

# Zur Interpretation des Schweredefizits in den Schweizer Alpen

Autor(en): **Gassmann, Fritz / Prosen, Draguin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **41 (1948)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-161040>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Zur Interpretation des Schweredefizites in den Schweizer Alpen.**

Von **Fritz Gassmann**, Zürich, und **Dragutin Prosen**, Belgrad.

Mit 6 Textfiguren und 1 Tafel (IV).

---

Die Ergebnisse der Schwerevermessung der Schweiz, die von TH. NIETHAMMER im Auftrage der Schweizerischen Geodätischen Kommission in den Jahren 1900—1918 durchgeführt worden ist, sind in einer Schwerekarte zusammengefasst (Lit. 1, Bd. 16, 1921, Abdruck der Karte auch in Lit. 3, Bd. II, 1921, Seite 52). Diese Karte enthält die sogenannten BOUGUERSchen Schwereabweichungen. Eine solche Abweichung wird ermittelt, indem man von der an einer Station gemessenen Schwere die Anziehung der über Meeresniveau befindlichen Gebirgsmassen und die Normalschwere an der betreffenden Station subtrahiert. Die BOUGUERSchen Schwereabweichungen ergeben daher ein Bild von den Massenunregelmässigkeiten unter Meeresniveau, das durch keinerlei zusätzliche Hypothesen über diese Unregelmässigkeiten modifiziert ist.

Die BOUGUERSche Schwerekarte der Schweiz zeigt nun in eindrucklicher Weise, dass der Untergrund unter den Alpen ein Massendefizit aufweist, das in grossen Zügen ein Spiegelbild der Massenerhebungen über Meeresniveau darstellt. Diese Erscheinung wird mit Hilfe der Isostasie-Hypothese erklärt, d. h. es wird angenommen, dass die aus relativ weniger dichtem Material bestehende Erdkruste auf dem darunterliegenden dichteren, zähflüssigen Material schwimmt und sich im grossen und ganzen im Gleichgewicht befindet. Ein Gebirge wie die Alpen stellt nun einen über Meeresniveau ragenden Massenüberschuss dar. Schwimmendes Gleichgewicht kann nur bestehen, wenn dieser Massenüberschuss durch ein entsprechendes Massendefizit unter Meeresniveau kompensiert wird.

Benützt man die über die ganze Erdoberfläche verteilten Schweremessungen, wie es in der Geodäsie geschieht, zur Bestimmung der Form der Erde, so ist es vorteilhaft, die Schweremessungen so zu reduzieren, dass die regionalen, von den Gebirgen herrührenden Anomalien möglichst geglättet werden. Dies geschieht dadurch, dass man sich, im Gegensatz zur BOUGUERSchen Reduktionsmethode, die über Meeresniveau liegenden Massen nicht einfach weggenommen denkt, sondern sie zur Ausfüllung der zugehörigen Massendefizite unter Meeresniveau benützt. Die Einführung dieser Reduktionsmethode, die man isostatische nennt, bedeutete für die Geodäsie einen grossen Fortschritt, da sie gestattete, zur Bestimmung der Form der Erde nicht nur die Schweremessungen an sogenannten ungestörten Stationen, sondern grundsätzlich alle Schweremessungen heranzuziehen.

Die Ergebnisse der Schwerevermessung der Schweiz bilden eine vorzügliche Grundlage zur Erprobung verschiedener Varianten der isostatischen Reduktionsmethode (Lit. 6, 5, 8). Es zeigt sich dabei allerdings, dass die Glättung der Schwerewerte nicht vollkommen gelingt, was durchaus im Einklang steht mit den anderwärts gemachten Erfahrungen. (Man vergleiche z. B. das zusammenfassende Referat von W. HEISKANEN über das Problem der Isostasie in Lit. 2, Seite 878—951.) Abgesehen von den Fällen, in denen man vermutet, dass das isostatische Gleichgewicht gestört sei, kann die Erdkruste infolge ihrer Festigkeit im Gleichgewicht sein, ohne dass sich die wirklichen oder mittleren Geländehöhen in den unterirdischen Massendefekten genau widerspiegeln. Solange man daher die Verfahren der isostatischen Reduktion ausschliesslich an die bestehende oder eine mittlere Topographie der Erdoberfläche anknüpft, wird man keine vollständige Glättung des Schwerefeldes erwarten dürfen, d. h. es werden auch in Regionen, in denen sich die Erdkruste im Gleichgewicht befindet, sog. isostatische Schwereabweichungen übrig bleiben.

