**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 62 (1964)

**Heft:** 4

**Artikel:** Simultane gravimetrische Bestimmung der Gesteinsdichte und des Schwerefeldes in der Erdkruste [Fortsetzung und Schluss]

**Autor:** Müller, Pierre

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-219201

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 13.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Simultane gravimetrische Bestimmung der Gesteinsdichte und des Schwerefeldes in der Erdkruste

*Von Pierre Müller, dipl. Physiker, Zürich*

(Fortsetzung und Schluß)

## 5. Fehlerbetrachtungen und praktische Anwendbarkeit der Methode

### *5.1. Mittlere Fehler der Unbekannten bei bestimmten Systemen*

Wir haben im vorherigen Kapitel gefunden, daß der aus der Streuung berechnete Fehler der Dichtebestimmung den theoretisch zu erwartenden merklich übertrifft. Die gleiche Erfahrung machte man bei der Dichtebestimmung in St. Anton. Wir erklären uns diese Tatsache in erster Linie mit Dichteinhomogenitäten der sichtbaren Masse. Da in beiden Fällen die geologischen Kenntnisse der Untersuchungsgebiete eher für eine gute Erfüllung der Homogenitätshypothese sprechen, wird man in weiteren Anwendungen der Methode kaum ein anderes Resultat erwarten dürfen. Eine weitere Steigerung der Meßgenauigkeit der Schweremessungen und der Terrainkorrektionen ist also zwecklos. Der einzige Ausweg besteht in einer geschickten Wahl des Versuchsgeländes und des Stationsnetzes. Während ersteres mehr oder weniger als gegeben hingenommen werden muß, stehen bei der Anlage des Stationsnetzes noch gewisse Möglichkeiten offen. Letztere zu erforschen ist der Zweck dieses Kapitels.

Die folgenden Untersuchungen werden am Beispiel eines sehr einfachen bestimmten Systems durchgeführt. Sie haben so den Vorteil größerer Übersichtlichkeit. Die Schlußfolgerungen lassen sich zudem ohne weiteres auf überbestimmte Systeme übertragen.

Wir beschränken uns auf ein System mit drei Unbekannten, nämlich Dichte $\rho$, $\Pi_0 = A$ und den Koeffizienten $B_1$ von $\Pi_1$. Ein horizontaler Schweregradient bleibt also unberücksichtigt. Die beiden wichtigsten Unbekannten sind die Dichte und der vertikale Schweregradient $B_1$. Warum gerade die simultane Bestimmung dieser beiden Größen am heikelsten ist, wurde schon früher erwähnt und geht aus dem dritten Abschnitt dieses Kapitels deutlich hervor. Die dritte Unbekannte $A$ ist

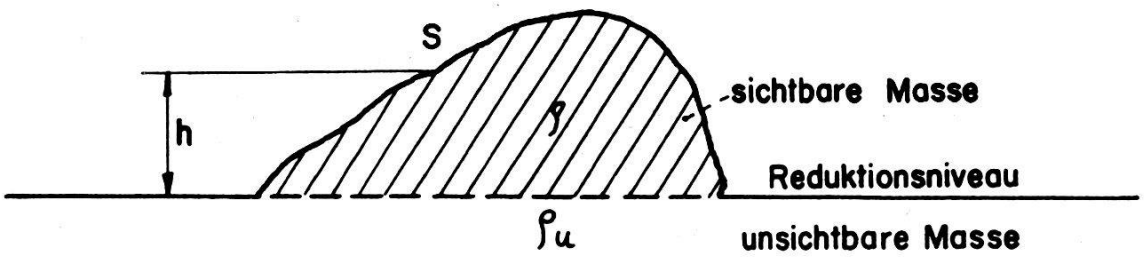


Fig. 11: Homogene Erhebung auf homogener Unterlage

nötig, wenn man mit Meßgrößen arbeiten will, die sich nur auf eine Station und nicht auf die Differenz zweier Stationen beziehen.

Wir legen unserem Ansatz etwa die in Figur 11 festgehaltene, idealisierte Situation zugrunde.

