



Doctoral Thesis

Integrierte Geoidbestimmung in der Schweiz wissenschaftliche Basis zur Höhenbestimmung in der Schweizerischen Landesvermessung mit Hilfe von satellitengestützten Verfahren

Author(s):

Marti, Urs Josef

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001735518> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Integrierte Geoidbestimmung in der Schweiz:

**Wissenschaftliche Basis zur Höhenbestimmung
in der Schweizerischen Landesvermessung
mit Hilfe von satellitengestützten Verfahren**

**ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels**

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

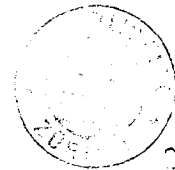
**der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

**URS JOSEF MARTI
Dipl. Verm. Ing. ETH
geboren am 20. August 1961
von Solothurn und Bettlach SO**

Angenommen auf Antrag von:

**Prof. Dr. H.-G. Kahle, Referent
Prof. Dr. H. Sünkel, Korreferent**



Zürich, 1997

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der weiten Verbreitung, welche das satellitengestützte Navigationssystem GPS auch in der Landesvermessung erfahren hat, hat die Transformation zwischen den geometrischen, ellipsoidischen Höhen, wie sie aus GPS erhalten werden und den orthometrischen Höhen oder Normalhöhen, wie sie mit klassischen Vermessungsmethoden (Nivellement, Höhenwinkelmessung) bestimmt werden, stark an Bedeutung gewonnen.

Der Unterschied zwischen ellipsoidischer Höhe und orthometrischer Höhe entspricht der Geoidundulation. Sie sollte für hochpräzise Vermessungsaufgaben in der Grössenordnung von wenigen cm über Distanzen von 100 km bekannt sein. In der vorliegenden Arbeit werden die Grundlagen für die Geoidbestimmung in der Schweiz zusammengestellt, aber auch die praktischen Berechnungen durchgeführt, um diesem Ziel möglichst nahe zu kommen.

Seit dem letzten Jahrhundert existieren verschiedene Methoden, um das Geoid aus Schweremessungen oder aus astrogeodätischen Beobachtungen zu bestimmen. Diese Daten werden mit modernen Satellitenmessungen kombiniert und gemeinsam mit statistischen Verfahren (Kollokation) ausgewertet.

Nach einem generellen Überblick werden in Kapitel 4 die vorhandenen Messungen (ca. 600 Lotabweichungen, ca. 2400 Schwerewerte und ca. 80 nivellierte GPS-Punkte) beschrieben und aufbereitet.

In Kapitel 5 werden die bei einer modernen Geoidbestimmung besonders wichtigen Modelle der bekannten Störmassen vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Bildung eines neuen Modells der Topographie aus dem digitalen Höhenmodell DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie (L+T) geschenkt. Neben der geometrischen Festlegung des Modells wird auch ein einfaches Verfahren zur Behandlung von Dichtekontrasten innerhalb der Topographie mittels Polygonen entwickelt. Des weiteren konnte das Modell der Krusten-Mantel-Grenze durch die Resultate des Nationalen Forschungsprojektes zur Geologischen Tiefenstruktur der Schweiz (NFP20) ergänzt werden.

Nach einem Überblick über die Problematik der Referenzsysteme und Transformationen sowie der Reduktion der Beobachtungen um den Einfluss der Massenmodelle erfolgen in Kapitel 8 Untersuchungen zur Interpolation des Residualfelds und zur Auswirkung der verwendeten Daten und der Kovarianzfunktion auf die Genauigkeit der Lösung. Dabei hat

sich gezeigt, dass das Geoid relativ zur Fundamentalstation in Zimmerwald aus den astrogeodätischen Daten alleine mit einer Genauigkeit von etwa 3 bis 4 cm berechnet werden kann. Ein relativer Fehler von 1 cm wird jedoch bereits in einer Distanz von 10 bis 20 km erreicht. Durch die Integration von einigen wenigen GPS/Nivellement-Stationen lassen sich insbesondere langwellige systematische Fehler der astrogeodätischen Lösung korrigieren. Für eine Genauigkeitssteigerung im lokalen Bereich müssen jedoch auch die Schweremessungen in die Berechnungen einbezogen werden. Durch die Kombination aller Messungen lässt sich das Geoid in der ganzen Schweiz mit einer Genauigkeit von etwa 2 cm bestimmen. Die 1-cm Isolinie wird in einer Distanz von 70 bis 150 km erreicht. Voraussetzung ist jedoch, dass in den Messungen keine systematischen Fehler enthalten sind und dass durch die Massenmodelle sämtliche indirekte Effekte eliminiert worden sind.