Die Schweremessungen werden nicht nur zur Bestimmung der Form der Erde verwendet. Sie tragen auch zur Ermittlung der Massenunregelmässigkeiten der Erdkruste bei und bilden daher eine wichtige Ergänzung zu den Methoden der Bestimmung des Aufbaues des Erdinnern mit Hilfe der Erdbebenwellen.

Da für die Schweiz neben der BOUGUER-Karte noch Karten mit isostatischen Abweichungen vorliegen, hat man die Aufgabe, die Karte auszuwählen, die sich am besten zur Bestimmung von Massenunregelmässigkeiten eignet. Die unbestreitbare Überlegenheit von isostatischen Karten über die BOUGUERsche für geodätische Zwecke hat dazu geführt, dass man auch zur Untersuchung der Massenunregelmässigkeiten unter Meeresniveau fast ausschliesslich isostatische Karten herangezogen hat. Meist wird aber die BOUGUERsche Karte zweckmässiger sein, da sie die einzige ist, die frei ist von Hypothesen über die Massenverteilung unter Meeresniveau.

Bei der Durchführung einiger Berechnungen über die Interpretation des Schweredefizites der Alpen sind wir daher von den BOUGUERschen Schwereabweichungen ausgegangen. Die Berechnungen dienten der Erprobung einer Modifikation des von K. JUNG (Lit. 4) angegebenen Verfahrens zur Ermittlung der Wirkung zweidimensionaler Massenanordnungen auf die Schwereintensität. Tafel IV zeigt das modifizierte Diagramm. Zur Erklärung der Handhabung eines solchen Diagramms sei auf die Arbeit von K. JUNG verwiesen. Eine unterirdische Massenverteilung wird zweidimensional genannt, wenn sie durch einen ebenen, also zweidimensionalen Profilschnitt bestimmt ist, d. h. wenn die Dichte auf jeder Geraden senkrecht zur Profilebene konstant angenommen wird. Da das Schweredefizit der Alpen langgestreckt ist, darf die Annahme einer zweidimensionalen Massenverteilung als eine im Hinblick auf die durchgeführten Berechnungen hinreichende Annäherung an die wirklichen Verhältnisse angesehen werden. Als Profilebene wurde die vertikale Ebene durch die Punkte Maloja (Engadin) und Weinfelden (Kt. Thurgau) genommen. Sie geht durch das in der Umgebung von Davos liegende Schwereminimum der BOUGUERschen Karte (Lit. 1) und stimmt überein mit dem zweitobersten Profil der Profilserie von R. STAUB durch die Westalpen (Lit. 11). Die in Fig. 1 dargestellten Schwerewerte sind der erwähnten BOUGUERschen Karte entnommen, in Italien nach SIEBERG (Lit. 10, Abb. 101, Seite 143) und in Süddeutschland nach SCHÜTTE (Lit. 9) ergänzt worden. Die Schwereabweichungen der Schweiz sind dabei, der Begründung von SCHÜTTE folgend, um den konstanten Betrag —9,8 Milligal korrigiert worden. Die Endpunkte des benützten Schwereprofiles sind die Punkte mit der BOUGUERschen Schwere-

abweichung Null. Ihre geographischen Koordinaten sind  $48^{\circ}44'N$ ,  $8^{\circ}31'E$  von Greenwich (Schwarzwald, N. Freudenstadt) und  $45^{\circ}48'N$ ,  $9^{\circ}57'E$  von Greenwich (Lago d'Endine, ENE Bergamo).