Aus Gleichung (5) in 2.3 folgt mit $s_b = 0$ und der Zerlegung von $K$ in Platten- und Terrainkorrektion $K = P - T$:

$$(P - T)\,\rho + A + B_1 z = g$$

Führt man weiter mit $h = -z$ die relative Höhe über dem Reduktionsniveau ein, so erhält man bei drei Meßstationen $S_1$, $S_2$ und $S_3$ das Gleichungssystem:

$$(P_i - T_i)\,\rho - h_i B_1 + A = g_i \qquad (i = 1, 2, 3)$$

und mit

$$\rho = \rho_0 + \sigma$$

$$\left.\begin{aligned} &(P_i - T_i)\,\sigma - h_i B_1 + A = L_i \\ &L_i = g_i + (T_i - P_i)\,\rho_0 \end{aligned}\right\} \quad (i = 1, 2, 3)$$

Das Koeffizientenschema des Gleichungssystems sieht also wie folgt aus:

| $\sigma$ | $B_1$ | $A$ | |
|---|---|---|---|
| $(P_1 - T_1)$ | $-h_1$ | 1 | $L_1$ |
| $(P_2 - T_2)$ | $-h_2$ | 1 | $L_2$ |
| $(P_3 - T_3)$ | $-h_3$ | 1 | $L_3$ |

Mit der Definition der Spaltenvektoren

$$\vec{P} = (P_1, P_2, P_3)$$
$$\vec{T} = (T_1, T_2, T_3)$$
$$\vec{h} = (h_1, h_2, h_3)$$
$$\vec{L} = (L_1, L_2, L_3)$$
$$\vec{e} = (1, 1, 1)$$

lassen sich die Unbekannten nach der Kramerschen Regel durch die Ausdrücke darstellen

$$\sigma = \frac{[\vec{L}, -\vec{h}, \vec{e}]}{[\vec{P} - \vec{T}, -\vec{h}, \vec{e}]} \qquad B_1 = \frac{[\vec{P} - \vec{T}, \vec{L}, \vec{e}]}{[\vec{P} - \vec{T}, -h, \vec{e}]},$$

wobei die eckigen Klammern die durch die jeweiligen Spaltenvektoren gebildeten Determinanten bedeuten. Es sei nun in guter Näherung $\vec{P} \simeq 2\,\pi k_0 \vec{h}$ gesetzt (unendlich ebene Platte!).

Dann wird

$$\sigma \cong -\frac{[\vec{L}, \vec{h}, \vec{e}]}{[\vec{T}, \vec{h}, \vec{e}]} \qquad B_1 \cong \frac{[2\pi k_0 \vec{h} - \vec{T}, \vec{L}, \vec{e}]}{[\vec{T}, \vec{h}, \vec{e}]}.$$

Es werden nun die Absolutbeträge der Vektoren $\vec{h}$ und $\vec{T}$ eingeführt.

$$h = |\vec{h}|, \quad \vec{h} = h \cdot \vec{\zeta}$$
$$T = |\vec{T}|, \quad \vec{T} = T \cdot \vec{\tau}$$

Mit den weiteren Abkürzungen:

$$D = [\vec{\tau}, \vec{\zeta}, \vec{e}]$$
$$A = [\vec{L}, \vec{\zeta}, \vec{e}]$$
$$B = [\vec{\tau}, \vec{L}, \vec{e}]$$

$\alpha_i$: algebraisches Komplement des Elementes $L_i$ in Determinante $A$

$\beta_i$: algebraisches Komplement des Elementes $L_i$ in Determinante $B$

erhält man die mittleren Fehler $m_\varrho$ und $m_{B_1}$, wenn alle Meßwerte $L_i$ den gleichen mittleren Fehler $m_L$ haben:

$$\sigma = \rho - \rho_0 \cong -\frac{1}{T} \cdot \frac{A}{D}, \qquad B_1 \cong -\frac{1}{T}\left(2\pi k_0 \frac{A}{D} - \frac{T}{h} \cdot \frac{B}{D}\right)$$

$$m_\varrho^2 = m_\sigma^2 \cong \frac{m_L^2}{T^2 D^2} \sum_{i=1}^{3} \alpha_i^2 \tag{12}$$

$$m_{B_1}^2 \cong \frac{m_L^2}{T^2 D^2} \sum_{i=1}^{3} \left(2\pi k_0 \alpha_i - \frac{T}{h} \beta_i\right)^2 \tag{13}$$

Man hätte auch den quadratischen Mittelwert $\overline{T}$ der Terrainkorrektion pro Station einführen können. Dann gilt $T^2 = 3\,\overline{T}^2$. Nach (12) hängt also der mittlere quadratische Fehler $m_\varrho$ hauptsächlich von der Größe der Terrainkorrektionen ab, während sich $h$ in der Rechnung hebt. Selbstverständlich ist aber eine von Null verschiedene Terrainkorrektion ohne Höhendifferenzen ausgeschlossen, so daß dieselben indirekt auch eine wichtige Rolle spielen. Von primärer Bedeutung ist demnach die Bewegtheit des Geländes und nicht die unterschiedliche Höhenlage der Stationen.

