

Kurzer Rundblick auf die Geodäsie

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **7 (1962)**

Heft 76

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900009>

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.

KURZER RUNDBLICK AUF DIE GEODÄSIE

Von E. HUNZIKER, Zürich

Beantwortet man die Frage: «Was versteht man unter Geodäsie?» mit der Erklärung: «Geodäsie heisst die Wissenschaft von der Grösse und der Form der Erde», so folgt meist die zweite, verwunderte Frage: «Ist denn all dies nicht schon längst bekannt?»

Im grossen und ganzen ja. Die Erdoberfläche hat angenähert Kugelform. Eine bessere Annäherung stellt das Erdellipsoid dar. Diese Fläche entsteht, wenn die Ellipse, welche ein beliebiger Meridian näherungsweise bildet, um die Erdachse rotiert. Werden die Genauigkeitsansprüche noch weiter gesteigert, so kommt man zum sogenannten Geoid. Darunter wird die Fläche verstanden, die in der Meereshöhe Null überall senkrecht zu den Lotlinien steht. Diese abstrakte Fläche ist sehr unregelmässig; sie lässt sich nicht mehr durch ein einfaches mathematisches Gesetz darstellen. Es gehört zu den Aufgaben eines jeden Landes, in seinem Gebiet die Geoidfläche abzuleiten und zu untersuchen. Dazu ist es unumgänglich die Erdoberfläche auszumessen, oder, mit anderen Worten ausgedrückt, es muss die Lage und die Höhe von einer Anzahl von Punkten der Erdoberfläche bestimmt werden.

Die Lage eines Ortes der Erdoberfläche lässt sich mit Hilfe der allgemein verwendeten geographischen Koordinaten, der geographischen Breite und der geographischen Länge, festlegen. Unter der geographischen Breite versteht man den im Winkelmass vom Aequator aus nach Norden oder nach Süden gemessenen Abstand. Die Definition der geographischen Länge setzt die willkürliche Annahme eines Ausgangsmeridianes voraus. Dieser sogenannte Nullmeridian geht wie alle Meridianebenen durch den Nord- und den Südpol und zudem durch die Sternwarte von Greenwich. Der Winkel zwischen der Meridianebene durch einen beliebigen Ort P und der Ebene des Nullmeridianes ist gleich der geographischen Länge des Ortes P.

Eine Landesvermessung verlangt eine sehr grosse Anzahl ihrer Lage und Höhe nach bekannter Punkte. Es wäre undurchführbar und durchaus unzweckmässig, diese durch Messung ihrer geographischen Breite und Länge bestimmen zu wollen. Vielmehr ist es angezeigt, zuerst ein weitmaschiges Netz von Dreiecken über das Land zu legen und die Grösse und die Lage dieser Dreiecke einzumessen (Abb. 1). In dies erste, weitmaschige Dreiecknetz — Triangulation erster Ordnung genannt — werden engmaschigere Netze eingehängt, in der Schweiz bis zur vierten Ordnung. Im Kulturgebiet fallen in unserem Lande ungefähr zwei bis drei Triangulationspunkte auf den Quadratkilometer. Durch Einzelmessungen lassen sich beliebig viele Punkte an die Triangulationspunkte anschliessen. Es ist hier nicht der Ort, näher auf das praktische Vermessungswesen einzugehen. Wir wollen uns darauf beschränken,