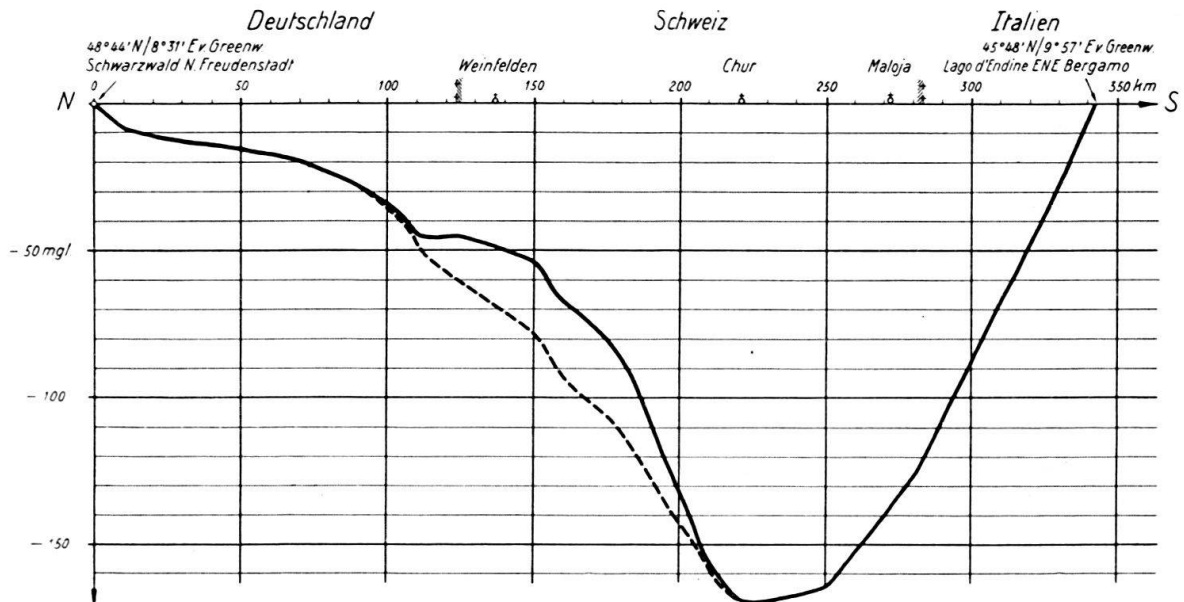


Fig. 1. Schwereprofil durch die Alpen.

- BOUGUERSCHE Schwereabweichungen, beobachtet.  
 ——— BOUGUERSCHE Schwereabweichungen, auf einheitliche Dichte 2,72 des Grundgebirges reduziert.

$$1 \text{ mgl} = 1 \text{ Milligal} = 10^{-3} \text{ cm/sec}^{-2}.$$

Für die Dichte der Gesteine unmittelbar unter Meeresniveau wurde nach NIETHAMMER (Lit. 1, Bd. 15, 1916) der einheitliche Wert 2,72, dem „Grundgebirge“ wie Aarmassiv usw. entsprechend, angenommen. Eine Ausnahme macht der Profilabschnitt über dem schweizerischen Mittelland und den helvetischen Alpen. Hier wurde, ebenfalls nach NIETHAMMER, für das Material der helvetischen Decken inkl. Flysch 2,66, für das autochthone Mesozoikum 2,64 und für die Molasse 2,50 als Dichte angenommen. Fig. 2 zeigt den betreffenden Ausschnitt aus dem Profil von R. STAUB. Das Schwereprofil wurde mit Hilfe des Diagramms (Tafel IV) umgerechnet auf einheitliche Dichte 2,72 (Fig. 1). Die auf diese Weise reduzierten Schwereabweichungen bildeten die Grundlage für die weiteren Berechnungen.