Der Ausdruck $\Sigma \alpha_i^2/D^2$ ist dimensionslos. Da wir ihn später noch oft brauchen werden, setzen wir:

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^{3} \alpha_i^2}{D^2}$$

Während $\sum_{i=1}^{3} \alpha_i^2$ nur von der Höhenverteilung der Stationen abhängt, hängt $D^2$ auch noch von der Verteilung der Terrainkorrektionen ab. Im Grenzfall, wo $\vec{\tau}$ die lineare Beziehung

$$\vec{\tau} = a \cdot \vec{\zeta} + b \cdot \vec{e} \qquad (a, b \text{ konstant})$$

erfüllt, wird $D = 0$. Die simultane Dichte und Gradientenbestimmung ist demnach um so ungenauer, je näher man an den Grenzfall herankommt. Mit anderen Worten ausgedrückt: «Es muß eine möglichst geringe Korrelation zwischen den Terrainkorrektionen und den dazugehörigen Geländehöhen der Meßpunkte angestrebt werden. Weiter sollen möglichst große Differenzen zwischen den Terrainkorrektionen der einzelnen Stationen auftreten.»

$\omega$ gibt ein Maß für die Güte des Geländes und des gewählten Stationsnetzes. Der günstigste und zugleich kleinste Wert beträgt $\omega_{\min} = 1{,}5$, wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird. Der mathematische Idealwert $\omega_{\min}$ kann allerdings praktisch nie ganz erreicht werden. Setzt man $m_L = 0{,}087$ mgl und $\overline{T} = 1{,}78$ mgl gr$^{-1}$ cm$^3$, so kann bei optimalem Gelände mit drei Stationen der Fehler $m_\varrho$ auf $\pm 0{,}035$ gr/cm$^3$ hinuntergedrückt werden. Mit 33 überzähligen Stationen verfügt man über 11 zusätzliche unabhängige Bestimmungen der drei Unbekannten. Man darf also noch mit $\sqrt{12}$ dividieren, worauf ein Fehler vom Betrage 0,010 gr/cm$^3$ zurückbleibt. Auf Grund der Resultate im Abschnitt 4.3 kann ein mittlerer Wert von $\omega$ für drei Falätsche-Stationen abgeschätzt werden. Mit $m_\varrho = \pm 0{,}08$ gr/cm$^3$ folgt $\omega = 96$.

Für den Fehler $m_{B_1}$ des Gradienten gelten die gleichen Überlegungen. Mißt man $h$ in Metern, $T$ in mgl gr$^{-1}$ cm$^3$, so beträgt $2\,\pi k_0 = 0{,}042$ mgl m$^{-1}$ gr$^{-1}$ cm$^3$. Bei Oberflächenmessungen kann in der Regel das zweite Glied $\frac{T}{h}\beta_i$ in (13) vernachlässigt werden. Dann ergibt die Division von (12) mit (13) den bereits in [7] hergeleiteten Zusammenhang zwischen den Relativfehlern:

$$\frac{m_\varrho}{\rho} \approx \frac{B_1}{2\,\pi k_0 \rho} \cdot \frac{m_{B_1}}{B_1} \approx 2{,}8\,\frac{m_{B_1}}{B_1}$$

In unseren Ausgleichungsbeispielen 3 und 4 in Abschnitt 4.3 ist der Faktor etwas größer als 2,8.

### 5.2. Günstige Stationswahl

Wir suchen im vorangehenden Beispiel mit drei Stationen $S_1$, $S_2$, $S_3$ die beste Verteilung der Terrainkorrektionen auf die Stationshöhen. Unter Berücksichtigung, daß die Terrainkorrektionen immer positiv sein müssen, setzen wir

$$\vec{\tau} = (\tau_1^2, \tau_2^2, \tau_3^2)$$

und

$$\vec{\zeta} = (\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3)$$

Die Determinante $D$ nimmt dann die Gestalt an:

$$D = \begin{vmatrix} \tau_1^2 & \zeta_1 & 1 \\ \tau_2^2 & \zeta_2 & 1 \\ \tau_3^2 & \zeta_3 & 1 \end{vmatrix}$$