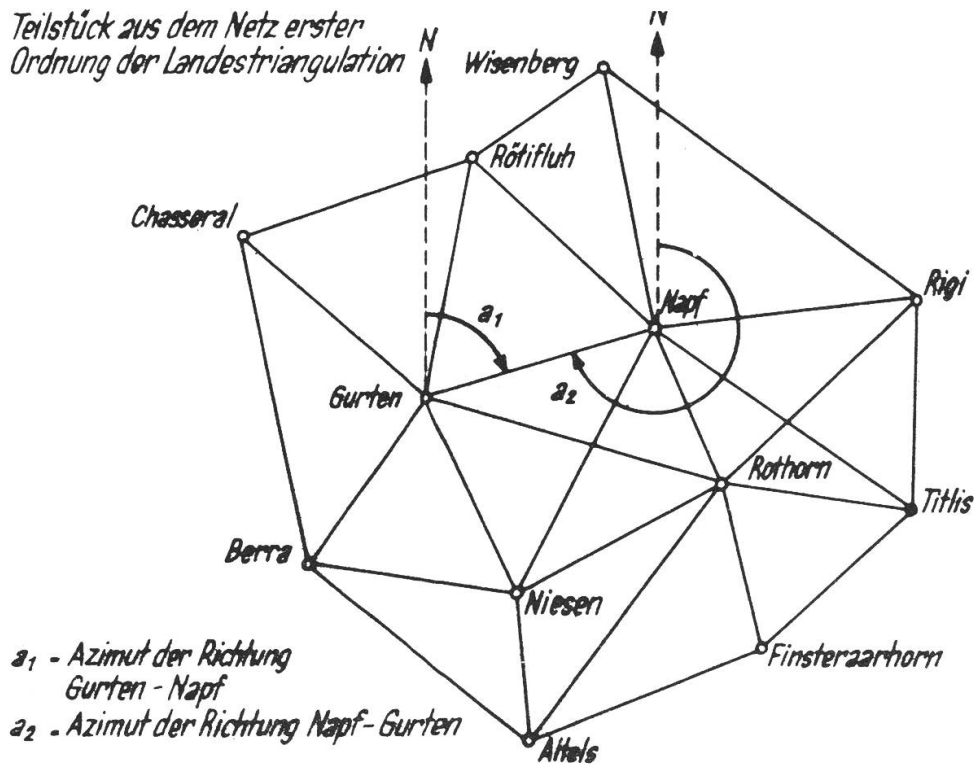


Abbildung 1

einige Gebiete der höheren Geodäsie zu streifen und dabei die mit Sternbeobachtungen verbundenen geographischen Ortsbestimmungen an den Anfang setzen.

Die Bestimmung der geographischen Breite ist verhältnismässig einfach, weil es genügt — allein und ohne weitere Hilfe — an dem betreffenden Orte Messungen vorzunehmen. Im Gegensatz dazu benötigen Bestimmungen von geographischen Längendifferenzen Beobachtungen auf zwei Stationen oder dann die Aufnahme sogenannter wissenschaftlicher Radiozeitzeichen, deren Sendezeit mit grosser Genauigkeit bekannt sein muss.

Eine einfache Definition der nördlichen geographischen Breite besagt: Die geographische Breite eines Punktes der Erdoberfläche ist gleich dem Winkel, den auf diesem Punkte die Nordrichtung und die Richtung nach dem Himmelspole miteinander bilden. Eine sehr hohen Genauigkeitsansprüchen genügende Methode zur Bestimmung der geographischen Breite verlangt die mikrometrische Messung der Zenitdistanzdifferenzen zweier Sterne, vorgenommen in der Meridianebene. Sie heisst Horrebow-Talcott-Methode. Unter der Zenitdistanz versteht man den im Bogenmass gemessenen Abstand eines Sternes vom Zenit. Das Ergebnis von an vier Abenden durchgeführten Beobachtungen gibt eine Genauigkeit bis zu $\pm 0''.05$. Dem entsprechen im Metermass ± 1.5 Meter. Um zu veranschaulichen, was dies bedeutet, kann man sich vorstellen, dass

schon eine Verschiebung des Instrumentes um 1.5 m nach Norden oder nach Süden, infolge der Nichtparallelität der Lotlinien eine Veränderung des Messergebnisses von der Grössenordnung seiner Genauigkeit bewirken würde.

