeispielen mit nachfolgender übertriebener Interpolation der verbleibende mittlere Fehler der Schweremessungen, da natürlich alle interpolierten Werte bei einfacher Bestimmung dieses Fehlerbetrages als tatsächlich gemessen betrachtet werden.

Bei einer so gleichmäßigen "Meßkurve" wie sie die Spline - Interpolation liefert, kann natürlich der Fehler im günstigen Fall verschwindend klein ausfallen, in ungünstigen Fällen kann aber auch ein einziger schlecht gemessener Wert alle seine gesplinten Nachbarn mit in die falsche Richtung ziehen und so den verbleibenden Restfehler in irrealen Höhen treiben. Verantwortlich dafür ist die Quadratsummenbildung.

Man begegnet dieser Gefahr am einfachsten dadurch, daß man bei der Berechnung des verbleibenden Fehlers nur auf die ursprünglich gemessenen Punkte zurückgreift. Das ist programmtechnisch kein Problem. Eine andere Möglichkeit besteht darin,

alle interpolierten Werte als von den Meßwerten abhängige Größen zu betrachten und sie als solche in die Berechnung einzuführen.

### 3. Berechnung der Schweredifferenz

Bei der praktischen Berechnung der Schwerebeschleunigung unserer Näherungskugel wird man natürlich nicht die theoretisch besser darstellbare Formel

$$v_z = \frac{k^2 \cdot \sigma \cdot V}{E^2 + T^2} \cdot \cos \left( \arctan \frac{E}{T} \right)$$

verwenden, sondern aus einfach zu ersehenden Beziehungen die bedeutend schneller rechenbare, umgeformte Gleichung verwenden

$$v_z = \frac{k^2 \cdot \sigma \cdot V}{E^2 + T^2} \cdot \frac{T}{\sqrt{E^2 + T^2}},$$

womit die Verbesserungen zu berechnen sind aus

$$v \Delta g = \frac{T^3 \cdot \Delta g_{\max}}{(E^2 + T^2)^{3/2}} - \Delta g'.$$

Die Stelle und die Größe des Schweredifferenzmaximums  $\Delta g_{\max}$  wird man aus der Meßkurve durch quadratische Interpolation erhalten.

### 4. Beispiel zur gravimetrischen Bestimmung der Tiefe und Masse eines Hohlraumes

Als praktisches Beispiel einer Lokalisierung wurde unter anderem die Höliturmhöhle bei Wiener Neustadt, N.Ö. vermessen. Sie liegt nicht gerade im idealen, topographisch bewegten Gelände. Allerdings ist die Erdoberfläche über der Höhle im engeren Meßbereich einigermaßen eben und mäßig geneigt. Ungünstig wirkt sich der starke Abfall auf der Südwestseite der Höhle westlich vom Eingang aus. Hier mußte das Profil früher als erwünscht abgebrochen werden.

Die Höllturmhöhle liegt im Leithakalk (Badenien) und ist vom Typ der Schichtfugenhöhlen. Die Raumdichte des Gesteins (inklusive kleiner Risse und Spalten) dürfte im Mittel  $2.0 \text{ g/cm}^3$  betragen.

Die Schichten fallen mit etwa 15 - 20 Grad gegen SO ein. Dieser Neigung folgt sowohl die Oberfläche als auch der Hohlraum. Als Ursache für den geologischen Bruch an dieser Stelle sind starke tektonische Störungen anzusehen. Die Tatsache, daß oberflächennah keine weiteren größeren Störungen vorhanden sind, ist für die gravimetrische Vermessung günstig.

Ein für unsere Zwecke aufgenommener Plan, der hauptsächlich die Kubatur und Decke sowie die örtliche Situation an der Oberfläche erfassen sollte, wird auf Seite        wiedergegeben. Das Schwereprofil (Punkte H1 - H7) mußte aus räumlichen Gründen bei H3 leicht geknickt werden. Eine topographische Reduktion wurde nicht vorgenommen. Das Schweredifferenzmaximum wurde nahe dem Punkt H5 gefunden. Dort wurde auch ein Vertikalschnitt durch die Hauptachse des inneren Hohlraumes gelegt. Dieser erstreckt sich von West nach Ost abfallend etwas schräg zum Gravimeterprofil, das am Weg parallel zur nördlich in etwa 2.0 m verlaufenden Steinmauer angelegt wurde.

Abb.        zeigt den überhöhten Querschnitt (A - B) mit der approximierten homogenen Kugel um STZ. Es ist zu erkennen, daß die minimale Überdeckungshöhe recht gut berechnet wurde. Der nach unten weisende, stollenartige Fortsatz der Haupthalle verzieht das Störzentrum nach Osten. Die Gesamtmasse wird jedoch für den hinteren Stollenteil brauchbar angegeben. Genaueren Aufschluß über die Form könnten hier nur mehrere, etwa senkrecht zum bereits gemessenen angeordnete Profile geben, die ohne Erfassung der Topographie an den örtlichen Gegebenheiten scheitern.

##### 5. Grenzen der Anwendung

Abschließend kann gesagt werden, daß diese Berechnungsmethoden trotz der notwendigen vereinfachenden Annahmen in

der Mehrzahl der Fälle zum Ziel führen wird. Letzten Endes wird ein Versagen praktisch immer nur die Folge von zu wenig gründlicher Arbeit bzw. zu geringem Aufwand sein. Reichen die gemessenen Punkte nicht aus, oder wirkt die Topographie zu stark störend, so muß man eben die eine oder andere Fehlerkomponente durch weitere Punkte oder genauere Erfassung der Geländeoberfläche ausschalten. Echte Grenzen liegen natürlich in der Meßgenauigkeit der Gravimeter, die zu große Störkörpertiefen nicht mehr erreichen lassen. Dann tritt aber im allgemeinen die Inhomogenität der Erdkruste als grösste Unsicherheit in den Vordergrund.

Bei einer recht beachtlichen Anzahl praktischer Meßbeispiele hat sich aber die Lokalisierung bereits als treffend erwiesen.

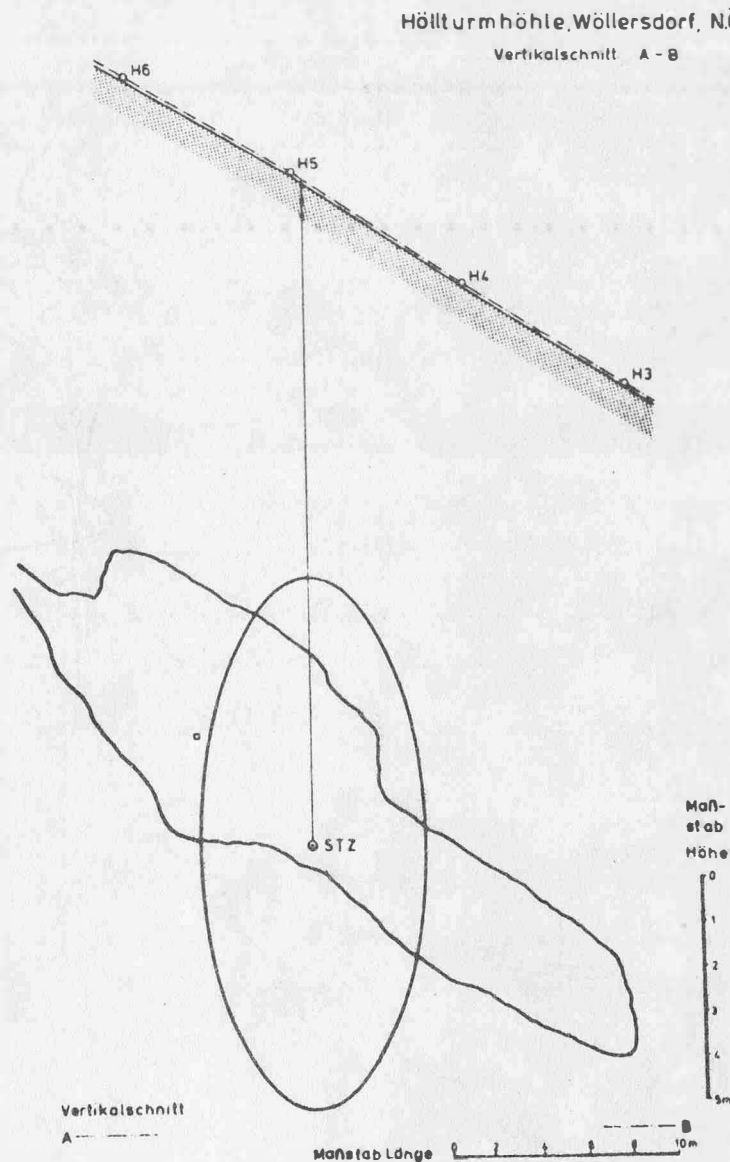
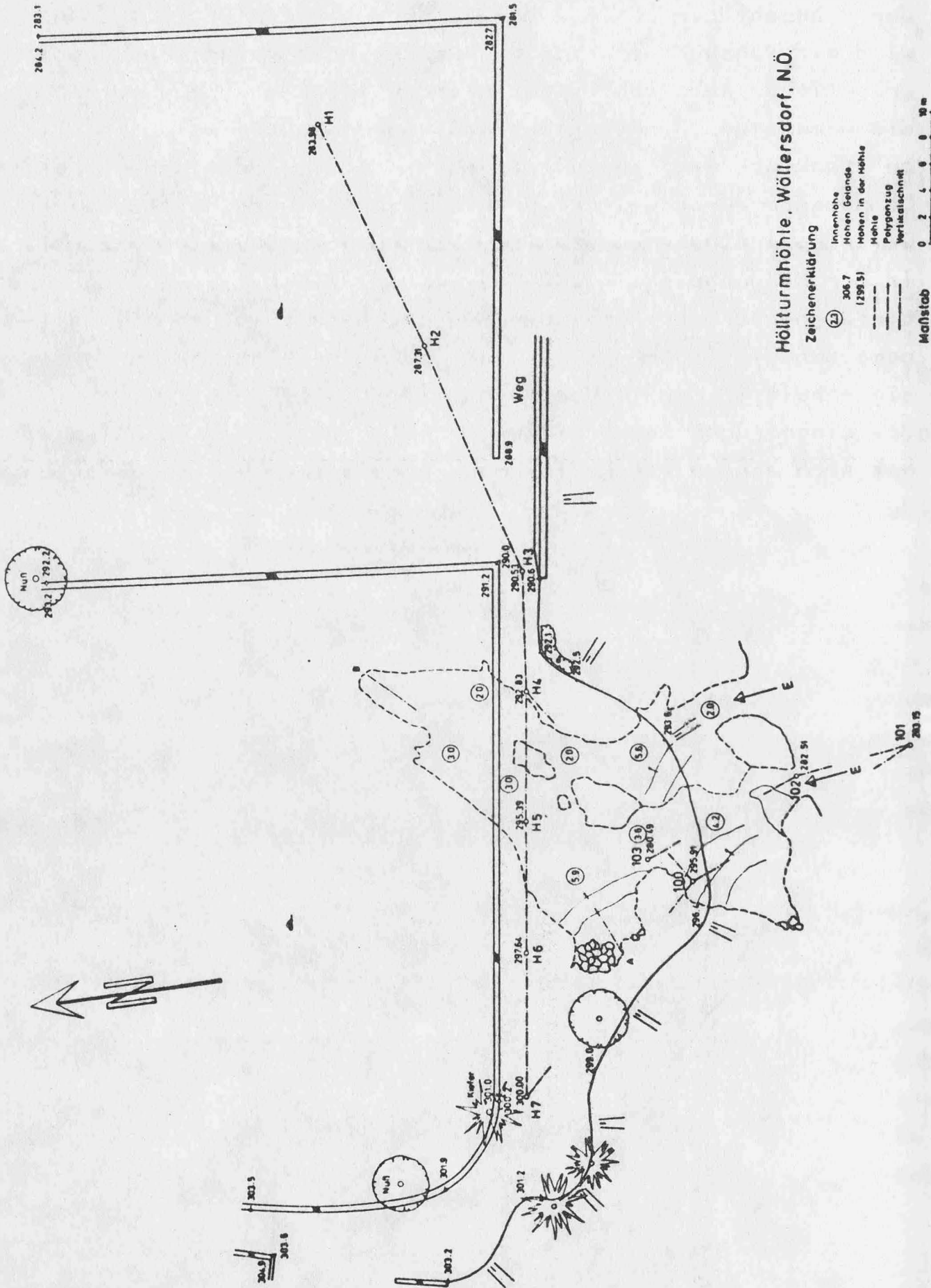


