

Geoidprofile in der Schweiz

Autor(en): **Hunziker, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières**

Band (Jahr): **40 (1942)**

Heft 1

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-199749>

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.

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. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Redaktionsschluss: Am 1. jeden Monats

Expeditor, Inseraten- und Abonnements-Annahme:

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR A. G., WINTERTHUR

<p>No. 1 • XL. Jahrgang der „Schweizerischen Geometer-Zeitung“ Erscheinend am zweiten Dienstag jeden Monats 13. Januar 1942 Inserate: 50 Cts. per einspaltige Nonp.-Zeile</p>	<p>Abonnemente: Schweiz Fr. 12. —, Ausland Fr. 16. — jährlich Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaften für Kulturtechnik u. Photogrammetrie Fr. 9. — jährl. Unentgeltlich für Mitglieder des Schweiz. Geometervereins</p>
---	--

Geoidprofile in der Schweiz

E. Hunziker.

Bis heute sind in der Schweiz zwei große Profile durch das Geoid gelegt worden: das Profil im Meridian des St. Gotthard und das Profil im Parallelkreis von Zürich. Über das von Norden nach Süden verlaufende Gotthardprofil wurde schon früher in dieser Zeitschrift berichtet¹. Das dazu senkrechte Profil erstreckt sich von der schweizerisch-französischen Grenze westlich Pruntrut bis Diepoldsau im Rheintal an der schweizerisch-vorarlbergischen Grenze. Die beiden Profile schneiden sich in der gemeinsamen Beobachtungsstation Schwerzenbach bei Zürich.

Ferner liegen noch zwei kurze Ergänzungsprofile im Tessin vor; sie sind benannt: Profil im Meridian von Lugano und Profil im Parallelkreis von Locarno. Die Messungen auf den Stationen des Meridianes von Lugano wurden im Frühsommer 1939 durchgeführt. Die später anhandgenommenen Beobachtungen auf den Stationen des Parallels von Locarno mußten bei Kriegsausbruch unterbrochen werden und harren noch ihrer Erledigung.

In der nachfolgenden Übersicht findet man in gedrängter Form einige Angaben über die vier Profile. Ihre Auswahl und Untersuchung sind von der Schweizerischen Geodätischen Kommission vorgenommen worden; die Leitung der Arbeiten lag stets in den Händen von Prof. Dr. C. F. Baeschlin, dem langjährigen Präsidenten der Schweizerischen Geodätischen Kommission.

¹ *E. Hunziker*, Meridianprofil und Lotabweichungen. S. Z. f. V. u. K.-T., Oktober 1931, S. 229–233. — *id.*, Das Geoidprofil im Meridian des St. Gotthard. S. Z. f. V. u. K.-T., Oktober 1934, S. 225–230.

Profil im	Meridian des St. Gotthard	Parallel- kreis von Zürich	Meridian von Lugano	Parallel- kreis von Locarno
Länge des Profiles	186 km	210 km	36 km	25 km
Anzahl der Beobachtungs- stationen	54	32	12	7
Anzahl der Zwischen- punkte	57	8	3	—
Durchschnittlicher Ab- stand benachbarter Be- obachtungsstationen .	3,5 km	6,8 km	3,3 km	4,2 km
Durchführung der Beob- achtungen	1916–18	1934–36	1939	noch aus- stehend

Die gegenseitige Lage des Geoides und des schweizerischen Referenzellipsoides ist in allen Profilen mit Hilfe des gleichen Verfahrens abgeleitet worden. Auf einer Anzahl von Beobachtungsstationen bestimmt man die Komponente der Lotabweichung, die in der Profilebene liegt. Sind diese Stationen genügend dicht angesetzt, so lassen sich im Meridian die Profilkurve der beobachteten Lotabweichungskomponente ξ und im Parallelkreis die Profilkurve der beobachteten Lotabweichungskomponente η festlegen. Die Integration dieser Kurven ergibt die Erhebung des Geoides über das Ellipsoid. Nach Helmert nennt man dieses Vorgehen „astronomisches Nivellement“.