Es lässt sich leicht zeigen, dass die Aufgabe, aus Schwereabweichungen an der Erdoberfläche die entsprechende Dichteverteilung im Erdinnern zu finden,

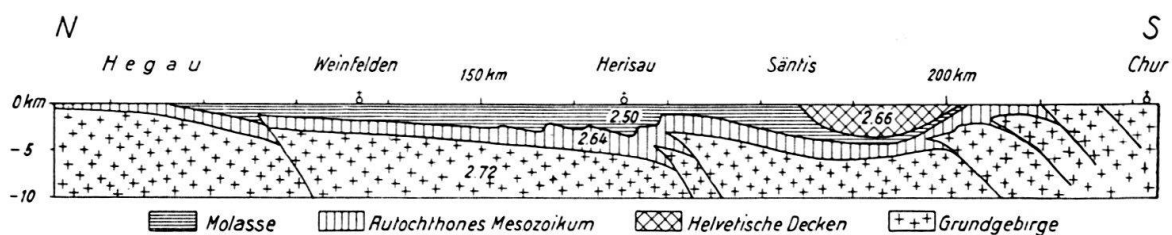


Fig. 2. Gesteinsdichten im Profil (entsprechend Profil 14 von Lit. 11).

mathematisch unendlich vieldeutig ist. Eindeutig wird die Aufgabe erst, wenn zusätzliche, aus den Schweremessungen nicht zu beweisende Annahmen über die Dichteverteilung gemacht werden.