ABB. 26



Zeichenerklärung

- |     |         |                    |
|-----|---------|--------------------|
| (2) | 305.7   | Innenhöhe          |
|     | 1299.51 | Hohen Gelände      |
| --- |         | Möhen in der Höhle |
| --- |         | Mehle              |
| --- |         | Poligonzug         |
| --- |         | Verlaufschnitt     |
- Maßstab 0 2 4 6 8 10 m

- [1] A. PREY, Untersuchungen über die Isostasie in den Alpen auf Grund der Schweremessungen in Tirol, Sitzungsbericht d. kais. Akad. d. Wiss. Wien, Math. - naturwiss. Cl. II. Abt. Bd. 121 (1912).
- [2] K. MADER, Das Newtonsche Raumpotential prismatischer Körper und seine Ableitungen bis zur dritten Ordnung, Sonderheft 11 d. Ö.Z.f.V. (1951).
- [3] K. JUNG, Zur Bestimmung der Bodendichte nach dem Nettleton - Verfahren, Z.f. Geophysik 19 (Sonderband) (1953).
- [4] M. TOPERCZER, Lehrbuch der allgemeinen Geophysik, Wien 1960.
- [5] F. GASSMANN, Zur gravimetrischen Bestimmung von Gesteinsdichten und Lotlinien in der Erdkruste, Schw.Z.f.V. u. Kuiturt. 58 (1960)1
- [6] H. WATERMANN, Ein "absolutes" System mittlerer Geländehöhen als Voraussetzung für eine rationelle Berechnung topographischer Reduktionen,
- [7] K. JUNG, Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik, Leipzig 1961.
- [8] W. EMBACHER, Ein Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Bodendichte, Ö.Z.f.V. 49 (1961) Nr. 4.
- [9] W. EMBACHER, Die Lotkrümmung und das Gravimeterversuchsfeld am Buschberg, Ö.Z.f.V. 53 (1965) Nr. 1.
- [10] A. GRAF, Gravimetrische Instrumente und Meßmethoden J.E.K., Handbuch der Vermessungskunde, Band Va, Stuttgart 1967
- [11] R. BREIN, Elektrische Messung von Schweredifferenzen mit einem LaCoste - Romberg - Gravimeter, DGK, Reihe B, Heft Nr. 141, 1967
- [12] R. SAUER u. I. SZABO', Mathematische Hilfsmittel des Ingenieurs, die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen, Band 141, Teil III Berlin - Heidelberg - New York 1968.
- [13] W. EMBACHER, Zur Dichtebestimmung aus Schweremessungen Ö.Z.f.V. 57 (1969) Nr. 2 u. 4.



- [14] W. EHRISMANN, O. ROSENBACH u. P. STEINHAUSER,  
Untersuchungen zur Korrelation zwischen Freiluft-  
anomalie und Stationshöhe im Hochgebirge, Ö.Z.f.V.  
57 (1969) Nr. 6.
- [15] J. KETTLER, Über den Umgang mit dem ALGOL - Komplier  
der CD 3300 unter dem Betriebssystem MASTER,  
Mitteilungsblatt Nr. 3 des Rechenzentrums der  
Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen 1970.
- [16] B. BAUER, Messungen von Vertikalgradienten im kleinen  
Vermessungsbereich, Ö.Z.f.V. 59 (1971) Nr. 6.
- [17] R. BOTEZATU, M. VISARION, F. SCURTU u. G. CUCU,  
Approximation of the gravitational Attraction of  
geological bodies, Geophysical Prospecting 19, (1971).
- [18] M.J. LONGMAN u. D.E. LEAMAN, Rapid numerical evaluation  
of two - dimensional gravity profiles, Geophysical  
Prospecting 19 (1971).
- [19] I.N. BRONSTEIN u. K.A. SEMENDJAJEW, Taschenbuch der  
Mathematik, Frankfurt/M. - Zürich, 1972.

A N H A N G    A

Tabellen und Schwereprofilkurven der  
einsturzgefährdeten Hohlräume St. Stefan  
(Straße Nord, Strecke I, Strecke II)

(Programme: RED u. TOPO)

PUNKT NR	AN HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PRELY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
304 001	441,068	490	295	100		100		100		100		100		100		100	
304 002	441,084	498	290	100	0	107	7	115	15	122	22	113	13	112	12	110	10
304 003	441,109	491	288	95	5-	105	2-	116	1	126	4	114	1	110	2-	107	3-
304 004	441,108	503	293	120	25	123	18	126	10	129	3	125	11	122	12	119	12
304 005	441,240	465	290	112	8-	120	3-	127	1	135	6	128	3	114	8-	99	20-
303 001	441,197	500	292	140	28	144	24	149	22	153	18	150	22	139	25	128	29
303 002	441,215	500	292	145	5	150	6	154	5	159	6	155	5	143	4	131	3
303 003	441,224	510	293	161	16	164	14	167	13	170	11	168	13	155	12	142	11
303 004	441,281	497	298	178	17	174	10	169	2	165	5-	173	5	155	0	137	5-
303 005	441,272	481	296	154	24-	152	22-	151	18-	149	16-	154	19-	137	18-	120	17-
303 006	441,290	496	295	171	17	171	19	171	20	171	22	175	21	156	19	137	17
303 007	441,281	503	296	179	8	177	6	176	5	174	3	179	4	161	5	143	6
303 008	441,234	519	295	178	1-	178	1	178	2	178	4	180	1	166	5	152	9
303 009	441,213	536	303	210	32	198	20	186	8	174	4-	191	11	179	13	166	14
303 010	441,208	541	308	228	18	208	10	189	3	169	5-	194	3	182	3	171	5
303 011	441,130	548	297	182	46-	179	29-	176	13-	173	4	177	17-	172	10-	167	4-
302 001	441,112	565	299	198	16	192	13	186	10	180	7	189	12	185	13	181	14
302 002	441,051	596	303	221	23	209	17	197	11	185	5	201	12	202	17	204	23
303 003	441,032	616	306	243	22	227	18	210	13	194	9	215	14	218	16	221	17
302 004	440,979	634	300	230	13-	223	4-	215	5	208	14	217	2	224	6	231	10
302 005	440,891	664	297	227	3-	224	1	221	6	218	10	219	2	234	10	249	18
302 006	440,871	666	308	249	22	229	5	210	11-	190	28-	215	4-	232	2-	248	1-
302 007	440,841	679	298	229	20-	225	4-	220	10	216	26	219	4	238	6	257	9
302 008	440,833	714	293	250	21	253	28	256	36	259	43	251	32	271	33	291	34
302 009	440,781	738	302	279	29	269	16	258	2	248	11-	259	8	284	13	308	17
302 010	440,785	734	299	270	9-	264	5-	258	0	252	4	257	2-	280	4-	304	4-
302 011	440,694	785	290	274	4	281	17	289	31	296	44	280	23	311	31	342	38
302 012	440,740	783	292	290	16	294	13	299	10	303	7	292	12	319	8	347	5
302 013	440,682	807	292	297	7	301	7	306	7	310	7	298	6	330	11	363	16
302 014	440,699	805	296	308	11	307	6	305	1-	304	6-	301	3	332	2	363	0
302 015	440,642	814	290	288	20-	295	12-	303	2-	310	6	293	8-	328	4-	364	1
302 016	440,666	817	296	311	23	309	14	308	5	306	4-	303	10	337	9	370	6
302 017	440,634	826	291	299	12-	305	4-	311	3	317	11	302	1-	338	1	375	5
302 018	440,667	824	295	316	17	316	11	316	5	316	1-	310	8	344	6	378	3
302 019	440,641	824	301	321	5	312	4-	303	13-	294	22-	302	8-	338	6-	374	4-
302 020	440,544	844	293	295	26-	298	14-	301	2-	304	10	292	10-	336	2-	380	6
301 001	440,547	844	298	306	11	302	4	297	4-	293	11-	293	1	337	1	381	1
302 002	440,594	829	301	312	6	303	1	294	3-	285	8-	293	0	332	5-	372	9-
301 003	440,558	840	296	302	10-	300	3-	299	5	297	12	293	0	335	3	378	6
301 004	440,563	840	298	307	5	303	3	298	1-	294	3-	294	1	337	2	379	1
301 005	440,634	824	295	306	1-	306	3	306	8	306	12	300	6	336	1-	373	6-
301 006	440,618	833	300	321	15	313	7	306	0	298	8-	304	4	342	6	380	7
30 001	440,600	851	298	329	8	325	12	320	14	316	18	317	13	356	14	395	15
30 002	440,550	876	299	341	12	335	10	329	9	323	7	326	9	370	14	413	18
30 003	440,553	884	302	356	15	346	11	335	6	325	2	335	9	378	8	421	8
30 004	440,432	907	296	331	25-	330	16-	328	7-	327	2	321	14-	374	4-	427	6