Setzen wir ferner

$$C = \sum_{i=1}^{3} \alpha_i^2 = (\zeta_2 - \zeta_3)^2 + (\zeta_3 - \zeta_1)^2 + (\zeta_1 - \zeta_2)^2,$$

so kann der Gütefaktor $\omega$ des Geländes geschrieben werden

$$\omega = \frac{C}{D^2}.$$

Nach Gleichung (12) ist

$$m_\varrho^2 = \frac{m_L^2}{T^2} \cdot \omega.$$

Um den Fehler $m_\varrho$ klein zu halten, muß also, bei konstantem Faktor $\frac{m_L^2}{T^2}$, $\omega$ minimalisiert werden. Es ist

$$\omega = \omega\,(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3).$$

Wegen der Nebenbedingungen $|\vec{\tau}| = |\vec{\zeta}| = 1$ lösen wir die Extremalaufgabe für die Funktion

$$F\,(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \zeta_1, \zeta_2, \zeta_3) = \omega + \lambda \cdot \varphi + \mu\psi$$

mit den Lagrange-Multiplikatoren $\lambda$ und $\mu$ und den beiden Hilfsfunktionen

$$\varphi = \tau_1^4 + \tau_2^4 + \tau_3^4 - 1 = 0$$

$$\psi = \zeta_1^2 + \zeta_2^2 + \zeta_3^2 - 1 = 0.$$

Mit

$$\frac{\partial F}{\partial \tau_i} = \frac{\partial F}{\partial \zeta_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3$$

und

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda} = \frac{\partial F}{\partial \mu} = 0$$

ergibt sich nach Elimination der Multiplikatoren $\lambda$ und $\mu$ folgendes Gleichungssystem:

$$
\begin{aligned}
(2\,\zeta_1 - \zeta_2 - \zeta_3)\,D &= C\,(\tau_3^2 - \tau_2^2)\\
(-\zeta_1 + 2\,\zeta_2 - \zeta_3)\,D &= C\,(\tau_1^2 - \tau_3^2)\\
\zeta_1^2 + \zeta_2^2 + \zeta_3^2 &= 1\\
\tau_1^3\,D &= \tau_1\,(\zeta_2 - \zeta_3)\\
\tau_2^3\,D &= \tau_2\,(\zeta_3 - \zeta_1)\\
\tau_3^3\,D &= \tau_3\,(\zeta_1 - \zeta_2)
\end{aligned}
$$

Aus den beiden ersten Gleichungen folgen:

$$\zeta_2 - \zeta_3 = \frac{D\omega}{3}\,(2\,\tau_1^2 - \tau_2^2 - \tau_3^2)$$

$$\zeta_3 - \zeta_1 = \frac{D\omega}{3}\,(-\tau_1^2 + 2\,\tau_2^2 - \tau_3^2)$$

$$\zeta_1 - \zeta_2 = \frac{D\omega}{3}\,(-\tau_1^2 - \tau_2^2 + 2\,\tau_3^2)$$

Wir setzen nun die Ausdrücke für die Höhendifferenzen in die drei letzten Gleichungen des Systems ein und erhalten:

$$
\begin{aligned}
\tau_1^3 &= \tau_1\,\frac{\omega}{3}\,(2\,\tau_1^2 - \tau_2^2 - \tau_3^2)\\
\tau_2^3 &= \tau_2\,\frac{\omega}{3}\,(-\tau_1^2 + 2\,\tau_2^2 - \tau_3^2)\\
\tau_3^3 &= \tau_3\,\frac{\omega}{3}\,(-\tau_1^2 - \tau_2^2 + 2\,\tau_3^2)
\end{aligned}
\tag{14}
$$

Nimmt man an, es existiere eine Lösung mit $\tau_1$, $\tau_2$ und $\tau_3$ verschieden von Null, so erhält man durch Division der $i$-ten Gleichung durch $\tau_i$ das folgende Gleichungsschema für die $\tau_i^2$:

| $\tau_1^2$ | $\tau_2^2$ | $\tau_3^2$ | |
|---|---|---|---|
| $\frac{3}{\omega} - 2$ | 1 | 1 | 0 |
| 1 | $\frac{3}{\omega} - 2$ | 1 | 0 |
| 1 | 1 | $\frac{3}{\omega} - 2$ | 0 |

Wir setzen $$k = \frac{3}{\omega} - 2.$$

Sollen nicht triviale Lösungen existieren, so muß die Determinante verschwinden, was auf die charakteristische Gleichung $k^3 - 3k + 2 = 0$ führt. Sie hat die Lösungen $k_1 = -2$ und $k_2 = k_3 = 1$ (beziehungsweise $\omega_1 \rightarrow \infty$, $\omega_2 = \omega_3 = 1$). Während im ersten Fall ($k = -2$) ein Maximum für $\omega$ resultiert und außerdem mit $\tau_1^2 = \tau_2^2 = \tau_3^2 = 1/\sqrt{3}$ die Determinante $D$ verschwindet, führt der zweite Fall ($k = 1$) offensichtlich nicht auf durchwegs reelle Lösungen für die $\tau_i^2$.