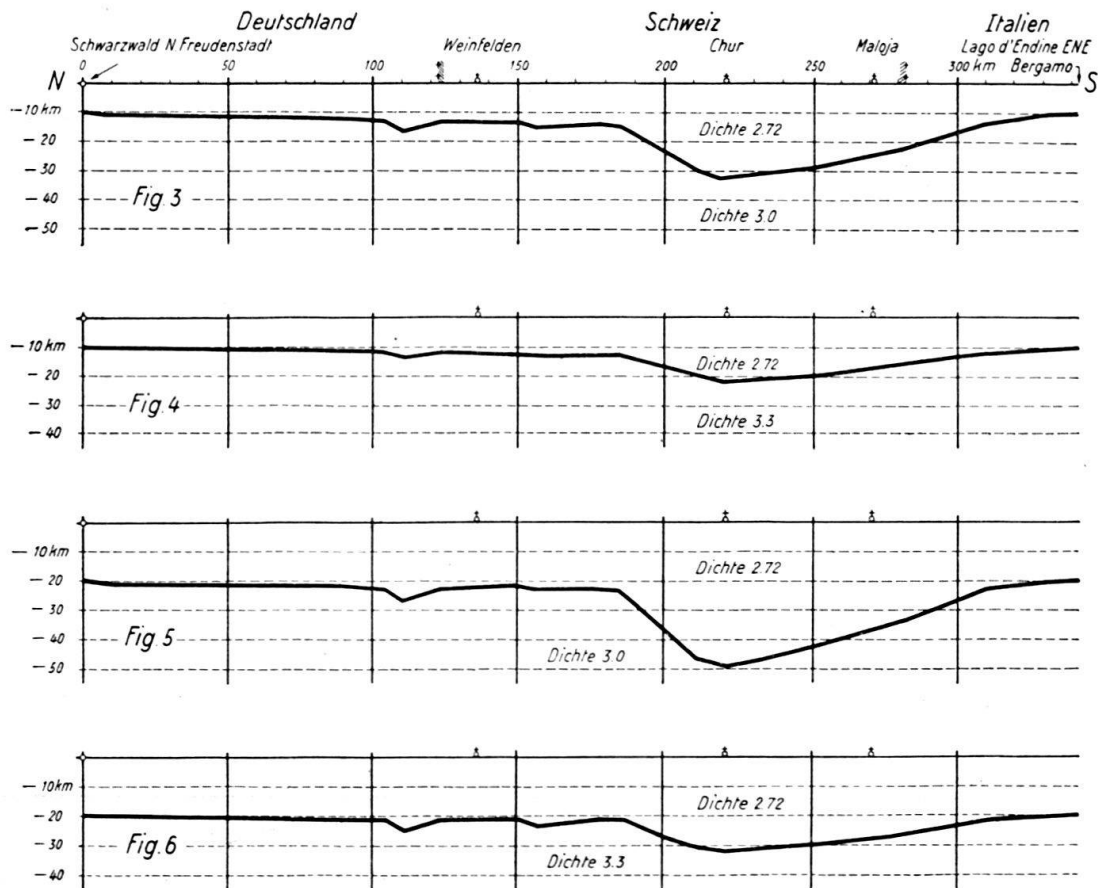


Fig. 3—6. Aus Schweremessungen bestimmter Verlauf der Hauptunstetigkeitsfläche unter den Alpen nach verschiedenen Annahmen.

Ganz abgesehen von allmählichen Änderungen in der Zusammensetzung der Gesteine wird infolge ihrer Kompressibilität die Dichte nach unten allmählich zunehmen. Überdies ist mindestens eine Unstetigkeitsfläche der Dichte in der Erdkruste wahrscheinlich, die zusammenfällt mit der seismischen Unstetigkeitsfläche, an der die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen von ca. 6 km/sek. auf 8 km/sek. springt und die wir Hauptfläche nennen wollen. Für unsere Berechnungen wurde von der stetigen Zunahme der Dichte mit der Tiefe und auch von allfälligen weiteren Unstetigkeitsflächen der Dichte ausser der Hauptfläche abgesehen. Für das Material über der Hauptfläche wurde daher eine konstante Dichte 2,72 gr/cm<sup>3</sup> angenommen, für das Material darunter wurden die beiden Annahmen 3,0 gr/cm<sup>3</sup> und 3,3 gr/cm<sup>3</sup> verwendet. (Die drei genannten Dichten entsprechen mittleren Werten für Sial, Salsima und Sima. Über diese Begriffe vgl. man z. B. Lit. 7, Seite 386). Weiter wurde angenommen, dass die Tiefe der Unstetigkeitsfläche unter Meeresniveau an den beiden Endpunkten des gewählten Profils den gleichen Wert T aufweise und die Rechnung für die beiden Werte T = 10 km und 20 km durchgeführt. Mit der Annahme von T und einer bestimm-

ten Dichtedifferenz an der Hauptfläche wird die Aufgabe, aus den Schwereabweichungen den Verlauf der Hauptfläche zu bestimmen, eindeutig. Die Resultate der Berechnungen sind in Fig. 3 bis 6 dargestellt.