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
30 005	440,368	915	296	320	11-	319	11-	317	11-	316	11-	309	12-	368	6-	426	1-
30 006	440,381	917	297	328	8	325	6	322	5	319	3	315	6	373	5	430	4
30 007	440,371	942	301	358	30	349	24	340	18	331	12	337	22	395	22	454	24
30 008	440,315	953	294	339	19-	341	8-	342	2	344	13	331	6-	394	1-	457	3
30 009	440,328	962	296	356	17	354	13	353	11	351	7	344	13	406	12	468	11
30 010	440,321	965	303	369	13	357	3	345	8-	333	18-	344	0	407	1	470	2
30 011	440,323	962	290	343	26-	351	6-	358	13	366	33	342	2-	405	2-	467	3-
101 001	440,397	950	306	383	40	366	15	350	8-	333	33-	353	11	409	4	466	1-
101 002	440,366	956	290	350	33-	357	9-	365	15	372	39	349	4-	408	1-	467	1
101 003	440,404	948	296	364	14	363	6	361	4-	360	12-	353	4	409	1	465	2-
101 004	440,371	956	292	355	9-	359	4-	364	3	368	8	351	2-	409	0	468	3
101 005	440,313	991	300	387	32	380	21	372	8	365	3-	368	17	431	22	495	27
101 006	440,303	999	299	391	4	385	5	379	7	373	8	373	5	437	6	501	6
101 007	440,269	1008	300	391	0	384	1-	376	3-	369	4-	371	2-	438	1	506	5
101 008	440,265	1013	307	407	16	389	5	371	5-	353	16-	375	4	443	5	510	4
102 001	440,263	1034	296	408	1	407	18	405	34	404	51	396	21	463	20	531	21
102 002	440,209	1057	294	412	4	413	6	415	10	416	12	402	6	474	11	546	15
102 003	440,232	1039	293	399	13-	402	11-	405	10-	408	8-	391	11-	461	13-	531	15-
102 004	440,284	1038	295	417	18	417	15	417	12	417	9	406	15	472	11	538	7
102 005	440,257	1054	289	414	3-	423	6	432	15	441	24	414	8	482	10	550	12
102 006	440,133	1089	292	418	4	423	0	427	5-	432	9-	410	4-	489	7	567	17
103 001	440,186	1076	295	426	8	426	3	426	1-	426	6-	414	4	488	1-	562	5-
103 002	440,214	1079	297	440	14	437	11	434	8	431	5	425	11	497	9	569	7
103 003	440,257	1076	297	450	10	447	10	444	10	441	10	436	11	504	7	572	3
103 004	440,279	1083	287	446	4-	458	11	470	26	482	41	450	14	516	12	582	10
103 005	440,258	1099	297	474	28	471	13	468	2-	465	17-	459	9	527	11	595	13
103 006	440,297	1091	301	484	10	475	4	466	2-	457	8-	463	4	528	1	592	3-
103 007	440,293	1098	298	485	1	480	5	476	10	471	14	469	6	534	6	599	7
103 008	440,312	1097	296	486	1	484	4	483	7	481	10	474	5	537	3	601	2
103 009	440,320	1095	284	464	22-	481	3-	497	14	514	33	474	0	537	0	600	1-
104 001	440,318	1110	299	506	42	500	19	494	3-	488	26-	489	15	551	14	614	14
104 002	440,314	1105	292	487	19-	492	8-	496	2	501	13	482	7-	546	5-	609	5-
104 003	440,303	1109	291	486	1-	492	0	498	2	504	3	483	1	547	1	611	2
104 004	440,358	1105	294	504	18	505	13	507	9	508	4	496	13	555	8	615	4
104 005	440,360	1112	296	515	11	514	9	512	5	511	3	504	8	563	8	622	7
104 006	440,390	1109	296	521	6	519	5	518	6	516	5	510	6	567	4	624	2
105 001	440,391	1113	301	535	14	526	7	517	1-	508	8-	514	4	571	4	628	4
105 002	440,422	1106	299	533	2-	527	1	521	4	515	7	517	3	571	0	625	3-
105 003	440,457	1090	294	518	15-	519	8-	521	0	522	7	511	6-	563	8-	614	11-
105 004	440,542	1070	297	529	11	526	7	523	2	520	2-	518	7	562	1-	606	8-
105 005	440,683	1038	299	543	14	537	11	531	8	525	5	529	11	561	1-	594	12-
105 006	440,794	1013	299	551	8	545	8	539	8	533	8	538	9	561	0	584	10-
105 007	441,491	859	310	639	88	616	71	594	55	571	38	600	62	564	3	529	55-
105 008	441,407	898	317	672	33	639	23	606	12	573	2	613	13	584	20	556	27
105 009	441,356	893	320	659	13-	622	17-	584	22-	547	26-	592	21-	568	16-	544	12-
106 001	440,599	1050	281	492	167-	513	109-	534	50-	555	8	515	77-	555	13-	594	50

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
106 002	440,336	1124	305	536	44	521	8	506	28-	491	64-	508	7-	570	15	631	37
106 003	440,295	1131	303	527	9-	515	6-	503	3-	491	0	502	6-	567	3-	632	1
106 004	440,226	1153	299	522	5-	516	1	510	7	504	13	503	1	574	7	644	12
106 005	440,181	1167	300	524	2	516	0	509	1-	501	3-	503	0	578	4	652	8
106 006	440,131	1182	306	534	10	517	1	501	8-	484	17-	503	0	581	3	660	8
107 001	440,153	1169	288	498	36-	508	9-	519	18	529	45	497	6-	573	8-	650	10-
107 002	440,117	1189	303	531	33	519	11	507	12-	495	34-	506	9	585	12	665	15
107 003	440,148	1182	303	534	3	522	3	510	3	498	3	508	2	585	0	662	3-
107 004	440,145	1192	293	526	8-	529	7	532	22	535	37	517	9	595	10	672	10
107 005	440,157	1191	303	546	20	534	5	522	10-	510	25-	520	3	596	1	673	1
107 006	440,106	1202	296	530	16-	528	6-	527	5	525	15	515	5-	596	0	677	4
107 007	440,083	1210	293	526	4-	529	1	532	5	535	10	516	1	599	3	681	4
107 008	440,155	1197	295	538	12	538	9	538	6	538	3	525	9	602	3	678	3-
107 009	440,129	1214	301	557	19	548	10	539	1	530	8-	534	9	613	11	692	14
108 001	440,107	1218	291	538	19-	544	4-	550	11	556	26	531	3-	612	1-	693	1
108 002	440,079	1225	287	531	7-	543	1-	555	5	567	11	530	1-	613	1	696	3
108 003	440,083	1235	296	556	25	555	12	553	2-	552	15-	541	11	624	11	706	10
108 004	440,077	1244	297	565	9	562	7	559	6	556	4	548	7	631	7	714	8
108 005	440,060	1241	299	560	5-	554	8-	548	11-	542	14-	540	8-	625	6-	709	5-
108 006	440,022	1254	299	562	2	556	2	550	2	544	2	541	1	629	4	717	8
108 007	440,078	1231	294	547	15-	549	7-	550	0	552	8	535	6-	619	10-	702	15-
108 008	440,045	1242	298	555	8	550	1	546	4-	541	11-	536	1	622	3	708	6
108 009	439,971	1257	294	542	13-	543	7-	545	1-	546	5	526	8-	621	1-	713	5
108 010	439,957	1264	297	549	7	546	3	543	2-	540	6-	531	3	624	3	718	5
109 001	439,926	1276	296	551	2	549	3	548	5	546	6	534	3	629	5	725	7
109 002	439,937	1273	294	548	3-	549	0	551	3	552	6	534	0	629	0	724	1-
109 003	439,934	1274	295	549	1	549	0	549	2-	549	3-	534	0	629	0	724	0
109 004	439,962	1269	299	559	10	553	4	547	2-	541	8-	538	4	630	1	723	1-
109 005	439,970	1268	298	559	0	554	1	550	3	545	4	539	1	631	1	723	0
109 006	439,977	1262	293	547	12-	550	4-	553	3	556	11	535	4-	627	4-	718	5-
109 007	439,976	1264	290	544	3-	552	2	559	6	567	11	537	2	629	2	720	2
109 008	439,975	1268	293	553	9	556	4	559	0	562	5-	541	4	632	3	724	4
109 009	439,998	1263	291	551	2-	557	1	563	4	569	7	543	2	633	1	722	2-
109 010	440,049	1249	291	552	1	558	1	564	1	570	1	545	2	630	3-	716	0-
109 011	440,176	1220	298	572	20	567	9	563	1-	558	12-	555	10	630	0	704	12-
109 012	440,289	1202	293	579	7	582	15	585	22	588	30	572	17	637	7	702	2-
110 001	440,402	1176	311	620	41	596	14	572	13-	548	40-	580	8	636	1-	692	10-
110 002	440,291	1209	299	597	23-	591	5-	585	13	579	31	579	1-	644	8	710	18
110 003	440,200	1232	292	581	16-	585	6-	590	5	594	15	574	5-	647	3	720	10
110 004	440,080	1265	300	591	10	584	1-	576	14-	569	25-	570	4-	653	6	736	16
110 005	439,971	1292	298	583	8-	578	6-	574	2-	569	0	563	7-	656	3	746	12
110 006	439,911	1321	289	581	2-	590	12	599	25	608	39	574	11	671	15	708	20
110 007	439,823	1350	295	593	12	593	3	593	6-	593	15-	576	2	680	9	785	17
111 001	439,769	1367	295	594	1	594	1	594	1	594	1	576	0	685	5	794	9
111 002	439,751	1375	292	593	1-	597	3	602	8	606	12	579	3	689	4	800	6
111 003	439,731	1382	294	596	3	598	1	599	3-	601	5-	579	0	692	3	804	4