Wie die Übersicht zeigt, liegen die benachbarten Beobachtungsstationen im Meridian des St. Gotthard durchschnittlich nur 3,5 km voneinander entfernt. Andererseits schwanken aber die Lotabweichungen im Gebirge schon auf kurze Entfernungen sehr stark. Zum Beispiel ändert das ξ von Schwyz bis zu einem Punkt halbwegs zwischen Stoos und Frohnalp auf eine Entfernung von rund 5 km um volle 18". Dementsprechend verläuft die Kurve der Lotabweichungskomponente im Gebirge sehr unruhig. Es war also nötig, entweder eine Anzahl weiterer Beobachtungsstationen einzuschalten, oder auf eine andere Weise ergänzende Punkte der Kurve zu bestimmen.

Eine Möglichkeit der Interpolation der Lotabweichungskomponenten besteht in folgendem Vorgehen: man denkt sich durch jede Beobachtungsstation eine Parallelfäche zur Meeresfläche gelegt und stellt sich vor, diese Fläche bilde die Erdoberfläche. Die Wirkungen aller von dieser Idealform abweichenden Gebirgsmassen auf den Beobachtungspunkt lassen sich berechnen. Man nennt die Summe der so festgestellten Anziehungsbeträge „Lotabweichungen aus den sichtbaren Maßen“. Wie der Name sagt, handelt es sich in erster Linie um die Wirkung der aus geeigneten Karten herauslesbaren Unebenheiten der physischen Erdoberfläche. Bei ihrer Bestimmung bleibt aber auch noch die Annahme

zu berücksichtigen, daß im Erdinnern von einer gewissen Tiefe an der Druck auf die Flächeneinheit konstant sei. Diese Annahme vom Vorhandensein einer Ausgleichsfläche ist bekannt unter dem Namen Isostasie. Der amerikanische Geodät Hayford hat die fragliche Tiefe zu 120 km angegeben.

Zieht man von den beobachteten Lotabweichungen die aus den sichtbaren Maßen gerechneten Lotabweichungen ab, so ergeben diese Differenzen eine neue Kurve. Wir nennen sie Kurve der reduzierten Lotabweichungen. Verglichen mit der Kurve der beobachteten Lotabweichungen fällt vor allem ihr ruhiger und im großen und ganzen horizontaler Verlauf auf. Demzufolge kann der Wert der reduzierten Lotablenkung von jedem beliebigen Profilverpunkt der Kurve entnommen werden. Addiert man dazu noch die aus sichtbaren Maßen gerechnete Lotabweichung des neu gewählten Punktes, so erhält man einen zuverlässigen Wert der Lotabweichung, die man auf diesem Punkte beobachten würde. Das beschriebene Interpolationsverfahren ist recht vertrauenswürdig. Daß man es trotzdem nur sparsam verwendet, dafür sorgt der große rechnerische Aufwand, den es erfordert. Die Punkte mit derart interpolierten Lotabweichungskomponenten nennen wir Zwischenpunkte.

Aus der Übersicht geht hervor, daß im Meridian des St. Gotthard 57 Zwischenpunkte nötig waren, um den zuverlässigen Verlauf der Kurve der ξ zu gewährleisten. Dagegen kam man im Parallelkreis von Zürich mit bloß 8 Zwischenpunkten aus. Der bedeutend ruhigere Verlauf der Erdoberfläche im Gebiet des Ost-West-Profiles ermöglichte zudem, die Beobachtungsstationen im Jura und in den Voralpen in einem Abstand von 5 bis 7 km, und im Mittelland sogar in einem Abstand von 10 km zu wählen. Durchschnittlich beträgt die Entfernung von einer Station zur benachbarten 6,8 km, also fast das Doppelte als im Meridian des St. Gotthard.