In allen 4 berechneten Fällen kommt der Tiefgang der sialischen Kruste unter dem zentralen Teil des Alpenkörpers zum Ausdruck. Die maximale Ausbiegung  $W$  schwankt zwischen 11 km im Falle von Fig. 4 und 29 km im Falle von Fig. 5. Es ist wie schon gesagt grundsätzlich unmöglich, aus irgendwelchen, von den Schwereabweichungen ausgehenden Berechnungen zwischen den unendlich vielen Erklärungsmöglichkeiten, von denen 4 besonders einfache Fälle für die Berechnung herausgegriffen wurden, zu entscheiden.

Die Bestimmung einer Unstetigkeitsfläche durch Erdbeben ist mit einem ungleich viel höheren Grad von Sicherheit möglich. Es ist daher berechtigt, die Betrachtungen und Ergebnisse von E. WANNER in der vorstehenden Arbeit (Lit. 12) für die genauere Interpretation des Schweredefizites in den Alpen zur Wegleitung zu nehmen. Demnach ist heute eine Ausgangstiefe  $T = 20$  km der Hauptfläche und eine Ausbiegung dieser Fläche unter Chur von  $W = 17$  km als wahrscheinlich anzunehmen. In den Profilen von Fig. 3 bis 6 entspricht Chur ziemlich genau dem Punkt mit maximaler Ausbiegung der Fläche nach unten, und die seismisch bestimmte Fläche liegt zwischen den Fällen von Fig. 5 und 6. Eine Interpolation zwischen den Dichteannahmen in diesen beiden Fällen ergibt den geforderten Wert  $W = 17$  km für eine Dichte von ca. 3,15 bis 3,2 des unter der Hauptfläche liegenden Materials. In Wirklichkeit dürfte die Dichte dieses Materials noch höher zu veranschlagen sein. Wenn nämlich die vereinfachende Annahme, dass die Dichte von der Erdoberfläche bis zur Unstetigkeitsfläche den konstanten Wert 2,72 besitze, ersetzt wird durch die Annahme, dass die Dichte nach unten zunehme, so wird das gemessene Schweredefizit nur erklärt, wenn die Dichte des Materials unter der Unstetigkeitsfläche grösser als 3,2 ist. Diesem grossen Werte der Dichte entsprechend muss man die Unstetigkeitsfläche als obere Grenze des Sima (nicht des Salsima) betrachten.