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
111 004	439,722	1390	292	599	3	604	6	608	9	613	12	585	6	698	6	810	6
111 005	439,703	1392	292	596	3-	600	4-	605	3-	609	4-	581	4-	695	3-	810	0
111 006	439,711	1390	289	592	4-	601	1	610	5	619	10	581	0	695	0	809	1-
112 001	439,688	1431	299	639	47	633	32	627	17	621	2	615	34	731	36	847	36
112 002	439,725	1431	300	651	12	643	10	636	9	628	7	627	12	739	8	852	5
112 003	439,700	1439	297	648	3-	645	2	642	6	639	11	627	0	742	3	856	4
112 004	439,692	1439	296	644	4-	643	2-	641	1-	640	1	624	3-	740	2-	855	1-
112 005	439,632	1469	301	662	18	653	10	644	3	635	5-	636	12	756	16	877	22
112 006	439,622	1470	305	665	3	650	3-	635	9-	620	15-	634	2-	755	1-	876	1-
112 007	439,588	1473	294	645	20-	647	3-	648	13	650	30	626	8-	750	5-	875	1-
112 008	439,522	1494	296	649	4	647	0	646	2-	644	6-	627	1	757	7	886	11
113 001	439,497	1500	295	650	1	645	2-	641	5-	636	8-	625	2-	757	0	889	3
113 002	439,491	1509	293	652	2	655	10	658	17	661	25	632	7	765	8	897	8
113 003	439,487	1514	300	663	11	655	0	648	10-	640	21-	636	4	769	4	901	4
113 004	439,482	1517	296	660	3-	659	4	657	9	656	16	638	2	771	2	904	3
113 005	439,449	1532	299	668	8	662	3	656	1-	650	6-	642	4	778	7	914	10
113 006	439,432	1533	297	662	6-	659	3-	656	0	653	3	638	4-	775	3-	913	1-
113 007	439,422	1528	295	652	10-	652	7-	652	4-	652	1-	630	8-	768	7-	906	7-
113 008	439,489	1512	296	657	5	656	4	654	2	653	1	635	5	767	1-	906	6-
113 009	439,518	1510	296	664	7	662	6	661	7	659	6	642	7	772	5	902	2
113 010	439,552	1509	297	674	10	671	9	668	7	665	6	651	9	778	6	906	4
113 011	439,666	1488	289	677	3	686	15	695	27	704	39	665	14	783	5	901	5-
113 012	439,730	1486	294	700	23	702	16	703	8	705	1	683	18	795	12	908	7
114 001	439,830	1478	298	727	27	722	20	718	15	713	8	706	23	810	15	914	6
114 002	439,844	1472	289	713	14-	722	0	731	13	740	27	704	2-	807	3-	910	4-
114 003	439,958	1475	305	772	59	757	35	742	11	727	13-	742	38	836	29	929	19
114 004	440,033	1444	301	758	14-	749	8-	740	2-	731	4	735	7-	821	15-	908	21-
114 005	439,755	1494	290	710	48-	718	31-	725	15-	733	2	699	36-	809	12-	919	11
114 006	439,443	1565	293	694	16-	697	21-	700	25-	703	30-	674	25-	810	1	946	27
114 007	439,341	1576	296	677	17-	676	21-	674	26-	673	30-	653	21-	798	12-	943	3-
115 001	439,158	1617	300	667	10-	659	17-	652	22-	644	29-	638	15-	798	0	958	15

EOF

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
406 001	440,721	415	290	100		100		100		100		100		100		100	
406 002	440,672	445	294	124	24	118	18	112	12	106	6	115	15	119	14	123	23
406 003	440,656	449	295	126	2	118	0	111	1-	103	3-	114	1-	119	0	125	2
406 004	440,698	443	294	130	4	124	6	118	7	112	9	121	7	123	4	125	0
406 005	440,651	468	294	141	11	135	11	129	11	123	11	131	10	137	14	143	18
406 006	440,636	469	295	158	17	150	15	143	14	135	12	146	15	148	11	150	7
406 007	440,627	490	296	161	3	152	2	143	0	134	1-	146	0	154	6	162	12
406 008	440,661	487	292	159	2-	156	4	153	10	150	16	153	7	159	5	164	2
406 009	440,631	505	299	183	24	170	14	156	3	143	7-	162	9	170	11	177	13
406 010	440,620	514	300	191	8	176	6	161	5	146	3	168	6	176	6	185	8
406 011	440,675	502	306	208	17	184	8	160	1-	136	10-	173	5	177	1	181	4-
406 012	440,644	515	298	195	13-	183	1-	171	11	159	23	176	3	183	6	189	8
405 001	440,625	526	296	196	1	187	4	178	7	169	10	181	5	189	6	197	8
405 002	440,564	547	296	199	3	190	3	181	3	172	3	184	3	197	8	210	13
405 003	440,536	555	295	197	2-	189	1-	182	1	174	2	183	1-	198	1	214	4
405 004	440,509	567	294	199	2	193	4	187	5	181	7	187	4	204	6	222	8
405 005	440,467	586	293	203	4	199	6	194	7	190	9	193	6	214	10	235	13
405 006	440,383	606	297	206	3	196	3-	185	9-	175	15-	187	6-	215	1	243	8
405 007	440,314	628	294	202	4-	196	0	190	5	184	9	187	0	222	7	256	13
404 001	440,392	609	294	206	4	200	4	194	4	188	4	192	5	220	2-	248	8-
404 002	440,376	626	301	232	26	215	15	199	5	182	6-	205	13	233	13	262	14
404 003	440,366	632	294	222	10-	216	1	210	11	204	22	207	2	237	4	267	5
404 004	440,348	640	293	222	0	218	2	213	3	209	5	210	3	241	4	272	5
404 005	440,346	649	294	233	11	227	9	221	8	215	6	218	8	250	4	281	9
404 006	440,403	641	295	243	10	236	9	228	7	221	6	228	10	255	5	281	0
404 007	440,345	665	299	258	15	244	8	231	3	217	4-	234	6	266	11	297	16
404 008	440,367	661	298	258	0	246	2	234	3	222	5	237	3	266	0	296	1-
403 001	440,281	682	300	257	1-	242	4-	227	7-	212	10-	231	6-	268	2	305	9
403 002	440,315	680	298	262	5	250	8	238	11	226	14	240	9	274	6	308	3
403 003	440,305	689	301	273	11	257	7	240	2	224	2-	246	6	281	7	315	7
403 004	440,286	699	298	272	1-	260	3	248	8	236	12	250	4	286	5	323	8
403 005	440,271	705	293	265	7-	260	0	256	8	251	15	251	1	289	3	327	4
403 006	440,305	700	292	268	3	265	5	262	6	259	8	257	6	292	3	326	1-
403 007	440,321	703	300	290	22	275	10	260	2-	245	14-	265	8	298	6	332	6
403 008	440,261	723	295	283	7-	276	1	268	8	261	16	266	1	305	7	343	11
403 009	440,241	725	292	274	9-	271	5-	268	0	265	4	262	4-	302	3-	342	1-
403 010	440,299	716	297	291	17	281	10	270	2	260	5-	271	9	306	4	342	0
403 011	440,270	723	294	284	7-	278	3-	272	2	266	6	269	2-	307	1	344	2
402 001	440,296	714	293	281	3-	277	1-	272	0	268	2	268	1-	304	3-	339	5-
402 002	440,345	726	291	304	23	302	25	301	29	299	31	295	27	327	23	358	19
402 003	440,426	712	295	321	17	314	12	306	5	299	0	306	11	331	4	355	3-
402 004	440,563	682	298	338	17	326	12	314	8	302	3	318	12	331	0	345	10-
402 005	440,591	682	298	346	8	334	8	322	8	310	8	327	9	338	7	349	4
402 006	440,665	663	293	338	8-	334	0	329	7	325	15	331	4	335	3-	340	9-
402 007	440,758	647	297	359	21	348	14	338	9	327	2	343	12	340	5	337	3-
402 008	440,909	621	296	375	16	366	18	357	19	348	21	364	21	348	8	332	5-

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
402 009	440,906	627	299	387	12	374	8	360	3	347	1-	369	5	354	6	338	6
401 001	440,916	635	302	406	19	388	14	370	10	352	5	380	11	364	10	347	9
401 002	440,789	669	300	397	9-	382	6-	367	3-	352	0	375	5-	369	5	364	17
401 003	440,619	709	290	364	33-	364	18-	364	3-	364	12	363	12-	371	2	380	16
401 004	440,479	753	293	373	9	369	5	364	0	360	4-	363	0	383	12	404	24
401 005	440,310	796	290	362	11-	362	7-	362	2-	362	2	354	9-	389	6	423	19
40 001	440,343	795	298	385	23	373	11	361	1-	349	13-	363	9	395	6	427	4
40 002	440,380	784	300	389	4	374	1	359	2-	344	5-	364	1	392	3-	421	6-
40 003	440,370	789	293	378	11-	373	1-	369	10	364	20	366	2	395	3	425	4
40 004	440,316	813	297	393	15	383	10	372	3	362	2-	373	7	407	12	441	16
40 005	440,379	807	301	411	18	394	11	378	6	361	1-	384	11	413	6	443	2
40 006	440,327	822	299	409	2-	396	2	382	4	369	8	385	1	418	5	452	9
40 007	440,344	819	300	413	4	398	2	383	1	368	1-	388	3	419	1	451	1-
40 008	440,342	823	296	409	4-	400	2	391	8	382	14	391	3	423	4	455	4
40 009	440,430	810	296	422	13	413	13	404	13	395	13	405	14	430	7	454	1-
41 001	440,358	845	296	436	14	427	14	418	14	409	14	418	13	448	18	479	25
41 002	440,427	837	298	452	16	440	13	428	10	416	7	431	13	456	8	481	2
41 003	440,435	836	302	461	9	443	3	425	3-	407	9-	433	2	457	1	481	0
41 004	440,367	860	303	467	6	447	4	428	3	408	1	436	3	465	8	495	14
41 005	440,334	865	304	463	4-	442	5-	421	7-	400	8-	431	5-	463	2-	496	1
41 006	440,258	879	305	456	7-	434	8-	411	10-	389	11-	421	10-	460	3-	499	3
42 001	440,137	917	296	442	14-	433	1-	424	13	415	26	422	1	471	11	520	21
42 002	440,075	940	294	444	2	438	5	432	8	426	11	426	4	480	9	534	14
4201 001	440,068	948	301	461	17	444	6	428	4-	411	15-	431	5	486	6	541	7
4201 002	440,033	967	295	460	1-	453	9	445	17	438	27	440	9	497	11	555	14
4201 003	439,997	988	295	471	11	463	10	456	11	448	10	450	10	510	13	571	16
4201 004	440,015	993	308	501	30	474	11	447	9-	420	28-	460	10	519	9	579	8
4201 005	440,011	1000	298	491	10-	479	5	467	20	455	35	466	6	525	6	585	6
4201 006	440,007	1008	299	500	9	486	7	473	6	459	4	473	7	533	8	592	7
43 001	439,960	1021	292	488	12-	485	1-	482	9	479	20	471	2-	535	2	599	7
43 002	439,955	1024	290	487	1-	497	2	487	5	487	8	473	2	537	2	601	2
43 003	439,970	1031	295	506	19	498	11	491	4	483	4-	484	11	547	10	610	9
43 004	439,925	1053	298	519	13	507	9	495	4	483	0	492	8	559	12	626	16
43 005	439,884	1067	295	516	3-	509	2	501	6	494	11	494	2	564	5	634	8
43 006	439,837	1091	299	532	16	518	9	505	4	491	3-	503	9	577	13	652	18
43 007	439,875	1094	303	552	20	532	14	513	8	493	2	518	15	589	12	660	8
44 001	439,845	1101	300	545	7-	530	2-	515	2	500	7	516	2-	589	0	663	3
44 002	439,808	1121	296	549	4	540	10	531	16	522	22	524	8	601	12	677	14
44 003	439,864	1116	301	567	18	551	11	534	3	518	4-	537	13	608	7	680	3
44 004	439,819	1132	298	566	1-	554	3	542	8	530	12	539	2	614	6	690	10
44 005	439,885	1112	301	570	4	553	1-	537	5-	520	10-	539	0	609	5-	679	11-
44 006	439,862	1120	295	563	7-	555	2	548	11	540	20	540	1	612	3	684	5
44 007	439,938	1102	296	569	6	560	5	551	3	542	2	545	5	611	1-	677	7-
44 008	440,006	1092	298	582	13	570	10	558	7	546	4	556	11	616	5	676	1-
44 009	440,046	1091	307	607	25	581	11	556	2-	530	16-	568	12	624	8	681	5
44 010	440,128	1068	292	584	23-	581	0	578	22	575	45	570	2	620	4-	670	11-



PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
45 001	440,108	1074	288	578	6-	581	0	584	6	587	12	570	0	621	1	673	3
45 002	440,278	1040	293	602	24	597	16	593	9	588	1	588	18	625	4	663	10-
45 003	440,503	998	296	632	30	623	26	614	21	605	17	616	28	634	9	652	11-
45 004	441,233	848	309	733	101	705	82	676	62	648	43	691	75	648	14	605	47-
45 005	441,196	893	314	780	47	744	39	708	32	672	24	725	34	685	37	645	40
45 006	441,202	851	301	705	75-	689	55-	672	36-	656	16-	684	41-	644	41-	604	41-
45 007	440,097	1080	270	552	153-	582	107-	612	60-	642	14-	572	112-	625	19-	677	73
45 008	440,009	1118	289	595	43	597	15	598	14-	600	42-	583	11	643	18	703	26
45 009	439,894	1144	300	603	8	588	9-	573	25-	558	42-	574	9-	643	0	713	10
45 010	439,761	1172	295	585	18-	577	11-	570	3-	562	4	561	13-	641	2-	722	9
46 001	439,761	1172	296	586	1	577	0	568	2-	559	3-	561	0	641	0	722	0
46 002	439,763	1178	294	590	4	584	7	578	10	572	13	567	6	648	7	728	6
46 003	439,785	1181	298	605	15	593	9	581	3	569	3-	577	10	656	8	734	6
46 004	439,808	1183	300	616	11	601	8	586	5	571	2	586	9	663	7	739	5
46 005	439,862	1170	301	621	5	604	3	588	2	571	0	590	4	662	1-	734	5-
46 006	439,871	1169	298	618	3-	606	2	594	6	582	11	592	2	663	1	734	0
470 001	439,849	1176	301	623	5	606	0	590	4-	573	9-	592	0	665	2	738	4
470 002	439,881	1170	301	627	4	610	4	594	4	577	4	596	4	666	1	737	1-
470 003	439,880	1170	295	618	9-	611	1	603	9	596	19	595	1-	666	0	737	0
470 004	439,860	1176	304	630	12	609	2-	588	15-	567	29-	595	0	666	2	740	3
470 005	439,891	1179	293	627	3-	623	14	618	30	614	47	608	13	677	9	747	7
470 006	439,901	1191	299	651	24	637	14	624	6	610	4-	623	15	692	15	761	14
470 007	439,936	1185	299	655	4	642	5	628	4	615	5	628	5	694	2	759	2-
480 001	439,920	1189	300	656	1	641	1-	626	2-	611	4-	627	1-	694	0	761	2-
480 002	439,932	1179	295	642	14-	635	6-	627	1	620	9	621	6-	687	7-	753	8-
480 003	439,886	1190	296	641	1-	632	3-	623	4-	614	6-	617	4-	687	0	757	4
480 004	439,791	1208	300	636	5-	621	11-	606	17-	591	23-	606	11-	684	3-	762	5
480 005	439,778	1211	300	635	1-	620	1-	605	1-	590	1-	605	1-	684	0	763	1
480 006	439,687	1224	296	616	19-	607	13-	598	7-	589	1-	590	15-	677	7-	763	0
480 007	439,613	1238	295	607	9-	600	7-	592	6-	585	4-	581	9-	674	3-	767	4
480 008	439,509	1268	299	611	4	597	3-	584	8-	570	15-	579	2-	681	7	782	15
490 001	439,460	1278	290	597	14-	597	0	597	13	597	27	574	5-	680	1-	785	3
490 002	439,509	1272	301	617	20	600	3	584	13-	567	30-	583	9	685	5	786	1
490 003	439,464	1293	298	621	4	609	9	597	13	585	18	590	7	696	11	801	15
490 004	439,469	1297	299	628	7	614	5	601	4	587	2	596	6	701	5	806	5
491 001	439,447	1310	295	630	2	623	9	615	14	608	21	602	6	709	8	816	10
491 002	439,475	1297	295	626	4-	618	5-	611	4-	603	5-	597	5-	702	7-	807	9-
491 003	439,528	1288	297	634	8	624	6	613	2	603	0	605	8	705	3	805	2-
491 004	439,550	1289	298	643	9	631	7	619	6	607	4	613	8	711	6	809	4
491 005	439,633	1272	299	652	9	638	7	625	6	611	4	621	8	713	2	804	5-
491 006	439,707	1254	294	650	2-	644	6	638	13	632	21	626	5	711	2-	796	8-
491 007	439,836	1226	297	664	14	653	9	643	5	632	0	638	12	712	1	786	10-
491 008	439,927	1212	300	681	17	666	13	651	8	636	4	652	14	719	7	785	1-
491 009	440,104	1160	301	692	11	675	9	659	8	642	6	663	11	714	5-	766	19-
492 001	440,137	1162	299	692	0	679	4	665	6	652	10	667	4	716	2	765	1-
492 002	440,061	1195	298	701	9	689	10	677	12	665	13	676	9	732	16	787	22

PUNKT NR	HOEHE M	G GEM	VG GEM	VH1=438,5		VH2=440,0		VH3=441,5		VH4=443,0		FREILUFT		BOUGUER		PREY	
				G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED	G RED	HG RED
492 003	439,942	1214	293	677	24-	673	16-	668	9-	664	1-	659	17-	724	8-	789	2
492 004	439,826	1237	294	668	9-	662	11-	656	12-	650	14-	646	13-	721	3-	796	7
492 005	439,755	1250	290	655	13-	655	7-	655	1-	655	5	637	9-	718	3-	799	3
492 006	439,620	1280	296	652	3-	643	12-	634	21-	625	30-	625	12-	718	0	810	11
492 007	439,541	1299	298	650	2-	638	5-	626	8-	614	11-	620	5-	719	1	818	8
493 001	439,421	1327	292	637	13-	634	4-	631	5	628	14	611	9-	720	1	829	11
493 002	439,478	1316	298	648	11	636	2	624	7-	612	16-	617	6	722	2	826	3-
493 003	439,488	1310	294	641	7-	635	1-	629	5	623	11	614	3-	718	4-	821	5-
493 004	439,502	1320	294	655	14	649	14	643	14	637	14	629	15	731	13	833	12
493 005	439,620	1295	298	670	15	658	9	646	3	634	3-	640	11	733	2	825	8-
493 006	439,653	1287	297	670	0	660	2	649	3	639	5	642	2	732	1-	822	3-
493 007	439,669	1277	295	663	7-	655	5-	648	1-	640	1	637	5-	726	6-	814	8-
493 008	439,651	1286	294	665	2	659	4	653	5	647	7	641	4	731	5	820	6
493 009	439,551	1285	296	667	2	658	1-	649	4-	640	7-	640	1-	730	1-	819	1-
493 010	439,628	1291	294	664	3-	658	0	652	3	646	6	639	1-	730	0	822	3
493 011	439,602	1301	295	667	3	660	2	652	0	645	1-	641	2	735	5	828	6
493 012	439,688	1284	293	673	6	668	8	664	12	659	14	650	9	737	2	824	4-
493 013	439,688	1291	302	691	18	673	5	655	9-	637	22-	657	7	744	7	831	7
493 014	439,748	1275	294	683	8-	677	4	671	16	665	28	660	3	741	3-	823	8-
493 015	439,741	1285	295	692	9	685	8	677	6	670	5	668	8	750	9	832	9
493 016	439,652	1319	292	696	4	693	8	690	13	687	17	674	6	764	14	853	21
494 001	439,640	1334	300	717	21	702	9	687	3-	672	15-	685	11	776	12	867	14
494 002	439,583	1349	298	713	4-	701	1-	689	2	677	5	683	2-	778	2	874	7
494 003	439,490	1375	293	706	7-	701	0	697	8	692	15	680	3-	783	5	867	13
494 004	439,454	1389	295	711	5	704	3	696	1-	689	3-	683	3	789	6	896	9
494 005	439,404	1403	294	710	1-	704	0	698	2	692	3	682	1-	792	3	903	7
494 006	439,453	1397	297	721	11	710	6	700	2	689	3-	691	9	797	5	903	0
494 007	439,472	1392	297	722	1	711	1	701	1	690	1	692	1	796	1-	901	2-
494 008	439,483	1393	296	725	3	716	5	707	6	698	8	696	4	800	4	904	3
494 009	439,529	1384	298	732	7	720	4	708	1	696	2-	701	5	801	1	901	3-
494 010	439,609	1359	301	734	2	717	3-	701	7-	684	12-	701	0	794	7-	887	14-
495 001	439,659	1350	292	729	5-	726	9	723	22	720	36	707	6	796	2	885	2-
495 002	439,808	1329	294	754	25	748	22	742	19	736	16	732	25	809	13	885	0
495 003	439,872	1331	290	770	16	770	22	770	28	770	34	754	22	825	16	896	11
495 004	439,990	1334	307	832	62	807	37	781	11	756	14-	793	39	855	30	916	20
495 005	440,082	1289	301	806	26-	790	17-	773	8-	757	1	777	16-	830	25-	884	32-
495 006	439,867	1340	297	787	19-	776	14-	766	7-	755	2-	761	16-	833	3	905	21
495 007	439,725	1372	297	777	10-	766	10-	756	10-	745	10-	750	11-	833	0	917	12
495 008	439,510	1413	293	750	27-	745	21-	741	15-	736	9-	724	26-	826	7-	927	10
495 009	439,301	1463	294	739	11-	733	12-	727	14-	721	15-	710	14-	829	3	948	21
496 001	438,739	1598	300	711	28-	696	37-	681	46-	666	55-	671	39-	838	9	1004	56