Die Bestimmung einer geographischen Länge läuft, deren Definition entsprechend, stets auf die Messung einer Längendifferenz hinaus. Eine solche beruht auf einem einfachen Prinzip. Hätte man auf einer jeden von zwei Stationen — zwischen denen der Längenunterschied bestimmt werden soll — eine fehlerlos gehende und fehlerlos nach Ortssternzeit gerichtete Uhr, so würde der Unterschied zwischen den Zeitangaben der beiden Uhren schon die Längendifferenz darstellen. Nun gibt es aber keine Uhr mit fehlerloser Angabe. Ferner werden die beiden Uhren weit voneinander entfernt sein, zum Beispiel die eine in der Sternwarte Zürich, die andere in der Sternwarte Wien. Eine klassische Längendifferenz-Bestimmung zerfiel deshalb in zwei Teile: Gleichzeitige Bestimmung der sogenannten Uhrkorrektion auf beiden Stationen und telegraphische oder drahtlose Vergleichung der beiden Präzisionsuhren.

Unter der Uhrkorrektion versteht man die Korrektur, die man zur abgelesenen Zeit einer Uhr hinzufügen muss, um die theoretisch richtige Zeit zu erhalten. Eine gute und einfache Methode zur Bestimmung der Uhrkorrektion besteht in der Beobachtung der Durchgangszeiten einer Anzahl von Sternen durch den Ortsmeridian, oder mit andern Worten, es wird an der Uhr die Zeit festgestellt, wann ein Stern im Norden oder im Süden steht, das heisst, wenn er kulminiert. Im Augenblick der oberen Kulmination ist die Ortssternzeit gleich der Rektaszension des Sternes. Aus dem Unterschied zwischen der an der Uhr abgelesenen Zeit und der aus einem Jahrbuch entnommenen Rektaszension geht die gesuchte Uhrkorrektion hervor.

In neuerer Zeit werden täglich zu vielen Stunden wissenschaftliche Radio-Zeitzeichen von starken Stationen gesendet. Eine ganze Anzahl von Sternwarten nimmt regelmässig diese Zeichen auf und bestimmt die genaue Sendezeit. Mit Hilfe solcher Zeichen kann ein einzelner Beobachter eine Längendifferenz festlegen. Soll der Fehler einer Längendifferenz die Grössenordnung einer Hundertstel Zeitsekunde nicht übersteigen, so braucht es über acht bis zehn verschiedene Abende verteilte Beobachtungen von Sterndurchgängen. In Metermass umgerechnet, entsprechen einer Hundertstel Zeitsekunde in Zürich 3.15 Meter in der Ost-West-Richtung.

Um ein Triangulationsnetz orientieren zu können, muss wenigstens von einer Dreieckseite das Azimut bekannt sein. Azimut nennt man den im Uhrzeigersinn gemessenen Winkel zwischen der Nordrichtung und einer beliebigen Richtung (Abb. 1). Auch hier gibt es verschiedene Methoden, um aus Sternbeobachtungen das Azimut einer Richtung abzuleiten. Bei der gebräuchlichsten wird der Winkel zwischen dem Polarstern und einem irdischen Signal ge-

messen. Darf der Fehler einer zu bestimmenden Richtung einige wenige Zehntel-Bogensekunden nicht übersteigen, so setzt dies wiederum zahlreiche, über verschiedene Abende verteilte Anzielungen des Polarsternes und des irdischen Signales voraus.

Kennt man von einem Dreieck des Triangulationsnetzes eine Seite und die drei Winkel, so lässt sich die Länge der übrigen Seiten berechnen. Das ist bei einem ebenen Dreieck recht einfach. Nun handelt es sich aber bei Triangulationsnetzen nicht um ebene Dreiecke, sondern um Dreiecke auf der Erdoberfläche. Setzt man voraus, sie sei ein Ellipsoid, so kann die Rechnung auf dieser Fläche durchgeführt werden. Das Ellipsoid, welches in der Schweiz der Berechnung der Triangulation zugrunde liegt, ist durch die folgenden Annahmen festgelegt: Zusammenfallen der Senkrechten auf das Ellipsoid mit der Lotlinie im Koordinaten-Nullpunkt in Bern; Dimensionen des Bessel'schen Ellipsoides. Unter diesen Voraussetzungen ist es möglich, von irgend einem Triangulationspunkt, zum Beispiel vom Rigi-Kulm, die geographische Breite zu rechnen, wobei also von der geographischen Breite von Bern und von den gemessenen Dreiecken ausgegangen wird. Rigi-Kulm ist ein Eckpunkt eines solchen Dreiecks. Weiter nehmen wir an, die geographische Breite des gleichen Punktes werde auch noch an Ort und Stelle unmittelbar aus Sternbeobachtungen abgeleitet. Als Beispiel wählen wir wieder Rigi-Kulm.