Spricht man von einem Geoidprofil, so versteht man darunter einen Geoidschnitt, bezogen auf eine mathematisch einfache und sich dem Geoid gut anschmiegende Fläche. Diese zwei Bedingungen werden von einem Referenzellipsoid erfüllt. Das schweizerische Referenzellipsoid ist so gewählt, daß im Koordinatennullpunkt in Bern die Ellipsoidnormale mit der Lotlinie zusammenfällt. Ferner wird in diesem Punkte die Ellipsoidbreite gleich der Geoidbreite gesetzt. Die beiden Halbachsen sind gleich den Halbachsen des Besselschen Ellipsoides angenommen; ihre Unsicherheit ist so gering, daß sie in unserem Falle bedeutungslos bleibt.

Wir kommen nun zur Beschreibung des Geoidverlaufes längs der beiden großen Profile. Dabei gehen wir von der Annahme aus, der Höhenunterschied zwischen Geoid und Ellipsoid sei im Schnittpunkt der beiden Profile gleich Null.

Betrachten wir zuerst den Verlauf des Geoides in der Ost-West-Richtung. Von Zürich steigt es nach Westen hin langsam an bis zum Fuße des Juras. In Aarau erreicht es eine Höhe von 43 cm. Dann erhebt es sich im Jura rasch bis zu 90 cm und schwankt hernach in seinen westlichsten 50 Kilometern nur noch zwischen 89 und 102 cm. In öst-

licher Richtung von Zürich aus steigt das Geoid recht gleichmäßig an bis zu einer maximalen Höhe von 74 cm im Punkte Gäbris. Von dort bis zum Rhein sinkt es zuerst 10 cm, um hierauf in Diepoldsau wieder eine Höhe von 75 cm zu erreichen. Die maximale Schwankung der Geoidabweichung vom Ellipsoid beträgt demnach in der Ost-West-Richtung auf einer Länge von 210 km rund einen Meter.

Von Schwerzenbach nach Norden steigt das Geoid ebenfalls an. Mit sehr regelmäßiger Zunahme erreicht es in der Gegend von Marthalen einen Meter und bei Altdorf im Kanton Schaffhausen 233 cm Höhe über der Ellipsoidfläche. Nach Süden sinkt das Geoid von Schwerzenbach aus langsam ab bis zur Halbinsel Au am Zürichsee, wo es um 31 cm unter dem Ellipsoid liegt. Von dort aus steigt es wieder an, erreicht zwischen Schattdorf und Erstfeld einen Meter Höhe und erhebt sich weiter gleichförmig bis zu einem Maximum von 203 cm im Gotthardmassiv. Hernach fällt es bis zur schweizerisch-italienischen Grenze, wo es auf dem Endpunkt Ghiridone noch 68 cm über dem Ellipsoide liegt. In seinem Gesamtverlauf gleicht das Geoidprofil im Meridian des St. Gotthard einer sinusförmigen Kurve; ihr höchster Punkt ist der Endpunkt im Norden, der um 264 cm höher liegt, als die tiefste Senkung in der Gegend des Zürichsees.

Die Geoidprofile im Parallel von Zürich und im Meridian des St. Gotthard zeigen, daß sich das schweizerische Referenzellipsoid sowohl in der Ost-West- als auch in der Nord-Süd-Richtung ganz ausgezeichnet dem Geoide anschmiegt. Das Referenzellipsoid ist offensichtlich mit sehr glücklicher Hand gewählt worden.

Es bleibt hier noch nachzutragen, daß beide Geoidprofile mit Berücksichtigung der Krümmung der Lotlinien abgeleitet worden sind. Diese Korrektur, von Helmert mit E bezeichnet, erreicht im Parallelkreis von Zürich nie den Dezimeter. Im Meridian des St. Gotthard wächst sie, vom nördlichsten Punkte an summiert, im Urner- und Tessinergebirge bis auf 45 cm an; von dort nach Süden sinkt sie nicht mehr unter den Betrag 20 cm. Übrigens ist es bemerkenswert, daß diese Korrektur E auch auftritt, wenn aus dem Ergebnis eines geometrischen Nivellementes Meereshöhen abzuleiten sind. Bezeichnet man die Summe aller Rückblicke minus Summe aller Vorblicke des Nivellementes vom Punkte A bis zum Punkte C mit $\int_A^C dz$ und die Meereshöhen in den Punkten A und C mit H_A und H_C , so hat man:

$$H_C - H_A = \int_A^C dz + E_A^C$$

Diese Gleichung besagt: Um die Meereshöhe im Punkte C , — den Abstand von C bis zum Geoid, gemessen auf der Lotlinie, — zu erhalten, muß zur Meereshöhe von A das Ergebnis des Nivellementes und die Korrektur E hinzugefügt werden, wobei E für das Intervall von A bis C zu rechnen ist.

Weiter oben ist dargelegt worden, daß die Kurven der reduzierten Lotabweichungskomponenten näherungsweise horizontal verlaufen. Dies ändert sich am südlichen Ende des Gotthardprofils. Von Aula, der drittletzten, 4 km westlich Intragna gelegenen Station an, fällt die Kurve steil ab. Daraus wurde geschlossen, daß in diesem Gebiet unterirdische Störungen in der Massenverteilung vorhanden sein müssen. Am aufschlußreichsten wäre eine Verlängerung des Profiles auf italienischem Gebiet. Dem stehen aber Schwierigkeiten verschiedenster Art entgegen. Deshalb hat die Schweizerische Geodätische Kommission den folgenden Ausweg gewählt: Vom Punkte Aula ausgehend, wurde in östlicher Richtung ein kurzes Verbindungsprofil von 25 km Länge gewählt. Sein östlichster Punkt, in der Nähe von Giubiasco in der Magadinoebene gelegen, bildet zugleich den Anfangspunkt eines um 36 km weiter nach Süden vorstoßenden Ergänzungsprofils, das sich bis hart an den südlichsten Punkt unserer Landesgrenze westlich von Chiasso erstreckt. Wie schon erwähnt, bezeichnen wir die beiden Ergänzungsstücke mit Profil im Parallelkreis von Locarno und Profil im Meridian von Lugano.

Die gefundenen Lotabweichungskomponenten ξ auf den 12 Stationen des Meridianstückes rechtfertigen vollauf die besondere Aufmerksamkeit, die dem südlichen Teil des Kantons Tessin zugewendet worden ist. Die vierte Meridianstation, — von Norden aus gezählt, — ist Lelgio; sie liegt 2,5 km nördlich von Tesserete. Von diesem Punkte an, bis zum Süden des Profiles, variiert die Ablenkung des Zenites zwischen $-19'',5$ und $-27'',5$; der Durchschnittswert der 9 Stationen beträgt $-22'',8$. Solch große Absolutwerte der ξ sind ganz außergewöhnlich. Auf allen 54 Beobachtungspunkten im Meridian des St. Gotthards ist nicht ein einziges Mal ein Absolutwert von dieser Größe aufgetreten. Im Parallel von Zürich beträgt der maximale Absolutwert sogar nur $9'',4$.

Entsprechend den großen Lotabweichungen treten im Meridian von Lugano bedeutende Abweichungen des Geoides vom Ellipsoid auf. Von der Magadinoebene aus fällt das Geoid bis Lugano schon um 143 cm und bis zu seinem südlichen Ende bei Chiasso sogar um volle 340 cm. Die Korrekturen E sind in diesen Zahlen noch nicht enthalten; der Gesamtverlauf des Profiles wird aber durch deren Anbringen keine wesentliche Veränderung erfahren. Beachtenswert ist und bleibt, daß sich auf eine Distanz von 36 km der Abstand zwischen Geoid und Ellipsoid um über drei Meter ändert.