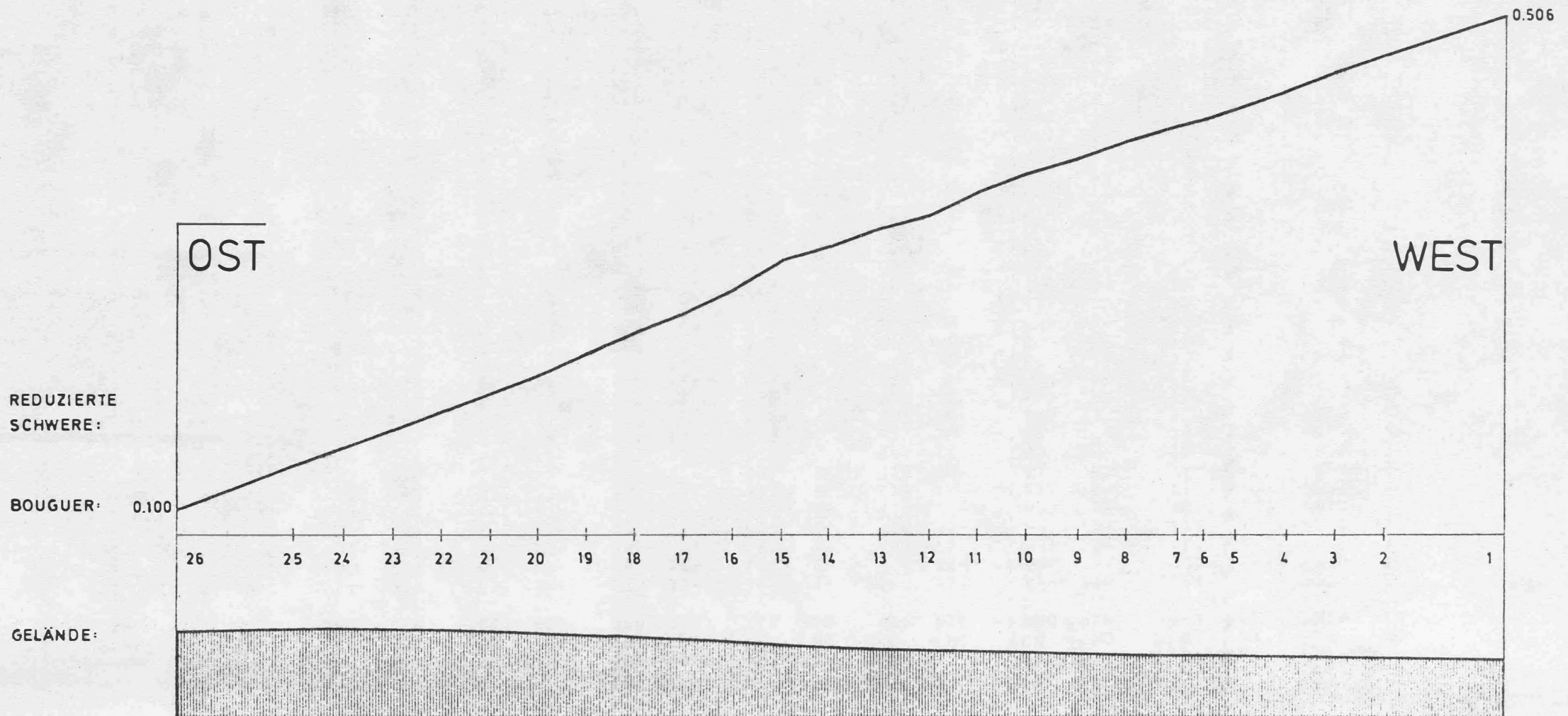
EOF

# EINSTURZGEFÄHRDETE HOHLRÄUME ST-STEFAN

Schwereprofil: STRASSE NORD



Maßstab: Längen 1:500    0    5    10m  
          Höhen 1:100    0    1    2m

Reduzierte Schwere 0.01mgal  $\cong$  2mm



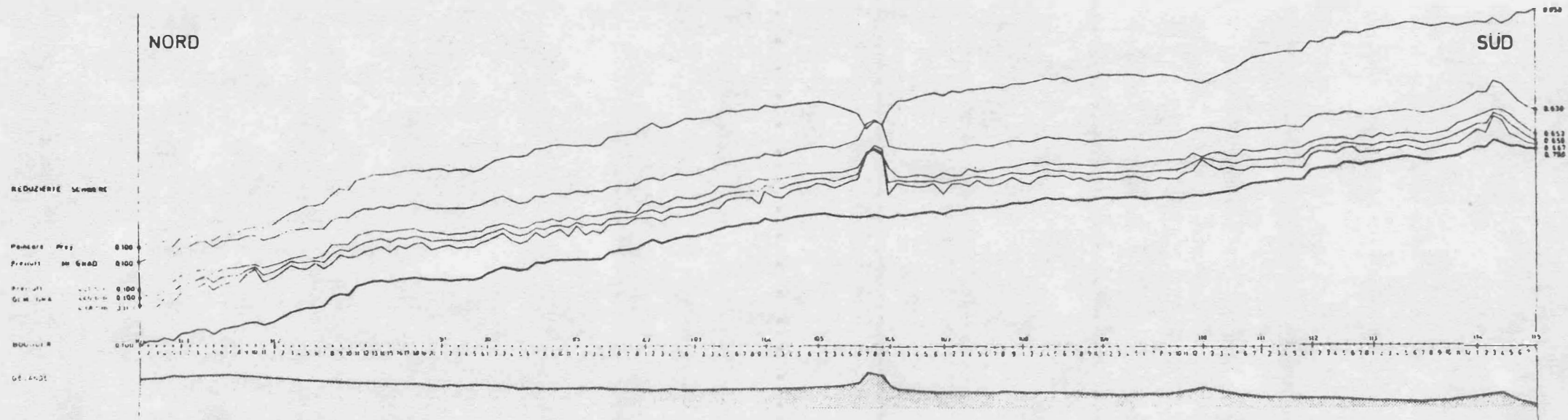
# EINSTURZGEFÄHRDETE HOHLRÄUME ST. STEFAN

Schwereprofil : STRECKE I

MASSTAB LÄNGEN 1:1000   
 HÖHEN 1:200 

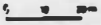

REDUZIERTE SCHWERE 0,01 mgal = 1 mm

79

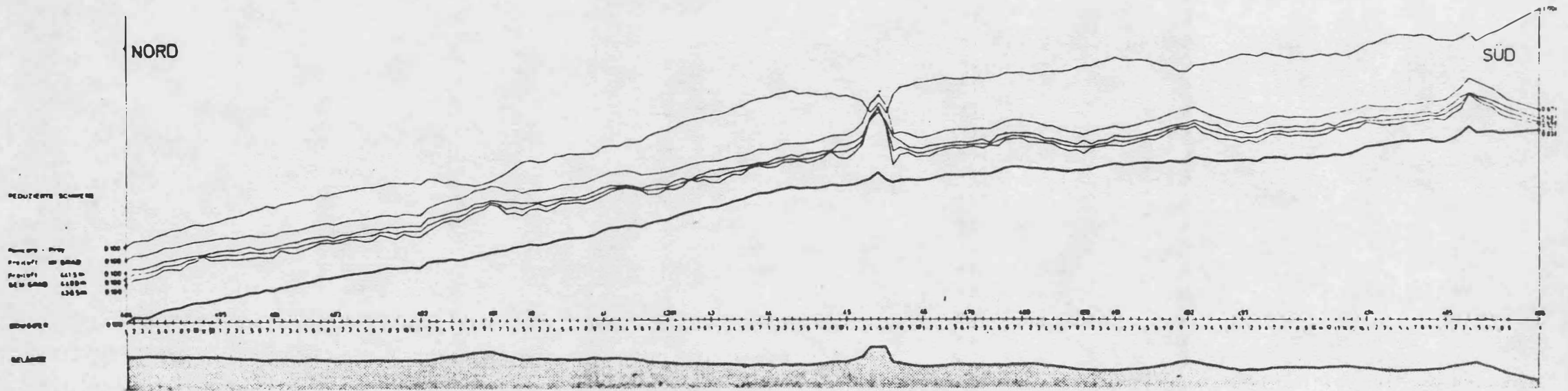


# EINSTURZGEFÄHRDETE HOHLRÄUME ST. STEFAN

Schwereprofil : STRECKE II

MASSTAB LÄNGEN 1:1000   
HÖHEN 1:200 

REDUZIERTE SCHWERE 0.01 mgal / 1 mm



A N H A N G B

Musterbeispiele zur Lokalisierung  
einer Störung (Programm: LOCO)

Beispiel 1

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 =  $66,7 \times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.02515918
2	1.00	0.01902827
3	2.00	0.00945930
4	3.00	0.00453824
5	4.00	0.00237839
6	5.00	0.00136364
7	6.00	0.00084249
8	7.00	0.00055267
9	8.00	0.00038041
10	9.00	0.00027225
11	10.00	0.00020119

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	$-4.23749 \times 10^{-6}$	2.225
2	0.50	$9.89826 \times 10^{-7}$	2.130
3	0.25	$3.90461 \times 10^{-7}$	2.110
4	0.13	$3.55215 \times 10^{-7}$	2.104
5	0.06	$3.52585 \times 10^{-7}$	2.103
6	0.03	$3.52416 \times 10^{-7}$	2.102
7	0.02	$3.52405 \times 10^{-7}$	2.102

TIEFE STOERZENTRUM = 2.10 M

VOLUMEN = 8.33 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.26 M

MITTLERER FEHLER = 0.00019 MGAL

Beispiel 1a

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

$K_2 = 66.7 \times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.02516000
2	1.00	0.01903000
3	2.00	0.00946000
4	3.00	0.00454000
5	4.00	0.00238000
6	5.00	0.00136000
7	6.00	0.00084000
8	7.00	0.00055000
9	8.00	0.00038000
10	9.00	0.00027000
11	10.00	0.00020000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-4.237817-06	2.225
2	0.50	9.911727-07	2.130
3	0.25	3.918917-07	2.110
4	0.13	3.566467-07	2.104
5	0.06	3.540167-07	2.103
6	0.03	3.538477-07	2.102
7	0.02	3.538377-07	2.102