Die mit Hilfe der Triangulation abgeleitete Breite — man nennt sie geodätische Breite — wurde gefunden zu:

Triangulationspunkt I. Ordnung, Rigi-Kulm,
geographische Breite, geodätisch $= 47^{\circ} 3' 28''.96$

Der aus Sternbeobachtungen hervorgegangene
Wert beträgt:
geographische Breite, astronomisch $= 47^{\circ} 3' 41''.59 \pm 0''.05$

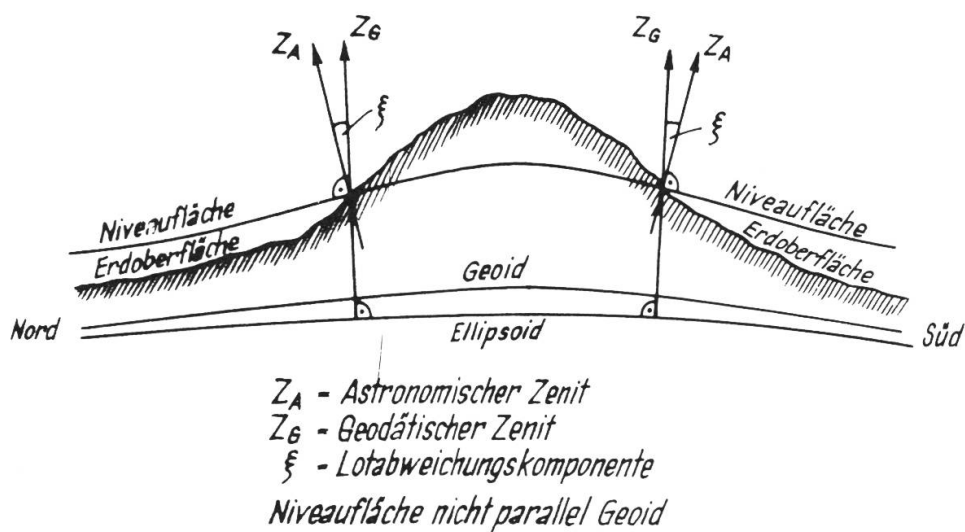


Abbildung 2

Der Unterschied astronomische Breite minus geodätische Breite beläuft sich auf $+ 12''.63$.

Woher rührt nun dieser grosse Unterschied von — in Metermass umgerechnet — beinahe 400 Metern?

Die Ursache liegt darin, dass im allgemeinen in irgend einem Punkte der Erdoberfläche die Senkrechte auf das Ellipsoid und die Lotlinie nicht zusammenfallen, was wiederum seinen Grund darin hat, dass jede Unregelmässigkeit an der Erdoberfläche und in der Erdrinde die Lotlinie beeinflusst. Zum Beispiel zieht ein jeder Berg das Lot an. Man nennt die Abweichung zwischen Ellipsoidnormale und Lotlinie die Lotabweichung. Es ist vorteilhaft, diese in eine Nord-Süd- und in eine Ost-West-Komponente zu zerlegen. Der eben aufgeführte Unterschied «astronomische Breite minus geodätische Breite» im Betrage von $+ 12''.63$ auf Rigi-Kulm, stellt die Nord-Süd-Komponente dar. Das positive Vorzeichen weist auf eine südliche Ablenkung des Lotes, oder, anders ausgedrückt, auf eine nördliche Ablenkung des Zenites hin. Zwischen dem Unterschied «astronomisch beobachtete minus geodätisch bestimmte geographische Länge» und der Ost-West-Komponente der Lotabweichung besteht ebenfalls eine einfache Beziehung (Abb. 2).