### Summary:

In this paper, calculations on the distribution of density below sea level in a cross-section through the Swiss Alps are carried out, using the BOUGUER Gravity Map of Switzerland. A two-dimensional distribution of masses was assumed and a modification (plate IV) of K. JUNG's counting diagram used. A uniform density of 2.72 was assumed above a surface of discontinuity. The densities 3 and 3.3 were assumed for the material below this surface, and depths of 10 and 20 kilometres were assumed for the surface beyond the alps. The results of the calculations of the course of the discontinuity for the four cases are shown in Figs. 3 to 6. If it is supposed that the surface of discontinuity is identical with the discontinuity seismically determined in the preceding work of E. WANNER (lit. 12), it will lie between the surfaces of Figs. 5 and 6, with a maximum depth of 37 kilometres below sea level. Interpolation yields a density of approx. 3.2 for the material below the surface. It follows that this material is to be designated as Sima.

### Literatur.

1. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Schweiz. Landestopographie, Bern.
2. B. GUTENBERG: Handbuch der Geophysik Bd. I, Gebr. Bornträger, Berlin 1931.
3. ALBERT HEIM: Geologie der Schweiz, Bd. II, Tauchnitz, Leipzig 1921.

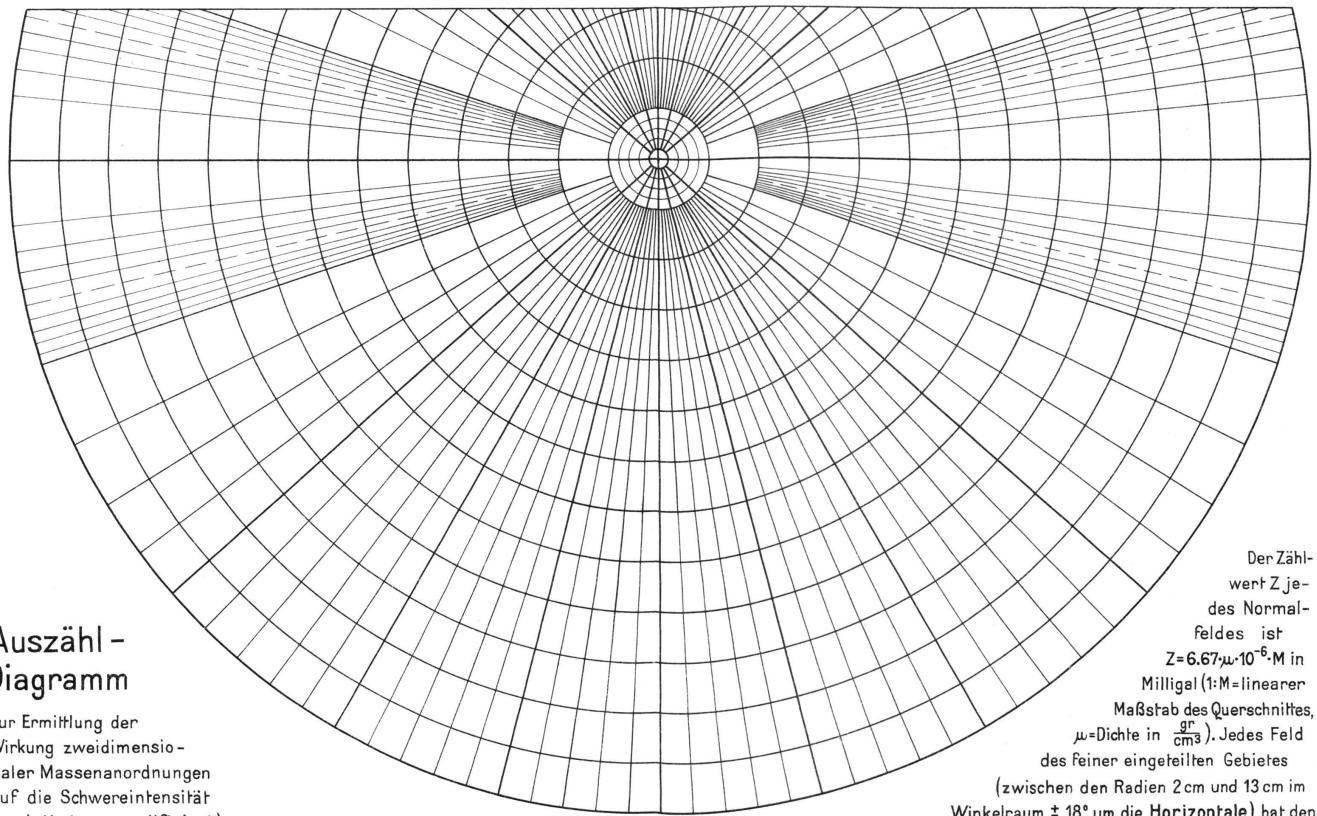
4. K. JUNG: Diagramme zur Bestimmung der Terrainwirkung für Pendel und Drehwaage und zur Bestimmung der Wirkung „zweidimensionaler“ Massenanordnungen. Zeitschr. für Geophysik III, 1927, Seite 201—212.
5. M. LEHNER: Beiträge zur Untersuchung der isostatischen Kompensation der schweizerischen Gebirgsmassen, Verhandl. der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, Bd. XLI, 1930.
6. TH. NIETHAMMER: Die Schwerebestimmungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission und ihre Ergebnisse. Verhandl. der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Schaffhausen, 1921.
7. P. NIGGLI: Gesteine und Minerallagerstätten I. Birkhäuser Basel 1948.
8. E. SALONEN: Über die Erdkrustendicke und die isostatische Kompensation in den Schweizer Alpen. Annales academiae scientiarum fennicae, Ser. A Bd. XXXVII, Helsinki 1933.
9. K. SCHÜTTE: Karte der Schwereabweichungen von Süddeutschland. Veröffentl. der Bayerischen Kommission für die internationale Erdmessung, München 1930.
10. A. SIEBERG: Geologische Einführung in die Geophysik. Jena 1927, Verlag Gustav Fischer.
11. R. STAUB: Der Bau der Alpen. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N. F. Lfg. 52. 1926, Spezialkarte Nr. 105 B2.
12. E. WANNER: Über den Tiefgang der Alpenfaltung. Eclogae geologicae Helvetiae Bd. 41/1, 1948.

Manuskript eingegangen am 15. Mai 1948.

---

## Auszähl - Diagramm

zur Ermittlung der  
Wirkung zweidimensio-  
naler Massenanordnungen  
auf die Schwereintensität  
(nach K. Jung, modifiziert).



Der Zähl-  
wert  $Z$  je-  
des Normal-  
feldes ist  
 $Z = 6.67 \cdot \mu \cdot 10^{-6} \cdot M$  in  
Milligal (1:M=linearer  
Maßstab des Querschnittes,  
 $\mu$ =Dichte in  $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ ). Jedes Feld  
des feiner eingeteilten Gebietes  
(zwischen den Radien 2 cm und 13 cm im  
Winkelraum  $\pm 18^\circ$  um die Horizontale) hat den  
Zählwert  $\frac{1}{10}Z$ , jeder der 4 Sektoren im Zentrum den Zählwert  $4Z$ .