Weitere Lösungen ergeben sich, indem man ein oder zwei der $\tau$-Werte null setzt und die verbleibenden Gleichungen im System (14) entsprechend behandelt. Nimmt man $\zeta_1 > \zeta_2 > \zeta_3$ an und $\zeta_3 = 0$, so erhält man nur zwei wesentlich verschiedene, reelle Lösungen:

| $\tau_1^2$ | $\tau_2^2$ | $\tau_3^2$ | $\zeta_1$ | $\zeta_2$ | $\zeta_3$ | $\omega$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | $2/\sqrt{5}$ | $1/\sqrt{5}$ | 0 | 3/2 |
| $1/\sqrt{2}$ | 0 | $1/\sqrt{2}$ | $2/\sqrt{5}$ | $1/\sqrt{5}$ | 0 | 3 |

Die bessere Lösung ist die erste mit $\omega = 1{,}5$. Bei äquidistanter Höhenlage der Stationen erhält nur die mittlere Station eine von Null verschiedene Terrainkorrektion. Diese Verhältnisse werden bei der in Figur 12 dargestellten Stationslage und zweidimensionalen Geländeform angenähert erreicht.

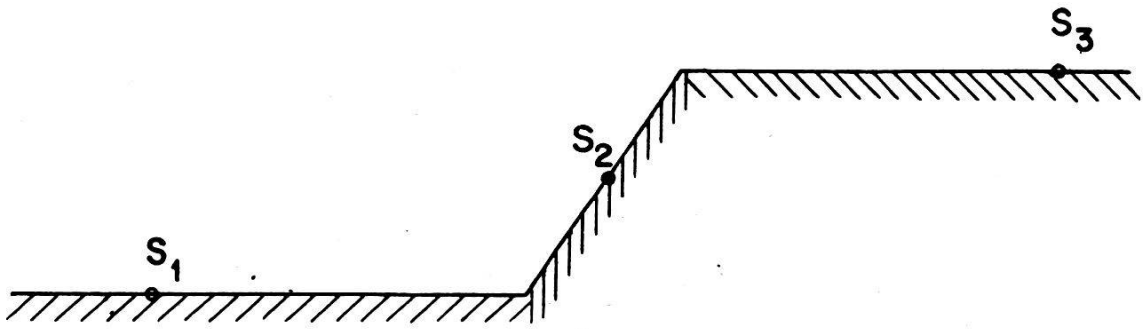


Fig. 12: Synthetisches Beispiel einer günstigen Geländeform und Stationswahl

Zusammenfassend gelten für die Anlage von Stationsnetzen die folgenden Grundsätze:

1. Große Terrainkorrektionen.
2. Unterschiedliche Terrainkorrektionen, so daß sie nicht mit der Stationshöhe korrelieren.
3. Gleichmäßige Verteilung der Stationen auf das Meßgebiet und auf die zur Verfügung stehenden Höhenlagen.

Die Schwierigkeit der praktischen Bestimmung der übrigen Koeffizienten des harmonischen Polynoms, $B_0$, $B_2$, $C_0$, $C_1$ usw., ist in der relativen Kleinheit ihrer Effekte begründet. Gefährliche Korrelationen der