Die in der Schweiz auftretenden Lotabweichungen können bis auf rund $25''$ ansteigen. Ein auf einer Station mit Hilfe feiner Libellen messgerecht aufgestelltes Instrument steht dann gegenüber dem Ellipsoid um diesen Betrag schief, was sich bei Winkelmessungen mit steilen Visuren oder bei Tunnelabsteckungen bedeutsam auswirken kann. Die Lotabweichungen bieten auch ein Hilfsmittel, um die Abweichungen des Geoides gegenüber dem Ellipsoid zu ermitteln. Es sind dies recht mühsame und einen grossen Arbeitsaufwand beanspruchende Untersuchungen. Ein im Meridian des St. Gotthard aufgenommenes Profil, beginnend an der schweizerisch-deutschen Grenze im Kanton Schaffhausen und endend auf dem Ghiridone westlich Brissago, ergibt als grösste Schwankung zwischen dem Geoid und dem Ellipsoid einen Betrag von 2.5 Metern.

Die von einem Gebirge auf ein im Punkte P der Erdoberfläche aufgehängtes Lot ausgeübte Anziehung lässt sich an Hand topographischer Karten bestimmen. Die Lotabweichungen können also auch rein rechnerisch abgeleitet werden. Vergleichen derart gerechneter mit tatsächlich beobachteten Lotabweichungen führten anfänglich zu grossen Enttäuschungen, weil die beobachteten Werte viel geringer blieben als die berechneten. Auch die Messungen der Schwerkraft, die ebenfalls in das Arbeitsgebiet des Geodäten fallen, ergaben einen bedeutend kleineren Wert, als die Gebirgsmassen erwarten liessen. Was konnte die Ursache sein?

Die beiden englischen Forscher Pratt und Airy kamen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts zum Ergebnis, der Einfluss des sichtbaren Teiles eines Gebirges sei durch die Verteilung der Massen unterhalb des Gebirges irgendwie kompensiert. Man nennt dies die