Auch die Kurve der reduzierten Lotabweichungskomponenten verhält sich auffallend. Sie verläuft nicht achsenparallel, sondern fällt vom Berghang südlich der Magadinoebene vom Betrag $-1'',7$ nahezu geradlinig bis auf $-13'',4$ in Lugano. Von dort aus sinkt sie weniger steil und in leichten Wellen, aber weiterhin recht gleichmäßig bis zu $-17'',4$ am Süden des Profiles. Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß auch am Süden des Profiles im Meridian des St. Gotthard in den letzten 7 km die Kurve der reduzierten Lotabweichungskomponenten rasch abfällt. Man kann dies auf ein Störungsgebiet nördlich des letzten Punktes, Ghiridone, zurückführen. Ferner läßt sich übereinstimmend mit den vor-

handenen Schwereanomalien vermuten, daß es sich um sehr oberflächlich gelagerte Störungsmassen handelt. Im Gegensatz dazu, werden sich die Profile im Meridian von Lugano kaum mehr mit örtlichen Störungen erklären lassen. Hier weisen die Ergebnisse des astronomischen Nivellementes auf eine wesentliche Unstetigkeit im Verlaufe des Geoides hin. Ihre Bedeutung wird noch dadurch unterstrichen, daß sie gerade am Ende des Südabfalles der Alpen, an einer Stelle mit besonderen Verhältnissen im Bau der Erdkruste, auftritt.

Zum Schlusse noch ein paar Worte über die besonders anschauliche Profilstrecke zwischen den Stationen Cassarate bei Lugano und Punta di Bissone, südlich Campione. Die beiden Punkte — im folgenden kurz mit C und P bezeichnet — liegen hart am Seeufer; für unsere Betrachtung nehmen wir an, genau in der Höhe des Wasserspiegels. Das Profil verläuft zwischen diesen beiden benachbarten Stationen ausschließlich auf der Oberfläche des Sees, die mit großer Annäherung als Parallelfäche zum Geoid betrachtet werden kann. Die Entfernung zwischen C und P beträgt 4824 m, ihre Projektion auf den Meridian 4821 m. Die beobachteten Lotabweichungen betragen $-24",6$ in C und $-19",5$ in P , wobei das negative Zeichen Ablenkung des Zenites nach Süden bedeutet.

Nehmen wir an, der Höhenunterschied zwischen C und P werde mit Hilfe trigonometrischer Höhenmessung in üblicher Weise bestimmt und ergebe den Sollwert Null. Nun geht aber die Theorie der trigonometrischen Höhenmessung vom Ellipsoid aus. Die gemessenen Höhenwinkel müßten also dementsprechend um den Betrag der Lotabweichung korrigiert werden. Sie beträgt zwischen C und P im Durchschnitt $22"$. Korrigiert man den in C gemessenen Höhenwinkel um diesen Betrag, so ergibt sich infolge der oben getroffenen Annahme eine Höhe des Punktes P von 51 cm über Wasserspiegel. Das heißt, von C bis P erhebt sich das Ellipsoid um rund einen halben Meter über das Geoid. Der nahezu gleiche Wert, aber mit umgekehrtem Vorzeichen, geht aus der Integration der Kurve ξ vom Punkte C bis zum Punkte P hervor. Es ist:

$$\int_C^P \xi \cdot ds = -53 \text{ cm.}$$

Dies einfache Beispiel zeigt anschaulich, daß die streng durchgeführte trigonometrische Höhenmessung nur in Verbindung mit dem astronomischen Nivellement Meereshöhen liefert. Es besteht die Beziehung: Differenz von Meereshöhen gleich Ergebnis der trigonometrischen Höhenmessung plus Ergebnis des astronomischen Nivellementes.

In der Praxis werden durchwegs die Höhenwinkel ohne Berücksichtigung der Lotabweichungen in die Berechnung der trigonometrischen Höhenmessung eingeführt. Dies bewirkt, daß man kleine auf das Ellipsoid bezogene Höhenunterschiede erhält, wohl aber mit praktisch genügender Genauigkeit Unterschiede von Meereshöhen. Es liegt also der eigenartige Fall vor, daß man infolge der Vernachlässigung einer an und für sich recht beträchtlichen Korrektur gerade das erhält, was man sucht.