In Kapitel 9 wird das Geoid in verschiedenen Varianten berechnet. Dabei zeigt sich in Graubünden eine Diskrepanz zwischen den Lotabweichungen und den GPS/Nivellement-Messungen von mehr als 10 cm, welche noch nicht abschliessend erklärt werden konnte. Durch das gewählte Verfahren der Trendabspaltung zeigen sich auch bei der Integration der Schweremessungen systematische Unterschiede in der gleichen Grössenordnung. Als Schlusslösung wird die Kombination von astrogeodätischen Messungen mit GPS/Nivellement gewählt. Diese Lösung wird als provisorisch bezeichnet, da zum Zeitpunkt der Berechnungen das DHM25 noch nicht vollständig vorlag und noch versucht wird, die in die Lösung eingeflossenen GPS-Höhen durch eine verbesserte Modellierung der Troposphäre zu verbessern.

In Kapitel 10 erfolgt schliesslich der Vergleich unserer Lösung mit dem bisher verwendeten astrogeodätischen Geoid von Gurtner (1978) und dem neuen europäischen Quasigeoid, welches an der Universität Hannover entstanden ist. Insbesondere dieser zweite Vergleich erlaubt eine Aussage über die absolute Genauigkeit der Lösung. Im Mittelland zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der beiden völlig unabhängigen Lösungen von besser als 5 cm. Im Alpenraum werden Differenzen von bis zu etwa 15 cm erreicht. Falls wir annehmen, dass unsere Lösung wegen der besseren Massenmodelle und der grösseren Anzahl verwendeter Messungen besser ist als die europäische Berechnung, so können wir mit einer Genauigkeit auch im Alpengebiet von besser als 5 cm rechnen.

ABSTRACT

Due to the wide use of the GPS satellite navigation system in surveying and geodesy, the transformation between the geometrical, ellipsoidal heights (as obtained by GPS) and the orthometric heights or normal heights (as obtained by levelling) has increased in importance.

The difference between the ellipsoidal height and the orthometric height corresponds to the geoid undulation. For high precision geodetic applications this undulation must be determined with an accuracy of a few cm over a distance of 100 km. This thesis presents the basic investigations for the geoid determination in Switzerland and the practical computations to reach this goal.

Different methods for determining the geoid from gravity measurements or from astrogeodetic observations have existed since the last century. This data was combined with modern satellite observations and was processed with the integrated statistical method of collocation.

Following a general overview, the used observations (ca. 600 deflections of the vertical, ca. 2400 gravity measurements and ca. 80 GPS levelling stations) are presented and pre-processed in chapter 4.

The used models of known disturbing masses which are essential for a modern geoid determination in a rugged area are presented in chapter 5. Special attention is paid to a new model of the topography which was extracted from the digital height model DHM25 of the Swiss Federal Office of Topography (L+T). Apart from the geometrical determination of the model, a simple procedure for considering the density anomalies of the topography by means of polygons is also presented. Furthermore, a new model of the crust mantle boundary, stemming from a national project for the determination of the deep structure of Switzerland (NFP20) is introduced and used instead of a classical isostatic model.

In chapter 8, following an overview of the problems of the reference systems and transformations as well as the reduction of the observations, the interpolation of the residuals and the accuracy consequences on the result is investigated by varying the used data set and the covariance function. It was possible to demonstrate that the geoid can be determined with an accuracy of 3 to 4 cm, relative to the fundamental station in Zimmerwald, from astrogeodetic observations alone. A relative error of 1 cm is already reached at a distance of 10 to 20 km. By including a few GPS levelling stations, it is possible to eliminate the

systematic long wavelength errors of the astrogeodetic solution. For better accuracy in local areas, the gravity measurements have to be considered too. The combination of all available measurements leads to a relative geoid accuracy of 2 cm throughout Switzerland. The 1-cm contour line is reached at a distance of 70 to 150 km. The assumption in these calculations is, that there are no remaining systematic errors in the measurements and that all indirect effects have been eliminated by means of the mass models.

In chapter 9, the geoid is calculated in various different ways. These investigations revealed a discrepancy in south-eastern Switzerland of more than 10 cm between the deflections of the vertical and the GPS levelling measurements, which could not be sufficiently explained. The chosen method of eliminating a global trend, resulted in systematic differences in the same order when the gravity measurements were introduced. For the final result, we chose the solution where astrogeodetic observations are combined with GPS levelling. This solution is characterised as provisional because the digital terrain model was not complete at the time of our calculations and an effort is still being made to increase the accuracy of the GPS heights by using a better model of the troposphere.

In chapter 10 we compare our solution with the geoid of Gurtner (1978) and the new European quasigeoid EGG96 which was calculated at the University of Hannover, Germany. This second comparison in particular, gives us information about the absolute accuracy of our solution. In more level terrain these two totally independent solutions coincide better than 5 cm. In more rugged areas we have differences of up to 15 cm. If we presume that our solution is better than the European determination (because of better mass models and the higher number of observations) we can consider an accuracy of better than 5 cm for the geoid in Switzerland, also in the Alpine regions.