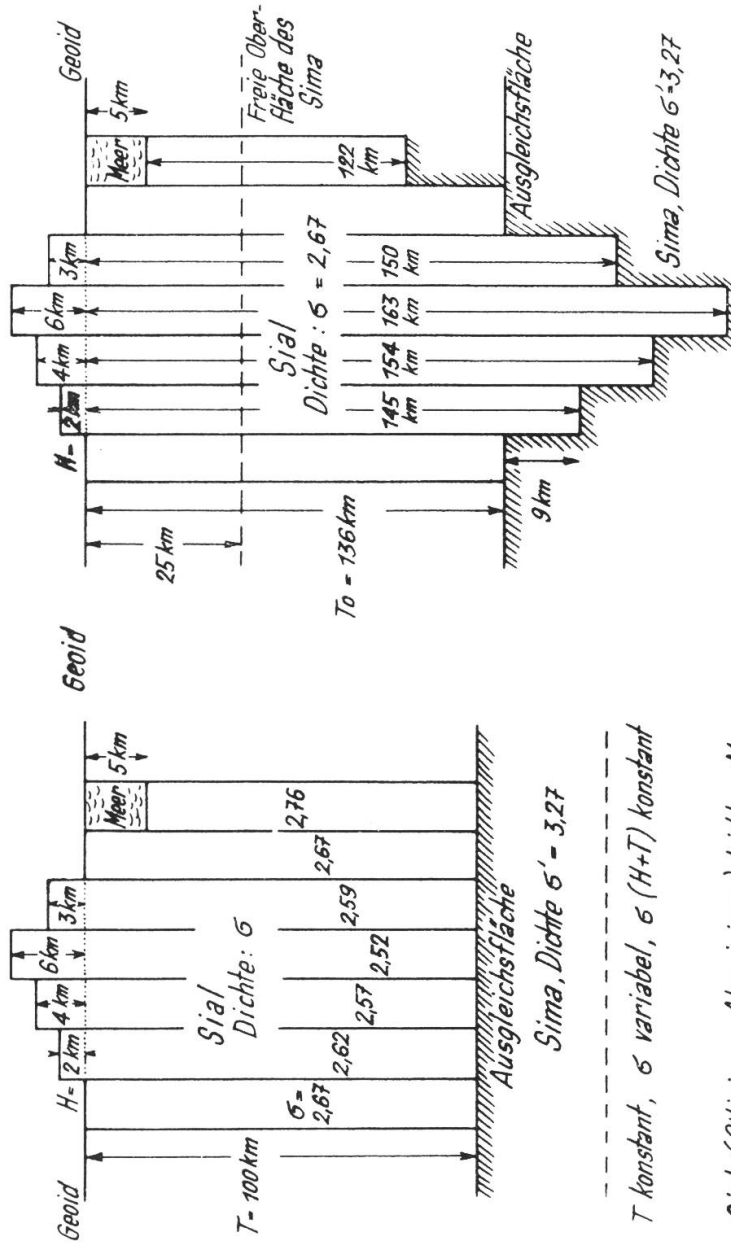
Isostasie

Pratt

Masse jeder Elementarsäule konstant

Airy

Schwimmtheorie (Archimedisches Prinzip)



Sima, Dichte $\sigma' = 3,27$

T konstant, σ variabel, σ (H+T) konstant

Sial (Silicium - Aluminium), leichtere Masse

Sima (Silicium - Magnesium), schwerere Masse

T variabel, σ konstant

Abbildung 3

Lehre von der Isostasie, die man folgenderweise definieren kann: Unter Isostasie versteht man die Auffassung, dass das Erdinnere nach den Gesetzen der Hydrostatik geschichtet sei. Befindet sich die Erdrinde im isostatischen Gleichgewicht, so bedeutet dies, dass einerseits die Kontinente und Gebirgsmassen aus der Erdrinde stammen und nicht als zusätzliche, das Gleichgewicht störende Massen zu betrachten sind, und dass andererseits die leichteren Massen der Meere durch dichtere Massen unterhalb des Meeresbodens kompensiert sind.

Pratt geht von der folgenden Vorstellung aus: Vertikale Säulen gleichen Querschnittes, die von der äusseren Begrenzung der Erdoberfläche bis zu einer gemeinsamen Ausgleichsfläche in der Erdrinde reichen, sind gleich schwer. Sieht man von der Aenderung der Schwerkraft innerhalb der Säulen ab, so kann man auch sagen, dass solche Säulen gleichviel Masse enthalten. In einer Tiefe von mehr als rund 100 km sind alle Unregelmässigkeiten der Dichte ausgeglichen.

Airy seinerseits nimmt an: Die äusseren, leichteren Schichten der Erdrinde — Sial genannt — schwimmen auf dem schwereren, nicht als flüssig, wohl aber als plastisch aufzufassenden, mit Sima bezeichneten Magma (Abb. 3).

Welche der beiden Hypothesen kommt der Wahrheit näher? Die richtige Deutung dürfte in einer Verbindung der verschiedenen Vorstellungen liegen. Bei Gebirgen haben wir es im wesentlichen mit Verdickungen der leichten kontinentalen Rinde zu tun, im Sinne von Airy, beim Uebergang von der Kontinentalscholle zum Tiefseebecken mit Materialverschiedenheit im Sinne von Pratt.

Mit der Hypothese der Isostasie ist also die Erforschung der Massenverteilung in der Erdrinde in den Bereich der geodätischen Arbeiten getreten.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass ausser der Kenntnis der Lage eines Punktes der Erdoberfläche auch seine Höhe über Meer von Bedeutung ist. Eine gebräuchliche und genaue Methode, um Höhenunterschiede zu bestimmen, ist das Nivellement. Man versteht darunter das Verfahren der schrittweise vorgehenden Höhenmessung, bei welcher die Höhenunterschiede benachbarter Punkte mit waagrecht gehaltenen Zielen nach lotrechten Maßstäben bestimmt werden.