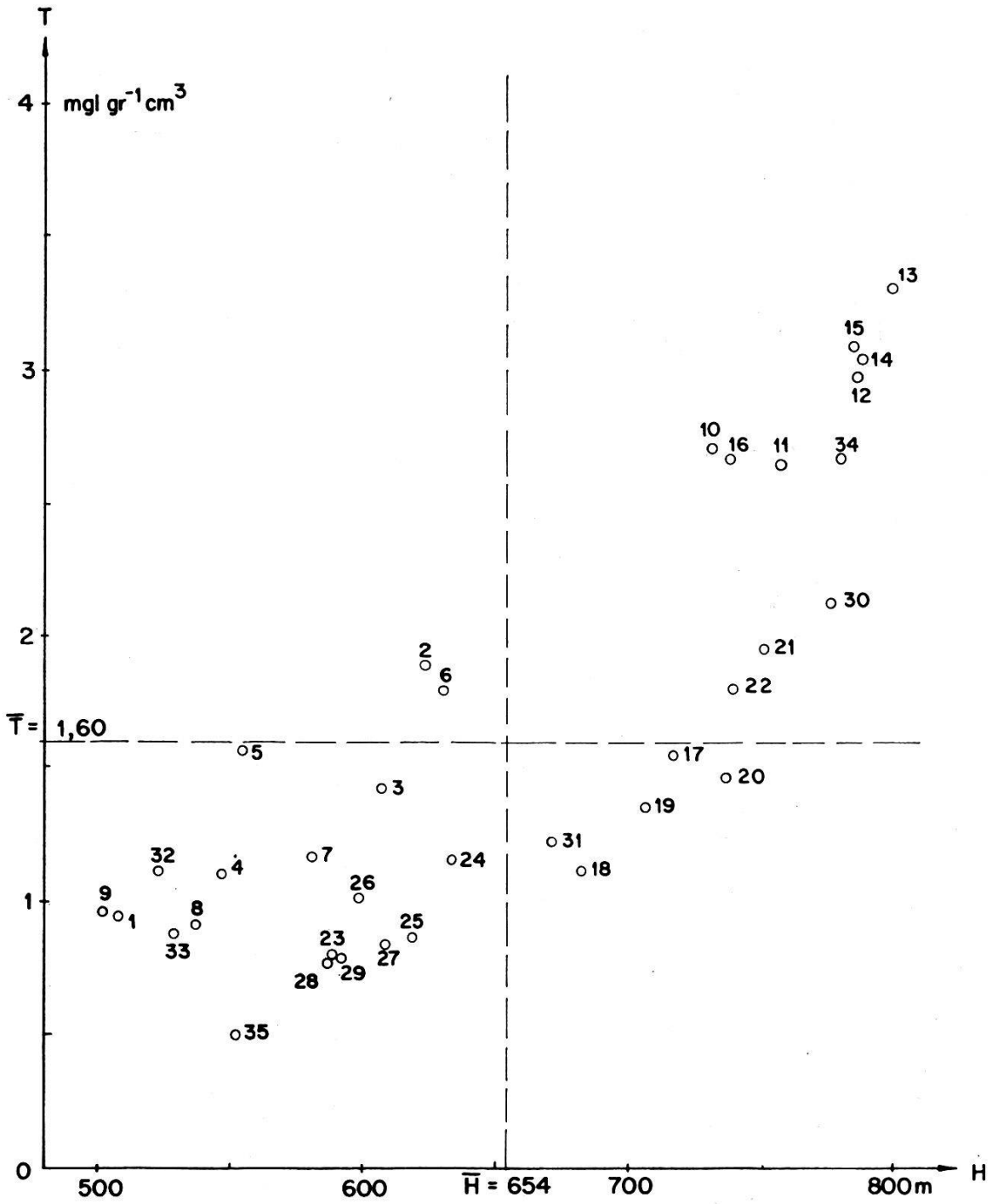


Fig. 13: Korrelation zwischen Höhe und Terrainkorrektion

Potenzen und Potenzprodukte $x$, $y$, $x^2 - y^2$, $xz$ usw. mit dem Terrain sind dagegen wenig wahrscheinlich.

### *5.3. Korrelation zwischen Stationshöhe und Terrainkorrektion*

Es ist nun äußerst interessant, die Korrelationsverhältnisse an einem praktischen Beispiel zu untersuchen. Denn die getroffene Stationswahl an der Falätsche kann jetzt auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse kritisch betrachtet werden. Figur 13 illustriert den ziemlich starken

Zusammenhang zwischen Geländehöhe und Terrainkorrektion in dem Sinn, daß mit zunehmender Höhenlage der Stationen auch ihre Terrainkorrektionen zunehmen. Die Rechnung bestätigt diesen Befund. Bezeichnen $\overline{H}$ und $\overline{T}$ die arithmetischen Mittelwerte der Höhen und Terrainkorrektionen, so ist der lineare Korrelationskoeffizient definiert als

$$k = \frac{\Sigma^i (H_i - \overline{H})(T_i - \overline{T})}{\sqrt{\Sigma^i (H_i - \overline{H})^2 \, \Sigma^i (T_i - \overline{T})^2}} = 0{,}834$$

Werte von 0,85 bis 1,00 für $|k|$ werden in der Praxis als sehr starke Korrelation bezeichnet. Wenn man bedenkt, daß nur die Abweichung vom Wert 1 eine simultane Dichte- und Gradientenbestimmung erst ermöglicht, so überraschen die hohen Anforderungen an die Meßgenauigkeit und die Erfüllung der Arbeitshypothesen nicht mehr.

