

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Zeitschrift:</b> | Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres  |
| <b>Band:</b>        | 32 (1934)  |
| <b>Heft:</b>        | 10   |
| <br>                |  |
| <b>Artikel:</b>     | Das Geoidprofil im Meridian des St. Gotthard   |
| <b>Autor:</b>       | Hunziker, E.   |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-194697">https://doi.org/10.5169/seals-194697</a>  |

### **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:** 22.02.2026

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

SCHWEIZERISCHE  
**Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik**

ORGAN DES SCHWEIZ. GEOMETERVEREINS

Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Kulturtechnik / Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie

**Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières**

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES GÉOMÈTRES

Organe officiel de l'Association Suisse du Génie rural / Organe officiel de la Société Suisse de Photogrammétrie

Redaktion: Dr. h. c. C. F. BAE SCHL IN, Professor, Zollikon (Zürich)

Ständ. Mitarbeiter f. Kulturtechnik: Dr. H. FLUCK, Dipl. Kulturing., Villa Lepontia, Bellinzona-Ravecchia

Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats

Expedition, Inseraten- und Abonnements-Annahme:

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR VORMALS G. BINKERT, A.-G., WINTERTHUR

No. 10 • XXXII. Jahrgang  
der „Schweizerischen Geometer-Zeitung“  
Erscheinend am zweiten Dienstag jeden Monats  
**9. Oktober 1934**

Inserate: 50 Cts. per einspaltige Nonp.-Zeile

Abonnemente:  
Schweiz Fr. 12.—, Ausland Fr. 15.— jährlich  
Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaften für  
Kulturtechnik u. Photogrammetrie Fr. 9.— jährl.  
Unentgeltlich für Mitglieder des  
Schweiz. Geometervereins

## Das Geoidprofil im Meridian des St. Gotthard.

Schon bei den einfachsten Vermessungsarbeiten haben es Ingenieur und Geometer mit zwei verschiedenen Flächen zu tun: mit dem Geoid und mit dem Referenzellipsoid. Stellen wir ein Instrument mit Hilfe einer Libelle meßgerecht auf, so ist dadurch die Beobachtung im vorneherein auf das Geoid bezogen. Verwendet man in irgendeiner Form Ergebnisse der Triangulation, so liegt diesen stets das Referenzellipsoid zugrunde. Deshalb dürfte es nicht nur Wissenschaftler, sondern auch weitere Kreise interessieren, in was für einer Größenordnung sich in der Schweiz die Abweichungen zwischen den beiden Flächen bewegen.

Ein erstes ungefähres Bild davon läßt sich aus dem Geoidprofil im Meridian des St. Gotthard gewinnen, das am Schlusse dieses Artikels beschrieben wird. Nachstehend geben wir in knappen Zügen den Weg an, der zu diesem Geoidprofil führte, und behandeln auch kurz einige Nebenergebnisse, wie zum Beispiel die Verteilung der unterirdischen Massen. Der Einfachheit halber wird durchwegs von der Krümmung der Lotlinie abgesehen; mit andern Worten, die Lotlinien werden als gerade vorausgesetzt, was sie mit großer Annäherung auch sind.

Einleitend bleibt noch zu erwähnen, daß die hier besprochenen Breitebeobachtungen im Meridian des St. Gotthard, sowie auch ihre wissenschaftliche Verarbeitung im Auftrage der Schweizerischen Geodätischen Kommission ausgeführt worden sind.

### a) *Die beobachteten Lotabweichungen.*

Bereits in einem Artikel, der im Herbst 1931 in dieser Zeitschrift erschien,<sup>1</sup> war von Lotabweichungen und vom astronomischen Nivelliermoment im Meridian des St. Gotthard die Rede.

<sup>1</sup> E. Hunziker, Meridianprofil und Lotabweichungen. S. Z. f. V. u. K.-T., 1931, S. 229—233.

Auf 54 Punkten, die in ihrer Gesamtheit ein Nord-Süd-Profil im Gotthardmeridian bilden, ist die geographische Breite  $\varphi$  beobachtet worden. Aus den ebenen Koordinaten dieser Punkte lassen sich ebenfalls geographische Breiten ableiten; wir bezeichnen sie mit  $B$ . Dann wird  $\varphi - B = \xi$  die beobachtete Lotabweichungskomponente in der Nord-Süd-Richtung genannt. Wenn wir im folgenden zur Abkürzung einfach von Lotabweichungen reden, so sind damit stets die Meridian-Komponenten der Lotabweichungen gemeint.