TIEFE STOERZENTRUM = 2.10 M

VOLUMEN = 8.34 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.26 M

MITTLERER FEHLER = 0.00019 MGAL



Beispiel 2

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 3m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66,7#-4 SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00664091
2	1.00	0.00607522
3	2.00	0.00477280
4	3.00	0.00341706
5	4.00	0.00235880
6	5.00	0.00162593
7	6.00	0.00113818
8	7.00	0.00081440
9	8.00	0.00059646
10	9.00	0.00044676
11	10.00	0.00034163

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.96088#-08	4.084
2	0.50	7.50038#-09	4.032
3	0.25	6.84665#-10	4.020
4	0.13	2.70941#-10	4.016
5	0.06	2.43862#-10	4.016
6	0.03	2.42146#-10	4.015
7	0.02	2.42045#-10	4.015

TIEFE STOERZENTRUM = 4.02 M

VOLUMEN = 8.03 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.24 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 2a

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 3m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00664000
2	1.00	0.00608000
3	2.00	0.00477000
4	3.00	0.00342000
5	4.00	0.00236000
6	5.00	0.00163000
7	6.00	0.00114000
8	7.00	0.00081000
9	8.00	0.00060000
10	9.00	0.00045000
11	10.00	0.00034000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-2.06970 $\times 10^{-8}$	4.087
2	0.50	7.57831 $\times 10^{-9}$	4.034
3	0.25	7.78975 $\times 10^{-10}$	4.022
4	0.13	3.65901 $\times 10^{-10}$	4.019
5	0.06	3.38865 $\times 10^{-10}$	4.018
6	0.03	3.37158 $\times 10^{-10}$	4.018
7	0.02	3.37057 $\times 10^{-10}$	4.018

TIEFE STOEERZENTRUM = 4.02 M

VOLUMEN = 8.03 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.24 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 3

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00106708
2	1.00	0.00105128
3	2.00	0.00100615
4	3.00	0.00093775
5	4.00	0.00085418
6	5.00	0.00076363
7	6.00	0.00067289
8	7.00	0.00058678
9	8.00	0.00050814
10	9.00	0.00043826
11	10.00	0.00037731

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-6.08229 $\times 10^{-11}$	10.065
2	0.50	3.57131 $\times 10^{-11}$	10.017
3	0.25	2.19247 $\times 10^{-12}$	10.005
4	0.13	1.47216 $\times 10^{-13}$	10.002
5	0.06	1.44884 $\times 10^{-14}$	10.002
6	0.03	6.05072 $\times 10^{-15}$	10.001
7	0.02	5.60663 $\times 10^{-15}$	10.001

TIEFE STOERZENTRUM = 10.00 M

VOLUMEN = 8.00 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.24 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 3a

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

$K2 = 66.7 \times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00107000
2	1.00	0.00105000
3	2.00	0.00101000
4	3.00	0.00094000
5	4.00	0.00085000
6	5.00	0.00076000
7	6.00	0.00067000
8	7.00	0.00059000
9	8.00	0.00051000
10	9.00	0.00044000
11	10.00	0.00038000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	1.122867-10	10.040
2	0.50	1.445097-10	9.992
3	0.25	1.106327-10	9.981
4	0.13	1.085737-10	9.978
5	0.06	1.084397-10	9.977
6	0.03	1.084317-10	9.977
7	0.02	1.084307-10	9.977

TIEFE STOERZENTRUM = 9.98 M

VOLUMEN = 7.98 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.24 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 4

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 15m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00041687
2	1.00	0.00041444
3	2.00	0.00040729
4	3.00	0.00039581
5	4.00	0.00038063
6	5.00	0.00036250
7	6.00	0.00034221
8	7.00	0.00032056
9	8.00	0.00029829
10	9.00	0.00027601
11	10.00	0.00025421

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.76344 $\times 10^{-12}$	16.062
2	0.50	1.09317 $\times 10^{-12}$	16.015
3	0.25	6.69811 $\times 10^{-14}$	16.004
4	0.13	4.34375 $\times 10^{-15}$	16.001
5	0.06	2.63678 $\times 10^{-16}$	16.001
6	0.03	2.77556 $\times 10^{-17}$	16.001
7	0.02	1.38778 $\times 10^{-17}$	16.000

TIEFE STOERZENTRUM = 16.00 M

VOLUMEN = 8.00 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.24 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 4a

X Y Z

Würfel, Kantenlängen: 2m 2m 2m Überdeckung: 15m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66,7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00042000
2	1.00	0.00041000
3	2.00	0.00041000
4	3.00	0.00040000
5	4.00	0.00038000
6	5.00	0.00036000
7	6.00	0.00034000
8	7.00	0.00032000
9	8.00	0.00030000
10	9.00	0.00028000
11	10.00	0.00025000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	1.44240 $\times 10^{-10}$	15.797
2	0.50	1.26032 $\times 10^{-10}$	15.760
3	0.25	1.25132 $\times 10^{-10}$	15.749
4	0.13	1.25063 $\times 10^{-10}$	15.746
5	0.06	1.25059 $\times 10^{-10}$	15.745
6	0.03	1.25058 $\times 10^{-10}$	15.745
7	0.02	1.25058 $\times 10^{-10}$	15.745

TIEFE STOEZENTRUM = 15.75 M

VOLUMEN = 7.81 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.23 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 5

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 2m 3m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66,7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2,00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0,00	0,02926005
2	1,00	0,02272709
3	2,00	0,01225791
4	3,00	0,00644688
5	4,00	0,00363504
6	5,00	0,00219595
7	6,00	0,00140706
8	7,00	0,00094698
9	8,00	0,00066390
10	9,00	0,00048159
11	10,00	0,00035951

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1,00	-1,06527 $\times 10^{-5}$	2,368
2	0,50	6,05811 $\times 10^{-7}$	2,312
3	0,25	1,74858 $\times 10^{-7}$	2,292
4	0,13	1,36093 $\times 10^{-7}$	2,287
5	0,06	1,33531 $\times 10^{-7}$	2,286
6	0,03	1,33366 $\times 10^{-7}$	2,285
7	0,02	1,33356 $\times 10^{-7}$	2,285

TIEFE STOERZENTRUM = 2,29 M

VOLUMEN = 11,45 M<sup>3</sup>

RADIUS DER KUGEL = 1,40 M

MITTLERER FEHLER = 0,00012 MGAL

Beispiel 5a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 2m 3m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 = 56.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.02926000
2	1.00	0.02273000
3	2.00	0.01226000
4	3.00	0.00645000
5	4.00	0.00364000
6	5.00	0.00220000
7	6.00	0.00141000
8	7.00	0.00095000
9	8.00	0.00066000
10	9.00	0.00048000
11	10.00	0.00036000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.06628 $\times 10^{-5}$	2.369
2	0.50	6.06517 $\times 10^{-7}$	2.313
3	0.25	1.76770 $\times 10^{-7}$	2.293
4	0.13	1.38026 $\times 10^{-7}$	2.287
5	0.06	1.35466 $\times 10^{-7}$	2.286
6	0.03	1.35302 $\times 10^{-7}$	2.286
7	0.02	1.35291 $\times 10^{-7}$	2.286

TIEFE STOERZENTRUM = 2.29 M

VOLUMEN = 11.46 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.40 M

MITTLERER FEHLER = 0.00012 MGAL



Beispiel 6

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 2m 3m Überdeckung: 14m

EINGELESENE WERTE

K2 = 56.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00066976
2	1.00	0.00066555
3	2.00	0.00065318
4	3.00	0.00063341
5	4.00	0.00060737
6	5.00	0.00057643
7	6.00	0.00054205
8	7.00	0.00050564
9	8.00	0.00046846
10	9.00	0.00043155
11	10.00	0.00039573

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-9.64057 $\times 10^{-11}$	15.449
2	0.50	1.25069 $\times 10^{-12}$	15.437
3	0.25	2.49217 $\times 10^{-13}$	15.426
4	0.13	5.17364 $\times 10^{-14}$	15.423
5	0.06	3.94129 $\times 10^{-14}$	15.422
6	0.03	3.86358 $\times 10^{-14}$	15.422
7	0.02	3.85525 $\times 10^{-14}$	15.422

TIEFE STOERZENTRUM = 15.42 M

VOLUMEN = 11.94 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.42 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 6a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 2m 3m Überdeckung: 14m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times$ 10<sup>-4</sup> SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00067000
2	1.00	0.00067000
3	2.00	0.00065000
4	3.00	0.00063000
5	4.00	0.00061000
6	5.00	0.00058000
7	6.00	0.00054000
8	7.00	0.00051000
9	8.00	0.00047000
10	9.00	0.00043000
11	10.00	0.00040000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	1.74534 $\times$ 10	15.516
2	0.50	9.29348 $\times$ 11	15.515
3	0.25	4.26058 $\times$ 11	15.503
4	0.13	9.24118 $\times$ 11	15.501
5	0.06	9.23947 $\times$ 11	15.500
6	0.03	9.23990 $\times$ 11	15.500
7	0.02	9.23969 $\times$ 11	15.500

TIEFE STORZENTRUM = 15.50 M

VOLUMEN = 12.07 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.42 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 7

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 3m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 = 56.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.03285408
2	1.00	0.02525770
3	2.00	0.01310365
4	3.00	0.00648446
5	4.00	0.00345706
6	5.00	0.00200160
7	6.00	0.00124405
8	7.00	0.00081425
9	8.00	0.00056538
10	9.00	0.00040538
11	10.00	0.00029997

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.05027 $\times 10^{-5}$	2.292
2	0.50	1.27746 $\times 10^{-6}$	2.213
3	0.25	4.72639 $\times 10^{-7}$	2.193
4	0.13	4.17822 $\times 10^{-7}$	2.188
5	0.06	4.13963 $\times 10^{-7}$	2.186
6	0.03	4.13715 $\times 10^{-7}$	2.186
7	0.02	4.13699 $\times 10^{-7}$	2.186