In unserem Beispiel wirken sich vor allem die sehr nahe am Erosionstrichter gelegenen Stationen 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 und 34 ungünstig aus. Ihre großen Terrainkorrektionen hätten bei praktisch gleichbleibender Höhe wesentlich verringert werden können durch eine Verlegung der Stationen in westlicher Richtung. Anderseits hätten etwas mehr Stationen mittlerer Höhenlage an steilen Hängen ebenfalls zu einer kleineren Korrelation beigetragen.

### *5.4. Ausblicke auf weitere Anwendungen*

Bei den meisten Anwendungen der Methode liegt das Hauptinteresse an der Bestimmung des reduzierten Schwerefeldes (Freiluftfeld) und weniger an der Gesteinsdichtebestimmung allein. Wir können grundsätzlich zwei Anwendungsgebiete unterscheiden.

#### 1. Schwerekartierung für geophysikalische Prospektion

Auf Grund der Kenntnis des Freiluftfeldes und zusätzlicher geologischer Kenntnisse oder Annahmen sucht man sich eine Vorstellung über Ausdehnung und Tiefe der Dichteanomalien unterhalb des Meßgebietes zu bilden. Die Grundlage hierzu stellt das in einer horizontalen Ebene bestimmte Freiluftfeld dar. Man wird die Ebene mit Vorteil in mittlerer Stationshöhe wählen, das Reduktionsniveau dagegen in einer mittleren Höhe der entfernteren sichtbaren Massen (zum Beispiel mittlere Höhe der Geländepunkte in einem Umkreis von 20 km). Wie wir in unserem Beispiel Falätsche gesehen haben, liefert die Methode bei bewegtem Gelände und relativ kleinen Abmessungen des Meßgebietes gute Resultate.

Ob auch Schwerekartierungen größeren Umfangs in befriedigender Weise durchführbar sind, wird erst die Erfahrung zeigen. Ausschlaggebend sind natürlich wiederum die genügende Homogenität der sichtbaren Massen innerhalb des erweiterten Meßgebietes und die Korrelationsverhältnisse zwischen Geländehöhe und Terrainkorrektion der Stationen.

Dem ersten Punkt kommt hier wahrscheinlich stark erhöhte Bedeutung zu. Damit sehr lokale Anomalien des Untergrundes sich nicht störend auswirken, darf zudem das Stationsnetz nicht zu weitmaschig angelegt und der Grad des harmonischen Polynoms nicht zu niedrig gewählt werden. Eine große Zahl von Meßpunkten werden demnach benötigt, damit zur Ausgleichung noch genügend überschüssige Beobachtungen vorhanden sind.

## 2. Geodätische Anwendungen

Hier stehen die Lotkrümmungsbestimmungen im Vordergrund. Man benötigt sie, um an der Erdoberfläche ausgeführte Präzisionslängenmessungen auf das Geoid zu projizieren. Im Punkt St. Anton des Vergrößerungsnetzes Heerbrugg wurde erstmals die Lotkrümmung mit der neuen Methode bestimmt [7]. Zwar haben die Resultate eine geringe Beeinflussung der Lotlinie durch die unsichtbaren Massen ergeben; doch beweisen sie die grundsätzliche Anwendbarkeit der Methode.

Naturgemäß liegen hier die Schwierigkeiten etwas anders. Das Meßgebiet kann unter Umständen relativ klein gewählt werden. Dagegen ist man genötigt, das Freiluftfeld bis auf Meeresniveau hinunter zu bestimmen (Reduktionsniveau $H_0 = 0$ m). Größere Höhendifferenzen müssen daher zur Verfügung stehen, ansonst die Unsicherheit durch die Extrapolation zu groß wird. Kenntnis des Freiluftfeldes und der mitbestimmten Dichte gestatten die Ermittlung der Lotkrümmungen durch die sichtbaren Massen. Die theoretisch günstigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung dürften in den Alpen anzutreffen sein. Zugleich ist dort eine größere Beeinflussung der Lotlinien hinsichtlich Krümmung und Lotabweichung durch das Terrain zu erwarten.

Die topographische Vermessung von Meßpunkten in alpinem Gebiet erfordert einen erheblichen Aufwand. Außerdem genügen die vorhandenen Kartenunterlagen meistens nicht für eine Bestimmung der Terrainkorrektionen mit der nötigen Genauigkeit. Vielleicht ist es angezeigt, die Methode anhand eines geeigneten Beispiels zuerst direkt zu überprüfen, bevor weitere Anstrengungen unternommen werden. Wie Herr Prof. F. Kobold, Präsident der Schweizerischen Geodätischen Kommission, vorgeschlagen hat, besteht eine solche Prüfung in zusätzlichen Schweremessungen unter Tage, die mit dem errechneten Freiluftfeld verglichen werden. Im Zusammenhang mit Kraftwerkbauten erstellte Stollen bieten dazu zahlreiche Möglichkeiten.