Es soll gleich hier der Einfluß des bis zu einem gewissen Grade willkürlich gewählten Referenzellipsoides auf die beobachteten Lotabweichungen  $\xi$  betrachtet werden. Die Unsicherheit der beiden Halbachsen ist sehr klein und bleibt deshalb in unserem Falle ohne Bedeutung. Anders verhält es sich mit der Wahl des Punktes  $O_I$ , worin die Ellipsoidnormale als zusammenfallend mit der Lotlinie angenommen und die Ellipsoidbreite gleich der Geoidbreite gesetzt wird. Im allgemeinen weichen dann in den übrigen Punkten  $P$  die Geoidbreiten  $\varphi$  und die Ellipsoidbreiten  $B_I$  um die Lotabweichungen  $\xi_I$  voneinander ab. Also  $\varphi - B_I = \xi_I$ . Nun denken wir uns eine zweite Lage des gleichen Ellipsoides, so daß in einem Punkte  $O_{II}$  die Geoid- und die Ellipsoidbreite identisch sind. Dann fände man in entsprechender Weise die Lotabweichungskomponente eines Punktes  $P$ :  $\varphi - B_{II} = \xi_{II}$ . In unserem Falle, wo sich der untersuchte Meridianbogen nicht einmal über  $2^\circ$  erstreckt, darf man für alle Punkte  $\xi_I - \xi_{II} = \text{konstant}$  annehmen. Oder, mit andern Worten, man kann den Uebergang des Ellipsoides aus der ersten in die zweite Lage durch eine einfache Drehung ersetzen. Der dadurch bedingte Fehler bleibt kleiner als eine Hundertstel-Bogensekunde, ist also belanglos.

Die Grundlage der schweizerischen Triangulation bildet ein Ellipsoid, dessen Normale im Koordinaten-Nullpunkt in Bern mit der Lotlinie zusammenfällt; ferner ist in diesem Punkt die Ellipsoidbreite gleich der Geoidbreite. Nach dem oben Dargelegten würden also die beobachteten Lotabweichungen um einen konstanten Betrag anders ausfallen, wenn der Nullpunkt an einen andern Ort  $O_{II}$  verlegt würde. Unverändert blieben sie nur in dem Sonderfall, wenn im ersten System die Lotabweichung des Punktes  $O_{II}$  zufällig gleich Null wäre.

Soviel über den Einfluß der Wahl des Referenzellipsoides auf die beobachteten Lotabweichungen.

b) *Die berechneten Lotabweichungen.*

Nun lassen sich die Lotabweichungen nicht nur nach dem soeben beschriebenen Verfahren beobachten, sondern sie können auch gerechnet werden. In erster Linie mittels der topographischen Formen der Erdoberfläche, aus den sogenannten sichtbaren Massen. Die Berücksichtigung der Oberflächenform genügt aber nicht; es müssen noch Hypothesen über die Verteilung der Massen in der Erdkruste zugezogen werden. F. R. Helmert geht in seinem Verfahren zur Ableitung der Lotabweichungen aus den sichtbaren Massen von den Hayfordschen

Untersuchungen aus. Diesen liegen die von Pratt aufgestellte Gleichgewichtstheorie der Erdkruste zugrunde. Der Prattschen Theorie zu folge müssen alle über dem Meeresspiegel liegenden Massen gleichmäßig auf die darunterliegende Schicht bis zur Tiefe  $T$  verteilt werden, um eine konstante Dichte zwischen dem Meeresniveau und der Ausgleichsfläche in der Tiefe  $T$  zu erhalten. Demnach sind also die Gebirge durch Massen geringerer Dichte — auch Massendefekte genannt — unterhalb des Meeresniveau kompensiert. Anderseits müssen unter den Meeresbecken Massenüberschüsse auftreten. Man spricht bei einem solch ausgeglichenen Zustand der Erdrinde von Isostasie.

In der modernen Geologie wird angenommen, die Erdrinde schwimme im Tauchgleichgewicht auf einer schwereren Unterlage. Zudem verhalte sich diese Unterlage in geologischen Zeitspannen nicht wie eine starre, sondern wie eine zähflüssige Masse. Das könnte denn auch die von Wegener aufgestellte Theorie von der Verschiebung ganzer Kontinentschollen bis zu einem gewissen Punkte erklären.