TIEFE STOEZENTRUM = 2.19 M

VOLUMEN = 11.77 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.41 M

MITTLERER FEHLER = 0.00020 MGAL

Beispiel 7a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 3m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.03285000
2	1.00	0.02526000
3	2.00	0.01310000
4	3.00	0.00648000
5	4.00	0.00346000
6	5.00	0.00200000
7	6.00	0.00124000
8	7.00	0.00082000
9	8.00	0.00057000
10	9.00	0.00041000
11	10.00	0.00030000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.04979 $\times 10^{-5}$	2.292
2	0.50	1.28474 $\times 10^{-6}$	2.213
3	0.25	4.79762 $\times 10^{-7}$	2.193
4	0.13	4.24928 $\times 10^{-7}$	2.188
5	0.06	4.21068 $\times 10^{-7}$	2.186
6	0.03	4.20820 $\times 10^{-7}$	2.186
7	0.02	4.20804 $\times 10^{-7}$	2.186

TIEFE STOERZENTRUM = 2.19 M

VOLUMEN = 11.77 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.41 M

MITTLERER FEHLER = 0.00021 MGAL

Beispiel 8

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 3m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\pm$ 4 SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00159061
2	1.00	0.00156716
3	2.00	0.00150015
4	3.00	0.00139855
5	4.00	0.00127437
6	5.00	0.00113971
7	6.00	0.00100469
8	7.00	0.00087047
9	8.00	0.00075931
10	9.00	0.00065512
11	10.00	0.00056420

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-2.55680 $\pm$ -10	10.026
2	0.50	7.84921 $\pm$ -11	10.038
3	0.25	4.85034 $\pm$ -12	10.026
4	0.13	3.25628 $\pm$ -13	10.023
5	0.06	3.19744 $\pm$ -14	10.023
6	0.03	1.36557 $\pm$ -14	10.022
7	0.02	1.23235 $\pm$ -14	10.022

TIEFE STOERZENTRUM = 10.02 M

VOLUMEN = 11.98 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.42 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 8a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 3m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00159000
2	1.00	0.00157000
3	2.00	0.00150000
4	3.00	0.00140000
5	4.00	0.00127000
6	5.00	0.00114000
7	6.00	0.00100000
8	7.00	0.00088000
9	8.00	0.00076000
10	9.00	0.00066000
11	10.00	0.00056000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.63953 $\times 10^{-10}$	10.089
2	0.50	1.85773 $\times 10^{-10}$	10.041
3	0.25	1.12367 $\times 10^{-10}$	10.029
4	0.13	1.07851 $\times 10^{-10}$	10.026
5	0.06	1.07559 $\times 10^{-10}$	10.025
6	0.03	1.07540 $\times 10^{-10}$	10.025
7	0.02	1.07539 $\times 10^{-10}$	10.025

TIEFE STOERZENTRUM = 10.03 M

VOLUMEN = 11.98 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.42 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL

Beispiel 9

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 4m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 =  $66.7 \times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.03805653
2	1.00	0.02965487
3	2.00	0.01595035
4	3.00	0.00814071
5	4.00	0.00442536
6	5.00	0.00259312
7	6.00	0.00152401
8	7.00	0.00107487
9	8.00	0.00074438
10	9.00	0.00053505
11	10.00	0.00039665

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	$-1.74210 \times 10^{-5}$	2.354
2	0.50	$1.21169 \times 10^{-6}$	2.293
3	0.25	$4.10496 \times 10^{-7}$	2.273
4	0.13	$3.42819 \times 10^{-7}$	2.268
5	0.06	$3.38300 \times 10^{-7}$	2.267
6	0.03	$3.34009 \times 10^{-7}$	2.266
7	0.02	$3.37990 \times 10^{-7}$	2.266

TIEFE STOEZENTRUM = 2.27 M

VOLUMEN = 14.65 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.52 M

MITTLERER FEHLER = 0.00018 MGAL

Beispiel 9a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 4m 2m Überdeckung: 1m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7 $\times$ 10<sup>-4</sup> SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.03806000
2	1.00	0.02965000
3	2.00	0.01595000
4	3.00	0.00814000
5	4.00	0.00443000
6	5.00	0.00259000
7	6.00	0.00162000
8	7.00	0.00107000
9	8.00	0.00074000
10	9.00	0.00054000
11	10.00	0.00040000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-1.74121 $\times$ 10 <sup>-5</sup>	2.354
2	0.50	1.20627 $\times$ 10 <sup>-6</sup>	2.293
3	0.25	4.04046 $\times$ 10 <sup>-7</sup>	2.273
4	0.13	3.36370 $\times$ 10 <sup>-7</sup>	2.268
5	0.06	3.31849 $\times$ 10 <sup>-7</sup>	2.266
6	0.03	3.31558 $\times$ 10 <sup>-7</sup>	2.266
7	0.02	3.31540 $\times$ 10 <sup>-7</sup>	2.266

TIEFE STOERZENTRUM = 2.27 M

VOLUMEN = 14.65 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.52 M

MITTLERER FEHLER = 0.00016 MGAL



Beispiel 10

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 4m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

K2 =  $56,7 \times 10^{-4}$  SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00210256
2	1.00	0.00207173
3	2.00	0.00198363
4	3.00	0.00184999
5	4.00	0.00168652
6	5.00	0.00150911
7	6.00	0.00133107
8	7.00	0.00116184
9	8.00	0.00100706
10	9.00	0.00086931
11	10.00	0.00074901

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	$-7.31977 \times 10^{-10}$	10.114
2	0.50	$1.34461 \times 10^{-10}$	10.067
3	0.25	$8.42459 \times 10^{-12}$	10.055
4	0.13	$5.62439 \times 10^{-13}$	10.052
5	0.06	$5.35127 \times 10^{-14}$	10.051
6	0.03	$2.17604 \times 10^{-14}$	10.051
7	0.02	$1.93179 \times 10^{-14}$	10.051

TIEFE STOERZENTRUM = 10.05 M

VOLUMEN = 15.92 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.56 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL.

Beispiel 10a

X Y Z

Prisma, Kantenlängen: 2m 4m 2m Überdeckung: 9m

EINGELESENE WERTE

K2 = 66.7#-4 SIGMA = 2.00

PKT	ENTFERNUNG	DELTA G
1	0.00	0.00210000
2	1.00	0.00207000
3	2.00	0.00198000
4	3.00	0.00185000
5	4.00	0.00169000
6	5.00	0.00151000
7	6.00	0.00133000
8	7.00	0.00116000
9	8.00	0.00101000
10	9.00	0.00087000
11	10.00	0.00075000

NAEHERUNGEN

NR	DT	SUMME VV	TIEFE
1	1.00	-8.93667#-10	10.134
2	0.50	1.69113#-10	10.087
3	0.25	4.56020#-11	10.076
4	0.13	3.77831#-11	10.073
5	0.06	3.72773#-11	10.072
6	0.03	3.72454#-11	10.072
7	0.02	3.72431#-11	10.072

TIEFE STOEERZENTRUM = 10.07 M

VOLUMEN = 15.97 M3

RADIUS DER KUGEL = 1.56 M

MITTLERER FEHLER = 0.00000 MGAL



# Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie

Friedrich-Schmidt-Platz 3, 1082 Wien

## Sonderhefte zur Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie

- Sonderheft 20: H. G. Jerie, *Weitere Analogien zwischen Aufgaben der Mechanik und der Ausgleichsrechnung*. 24 Seiten mit 14 Abbildungen, 1960. Preis S 32,- (DM 5,50).
- Sonderheft 21: Mader, *Die zweiten Ableitungen des Newton'schen Potentials eines Kugelsegments — Topographisch berechnete partielle Geoidhebungen. — Tabellen zur Berechnung der Gravitation unendlicher, plattenförmiger, prismatischer Körper*. 36 Seiten mit 11 Abbildungen, 1960. Preis S 42,- (DM 7,50).
- Sonderheft 22: Moritz, *Fehlertheorie der Graphisch-Mechanischen Integration — Grundzüge einer allgemeinen Fehlertheorie im Funktionenraum*. 53 Seiten mit 6 Abbildungen, 1961. Preis S 52,- (DM 9,-)
- Sonderheft 23: Rinner, *Studien über eine allgemeine, voraussetzungslose Lösung des Folgebildanschlusses*. 44 Seiten, 1960. Preis S 48,- (DM 8,-)
- Sonderheft 24: *Hundertjahrfeier der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung 23. bis 25. Oktober 1963*. 125 Seiten mit 12 Abbildungen, 1964. Preis S 120,- (DM 20,-)
- Sonderheft 25: *Proceedings of the International Symposium Figure of the Earth and Refraction; Vienna, March 14<sup>th</sup>—17<sup>th</sup>, 1967*. 342 Seiten mit 150 Abbildungen, 1967. Preis S 370,- (DM 64,-).
- Sonderheft 26: Waldhäusl, *Funktionale Modelle der Streifen- und Streifenblockausgleichungen mit einfachen und Spline-Polynomen für beliebiges Gelände, 1973*. Preis S 100,- (DM 15,-)
- Sonderheft 27: Meyer, *Über die transalpine Ölleitung, 1974*, Preis S 70,- (DM 10,-)
- Sonderheft 28: *Festschrift Karl Ledersteger*. 317 Seiten, 1970. Preis S 200,- (DM 30,-)
- Sonderheft 29: Peters, *Die Problematik von Toleranzen bei Ingenieur- sowie Besitzgrenzvermessungen*. 227 Seiten, 1974. Preis S 120,- (DM 18,-)
- Sonderheft 30: Bauer, *Aufsuchen oberflächennaher Hohlräume mit dem Gravimeter*, 104 Seiten, 1975. Preis S 100,- (DM 15,-)

Dienstvorschrift Nr. 9. *Die Schaffung der Einschaltpunkte*; Sonderdruck des österreichischen Vereins für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 129 Seiten, 1974. Preis S 100,-

# Österreichische Staatskartenwerke

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

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

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

## Neuerscheinungen

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

## Österreichische Karte 1:50 000

86 Ammerwald	98 Liezen
87 Walchensee	116 Telfs
97 Mitterndorf i. Steir. Salzkammergut	

Österreichische Karte 1:200 000

Blatt 47/12 Bruneck      Blatt 47/15 Graz u. orohydr. Ausgabe      Blatt 49/16 Brunn

## Umgebungs- und Sonderkarten:

Hochschwab 1:50 000	Umgebungskarte Mayrhofen (Zillertal) 1:50 000
Burgenland 1:200 000	Hohe Wand und Umgebung 1:50 000
Schneeberg und Rax 1:25 000	Umgebungskarte Innsbruck 1:25 000

## In letzter Zeit berichtigte Ausgaben der Österreichischen Karte 1:50 000

45 Ranshofen	108 Deutschkreuz	117 Zirl
58 Baden	110 Sankt Gallen	149 Lanersbach
81 Bodensee		