## Literatur


[1] *Baeschlin C.F., 1948:* Lehrbuch der Geodäsie.

[2] *Baranov V., 1944:* Mesure indirecte de la densité des roches à l'aide du gravimètre. Annales de géophysique, Tome 1, S. 18–24.

[3] *Bortfeld R., 1954:* Bemerkungen zur Dichtebestimmung nach dem Nettleton-Verfahren. «Erdöl und Kohle», 7. Jahrgang, 1954, S. 353.

[4] *Bott M.H.P., 1959:* The Use of Electronic Digital Computers for the Evaluation of Gravimetric Terrain Corrections. Geophysical Prospecting, Vol. VIII, Nr. 1, März 1959, S. 45–54.

[5] *Gassmann F., 1957:* Theoretische Schwere im Innern von Massen. Festschrift C.F. Baeschlin, Zürich, S. 27–40. Mitteilung Nr. 32 aus dem Institut für Geophysik, ETH, Zürich.

[6] *Gassmann F., 1960:* Zur gravimetrischen Bestimmung von Gesteinsdichten und Lotlinienkrümmungen in der Erdkruste. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 48. Jahrgang, Nr. 2, S. 39–49, und Mitteilung Nr. 37 aus dem Institut für Geophysik, ETH, Zürich.

[7] *Gassmann F. und Müller P., 1961:* Gravimetrische Bestimmung der Gesteinsdichte und der Lotkrümmungen für den Punkt St. Anton des Basis-Vergrößerungsnetzes Heerbrugg. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 49. Jahrgang, Nr. 9, S. 311–330, und Mitteilung Nr. 40 aus dem Institut für Geophysik, ETH, Zürich.

[8] *Grosse S., 1957:* Gravimetrische Auswerteverfahren für höhere Potentialableitungen. Freiberger Forschungshefte, C40, Geophysik, Akademie-Verlag, Berlin, 74 Seiten.

[9] *Helmert F.R., 1907:* Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate.

[10] *Jung K., 1943:* Über die Bestimmung der Bodendichte aus den Schweremessungen. Beiträge zur angewandten Geophysik, Bd. 10, S. 154–164.

[11] *Jung K., 1953:* Zur Bestimmung der Bodendichte nach dem Nettleton-Verfahren. Zeitschrift für Geophysik, Sonderband 1953, S. 54–58.

[12] *Jung K., 1955:* Zur Dichtebestimmung nach dem Nettleton-Verfahren. «Erdöl und Kohle», 8. Jahrgang, 1955, S. 401–402.

[13] *King H., 1946:* Gravitational Terrain Effects produced by Linear Topographic Features. Shell Oil Company, Division of Exploration and Production Research, Houston, Texas.

[14] *Nettleton L.L., 1939:* Determination of Density for Reduction of Gravity Observations. Geophysics, Vol. 4, Nr. 3, S. 176–183.

[15] *Rische H., 1957:* Dichtebestimmungen im Gesteinsverband durch Gravimeter und Drehwaagemessungen unter Tage. Freiberger Forschungshefte, C35, Geophysik, Akademie-Verlag Berlin, 83 Seiten.

[16] *Yaramanci A., 1952:* Eine allgemeine Methode zur gravimetrischen Gesteinsdichtebestimmung. Revue de la Faculté des sciences de l'Université d'Instanbul, série A, Tome XVIII, fasc. 3; Diss. ETH, Zürich.

# Die Mitarbeit des Gemeindeingenieurs bei der Gesamtplanung

*Von Hans Aregger*, Chef des Amtes für Regionalplanung im Kanton Zürich*

Der Gesamtplan nach Zürcher Recht bedeutet nichts anderes, als was in der Schweiz gemeinhin unter Regionalplanung verstanden wird. Das Gesetz umschreibt nämlich den Gesamtplan wie folgt:

«Als Richtlinie für die Ortsplanungen kann der Regierungsrat, wo ein Bedürfnis nach zusammenhängender Planung besteht, über das Gebiet mehrerer Gemeinden unter Fühlungnahme mit deren Behörden einen Gesamtplan aufstellen. Dieser soll namentlich die wichtigen Verkehrs-

* Nach einem Vortrag, gehalten am Fortbildungskurs für Kulturingenieure im Oktober 1963.