Von allen Punkten des astronomischen Nivellements sind die Lotabweichungen  $\xi'$  aus den sichtbaren Massen mittels des Helmertschen Verfahrens isostatisch berechnet worden. Wir wiederholen: die  $\xi'$  stellen den Einfluß der sichtbaren Massen dar, minus dem Einfluß der Kompensationsmassen zwischen dem Meeresniveau und der Ausgleichsfläche in der Tiefe  $T$ . Helmert setzt  $T = 120$  km.

### c) *Die reduzierten Lotabweichungen.*

Die reduzierten Lotabweichungen  $\xi''$  definieren wir als Differenz der beobachteten Lotabweichungen  $\xi$  minus die berechneten Lotabweichungen  $\xi'$ . Also  $\xi - \xi' = \xi''$ . Die  $\xi''$  der 54 Stationen des astronomischen Nivellements sind in entsprechender Weise wie die  $\xi$  graphisch aufgetragen worden, wobei die geographischen Breiten der Beobachtungspunkte als Abszissen und die  $\xi''$  als Ordinaten dienten.

Wären sowohl die beobachteten  $\xi$  als auch die berechneten  $\xi'$  fehlerlos, so müßte die Kurve der  $\xi''$  eine Parallele zur Abszissenachse bilden. Weshalb nicht die Abszissenachse selber? Offenbar weil die  $\xi$  von der Wahl des Referenzellipsoides abhängen, wie dies in Abschnitt a) ausführlich dargestellt ist. Weicht die Kurve der  $\xi''$  wesentlich von einer Achsenparallelen ab, so heißt das, die Forderungen der Isostasie seien in Wirklichkeit nicht streng erfüllt. Mit andern Worten, es lassen sich daraus Schlüsse ziehen über Störungen in der unterirdischen Massenverteilung.

Die gefundene Kurve der  $\xi''$  zeigt folgenden Verlauf: Sie beginnt am nördlichsten Punkte, im Kanton Schaffhausen an der schweizerisch-deutschen Grenze gelegen. Von einem Wert  $-8''$  ausgehend, steigt sie langsam und im ganzen sehr gleichmäßig an bis zur Station Costa piana. Diese befindet sich im Kanton Tessin, 3 km südöstlich von Bignasco im Maggiatal. Der ihr zugeordnete Wert des  $\xi''$  beträgt  $+5''$ . Die Station Costa piana liegt 164 km südlich des Ausgangspunktes. Von Costa piana bis zum 15 km noch weiter im Süden gelegenen Punkte

Aula — zwischen den Tälern Onsernone und Centovalli — weist die Kurve eine schwache Abnahme von 3" auf. Ganz anders von Aula bis zum Endpunkt Ghiridone westlich Brissago. Hier sinkt die Kurve auf einer Strecke von nur 6,4 km um volle 10", wovon 9" auf die letzten 3,5 km fallen.

Ganz zweifellos handelt es sich bei der beschriebenen Form um Auswirkungen von Unregelmäßigkeiten in der unterirdischen Massenverteilung. Denn solche Schwankungen der  $\xi$ " lassen sich weder aus Beobachtungsfehlern, noch aus den Unsicherheiten der eingeführten Gesteinsdichten erklären.