Was versteht man — schärfer definiert — unter einer Meereshöhe? Die Meereshöhe ist gleich dem Abstand eines Punktes von der Meeresoberfläche, gemessen auf der Lotlinie. Dabei denkt man sich die Meeresoberfläche unter den Kontinenten fortgesetzt. Die folgerichtige Anwendung dieser Definition zieht allerlei nicht im vorneherein zu erwartende Besonderheiten nach sich. Wir wollen uns je eine grosse, ruhende Wasseroberfläche in 500, 1000, . . . usw. Meter Höhe denken. Diese Wasseroberflächen stellen sich überall senkrecht zu den Lotlinien ein. Solche Flächen werden Niveauflächen genannt. Sie sind untereinander und zum Geoid nicht genau

parallel. Dementsprechend sind die Lotlinien keine geraden Linien, sondern leicht gekrümmt. Wenn also eine Wasseroberfläche eine Niveaulfläche ist, so heisst das, verschiedene Punkte dieser Wasseroberfläche haben nicht die gleiche Meereshöhe.

Eine weitere Folge der Nichtparallelität der Niveaulflächen zeigt sich im sogenannten Schlussfehler eines Nivellements. Geht man bei einem Präzisionsnivellement von einem bestimmten Punkte P aus und kehrt man auf einer grossen Schleife zu diesem Punkte P zurück, so erhält man theoretisch nicht mehr die gleiche Höhe, von der man ausgegangen ist. In der Schleife Sitten—Vevey—Bulle—Saanen—Spiez—Lötschberg—Gampel—Sitten macht dieser Schlussfehler 60 Millimeter aus.

Die hier kurz gestreiften Besonderheiten zeigen, dass auch in der Geodäsie verhältnismässig leicht durchschaubar erscheinende Dinge bei näherem Zusehen ihre Einfachheit gründlich verlieren.

Schon weiter oben wurde auf die Messungen der Schwerkraft hingewiesen. Auch diese gehören in das Gebiet der Geodäsie. Die klassische Methode zur Bestimmung der Anziehungskraft der Erde besteht in der Beobachtung der Schwingungszeiten eines oder mehrerer Pendel. In der Neuzeit werden in grossem Ausmass sogenannte statische Gravimeter verwendet, mit deren Hilfe sich viel rascher und viel genauer Aenderungen der Schwere von Ort zu Ort feststellen lassen. Zur Eichung dieser Instrumente muss aber weiterhin auf Pendelmessungen zurückgegriffen werden.

Abschliessend erwähnen wir noch kurz die Organisation der geodätischen Arbeiten in der Schweiz.

Im Jahre 1861 ist dem schweizerischen Bundesrate von der preussischen Gesandtschaft ein Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung vorgelegt worden. Hand in Hand ging die Einladung, sich an der Ausführung dieses Planes zu beteiligen. Das eidgenössische Departement des Innern nahm den Vorschlag an. Daraufhin entschloss sich die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, zur Förderung des Unternehmens eine eigene Kommission zu schaffen. So wurde im August 1861 die Schweizerische Geodätische Kommission gegründet, in deren Obhut auch heute noch die Pflege wissenschaftlicher geodätischer Forschung liegt. Die geodätischen Aufgaben von mehr praktischer Bedeutung wurden gegen die Jahrhundertwende vom damaligen Eidgenössischen Topographischen Bureau, der heutigen Eidgenössischen Landestopographie, übernommen.

Der Verfasser dieser Zeilen ist sich bewusst, dass es sich bei diesem Ueberblick um eine sehr unvollständige Darstellung des grossen und weitläufigen Gebietes der Geodäsie handelt. Es war sein Bestreben, ein paar Einblicke in einige weniger bekannte Bezirke der höheren Geodäsie zu geben, auf Kosten der verbreiteteren und alltäglicheren Arbeiten, die zur Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche dienen.