Schon die Annahme der folgenden, recht einfachen Verhältnisse würde zur Erklärung des Verlaufes der Kurve der  $\xi$ " genügen: Ein Massenüberschuß von keilförmiger Form läuft im Norden flach aus. Sein Schwerpunkt befindet sich in der Gegend des Ghiridone, und zwar sehr nahe der Erdoberfläche, was eine rasche Änderung der reduzierten Lotabweichungen mit sich bringt. — Nun dürfen aber solche Deutungsversuche nicht ohne Berücksichtigung der Ergebnisse anderer Untersuchungen vorgenommen werden. In erster Linie müssen auch die Resultate der Schweremessungen beachtet werden. Tragen wir zu diesem Zwecke die Nivellementpunkte in die Karte gleicher Schwereabweichungen ein (entworfen von Th. Niethammer, nach den Bestimmungen von 1900—1918), so ergibt sich folgendes: Die Schwereabweichung weist im nördlichsten Punkt des Nivellements den Wert  $-0,020 \text{ cm/sec}^2$  auf und nimmt gleichmäßig ab bis zum minimalen Betrag  $-0,136 \text{ cm/sec}^2$  auf der Oberalp. Soweit entspricht ihr Verhalten durchaus der Forderung der Isostasie-Hypothese von Pratt und Airy, derzufolge unter den Gebirgen die leichtere kontinentale Erdrinde eine wesentliche Verdickung aufweist. Von der Oberalp aus erfolgt dann eine immer raschere Zunahme der Schwereabweichung, die im südlichsten Punkt, Ghiridone, einen Wert von  $+0,012 \text{ cm/sec}^2$  erreicht. Ob dies Verhalten der Schwereabweichung von einem an der Oberfläche gelegenen Massenüberschuß, oder von einer vom Gotthard nach Süden dünner werdenden Schicht der spezifisch leichteren Gesteine (Sial) verursacht wird, läßt sich nicht allein aus den Schweremessungen entscheiden. Wie denn überhaupt die Deutung eines Schwerefeldes nicht nur eine bestimmte, sondern unendlich viele Lösungen zuläßt. Ganz einwandfrei zeigen aber die Schweremessungen in der Gegend des Langensees einen ausgesprochenen Massenüberschuß an.

In seinem Buche: „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ spricht Wegener von einer Drift Europas in südwestlicher Richtung. Darunter wird eine langsame Verschiebung der hauptsächlich aus Granit bestehenden leichteren Gesteinsschicht (Sial) auf ihrer Unterlage aus Basalt und ultrabasischem Gestein (Sima) verstanden. Wegener nimmt nun an, daß bei dieser Bewegung die nach unten ragenden Verdickungen der leichteren Gesteinsmassen infolge Reibung im Sima zurückgehalten wurden. Er sieht sogar die Schwerestörungen der beschriebenen Art als einzige Möglichkeit an, um Krustenwanderungen direkt festzustellen.

Am zwanglosesten lassen sich der Verlauf der Kurve  $\xi''$  und die Ergebnisse der Schweremessungen durch Kombination der beiden Annahmen erklären:

1. Ein Massenüberschuß von der skizzierten Keilform mit dem Schwerpunkt nahe der Erdoberfläche in der Gegend des Ghiridone.
2. Vom Gotthard bis zum Langensee eine bedeutende Abnahme der Mächtigkeit des leichteren Gesteines in den tieferen Schichten.

Auf dem Gotthard müßte der Einfluß der stark verdickten Sial-schichten auf die Schwere bei weitem die Wirkung des keilförmigen Massenüberschusses überwiegen. Vom Gotthardmassiv nach Süden würden sich hingegen die Wirkungen der beiden Annahmen gegenseitig verstärken.

Es ist sehr bedauerlich, daß die Kurve der  $\xi''$  gerade an der aufschlußreichsten Stelle abbricht. Schon eine kurze Fortsetzung des Profiles über italienisches Gebiet — etwa durch weitere vier Punkte bis an das Westufer des Langensees bei Cadivechio — brächte vermutlich eine wertvolle Ergänzung des Einblickes in diese Störungszone mit sich. Auf alle Fälle drängen die beschriebenen Ergebnisse zu weiteren Untersuchungen in dieser Gegend der gestörten Lotabweichungen, der gestörten Schwerewerte und der gestörten magnetischen Kräfte. Zum Beispiel zur Bestimmung eines kurzen Profiles mit rund einem Dutzend Beobachtungspunkten im Meridian durch Mendrisio; im Norden begonnen ca. 6 km südsüdöstlich von Biasca, im Süden endigend an der Landesgrenze südlich von Mendrisio.

#### d) Die Ableitung des Geoidprofiles.

Wird von der Krümmung der Lotlinie abgesehen, so erhält man als Zunahme der Geoiderhebung vom Anfangspunkte  $A$  des Meridianprofiles bis zum Punkte  $C$  den einfachen Ausdruck:

$$N_C - N_A = \frac{1}{s''} \cdot \int_A^C \xi \cdot ds$$

Die Integration läßt sich vorteilhaft mit Hilfe der Kurve der beobachteten Lotabweichungen  $\xi$  ausführen. Nun verlaufen aber die  $\xi$  außerordentlich unruhig. Wie schon in dem bereits erwähnten Artikel „Meridianprofil und Lotabweichungen“ dargelegt worden ist, treten an den Berghängen ausgeprägte Extremwerte auf. Da jedoch die Beobachtungen meistens auf Gipfel- oder Talstationen ausgeführt wurden, war es unumgänglich, noch von weiteren Ergänzungspunkten die  $\xi$  zu bestimmen. Dies läßt sich mit Hilfe der im letzten Abschnitt besprochenen  $\xi''$  vornehmen. Infolge des gleichmäßigen Verlaufes der Kurve der  $\xi''$  können die Werte, die den Zwischenpunkten zukommen, genügend genau interpoliert werden. Hierauf berechnet man die  $\xi'$  der Zwischenpunkte und findet als Summe  $\xi' + \xi'' = \xi$  die gesuchten Beträge. Das Vorgehen gestattet also, die Punkte mit bekanntem  $\xi$

so weit zu vermehren, bis der Verlauf der Kurve der  $\xi$  in ihren Hauptzügen gesichert ist. Im Profil des Gotthardmeridians sind zu den 54 Beobachtungspunkten noch 57 Zwischenpunkte eingeschaltet worden.

Die Integration liefert für alle Haupt- und Zwischenpunkte die Abweichung des Geoides vom Referenzellipsoid. Wir nehmen noch an, im nördlich gelegenen Anfangspunkt sei die Erhebung des Geoides gleich Null. Dann verläuft das Geoidprofil, in kurzen Worten skizziert, folgendermaßen:

Von der willkürlich festgesetzten Höhe Null an der schweizerisch-deutschen Grenze ausgehend, fällt es langsam ab bis zu einem Minimum von  $-2,6$  m unterhalb des Zürichsees. Nach dieser tiefsten Stelle steigt es zuerst schwach, dann stärker an und erreicht im Gotthardmassiv ein Maximum von  $+0,1$  m. Bis zum Südende nimmt dann die Höhe unregelmäßig ab; der Endpunkt Ghiridone weist eine negative Geoiderhebung von  $-1,5$  m auf. Innerhalb des untersuchten Profiles beträgt also die größte Schwankung des Geoides gegenüber dem Ellipsoid  $2,7$  m.

In wie hohem Maße die Geoidhöhen von der Wahl des Referenzellipsoides abhängen, läßt sich am besten an zwei Beispielen zeigen. Form und Größe des Referenzellipsoides denken wir uns unverändert. Hingegen sollen Ellipsoid-Breite und -Normale an einem andern Orte als im Koordinatennullpunkt in Bern mit Geoid-Breite und -Normale zusammenfallen. Nehmen wir an, dieser Ort sei so gewählt, daß Bern nicht mehr die Lotabweichungskomponente  $\xi = 0''$ , sondern  $\xi_i = +10''$  aufweise. Ausgangspunkt bilde wieder die nördlichste Station des Nivellements mit der Geoidhöhe Null. Von ihm aus würde dann die Erhebung des Geoides über das Referenzellipsoid langsam zunehmen bis zu einem Betrag von  $+0,4$  m in der Gegend des Zürichsees. Hierauf rascher Anstieg des Geoides auf  $+6,7$  m im Gotthardmassiv. Weiter nach Süden noch schwaches und unregelmäßiges Zunehmen bis zu  $+7,5$  m beim Langensee.

Im zweiten Falle betrachten wir eine Ellipsoidlage, die eine Lotabweichung von  $\xi_K = -10''$  in Bern mit sich brächte. Vom gleichen Anfangspunkt ausgehend, fiele das Geoid rasch ab und würde schon unter dem Zürichsee eine Tiefe von  $-5,5$  m erreichen. Dem würde eine Zone schwächerer Abnahme folgen, so daß im Gotthardgebiet die Tiefe  $-6,4$  m betragen würde. Hernach abermals starkes Absinken bis zu einer Tiefe von  $-10,5$  m am Südende des Profiles.

Die zwei Annahmen brächten innerhalb des Profiles Höhenschwankungen des Geoides von  $7,5$  und  $10,5$  m mit sich. Aus der Untersuchung geht also mit überzeugender Deutlichkeit hervor, wie vorzüglich das der Triangulation zugrunde liegende Referenzellipsoid sich im Meridian des St. Gotthard dem Geoide anschmiegt.

E. Hunziker.