

Paper-ID: VGI_198506



Der Grazer Beitrag zur Geoidbestimmung in Österreich

Hans Sünkel ¹

¹ *Institut für Theoretische Geodäsie, Abteilung für Mathematische und Datenverarbeitende Geodäsie, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, 8010 Graz*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **73** (1), S. 53–55

1985

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Suenkel_VGI_198506,  
Title = {Der Grazer Beitrag zur Geoidbestimmung in {"0}sterreich},  
Author = {S{"u}nkel, Hans},  
Journal = {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {53--55},  
Number = {1},  
Year = {1985},  
Volume = {73}  
}
```



Der Grazer Beitrag zur Geoidbestimmung in Österreich

Von H. Sünkel

1. Geometrie und Physik

Der unablässige Wissensdrang als innere Eigenschaft des forschenden Menschen und seine in erster Linie stark ausgeprägten optischen Fähigkeiten geben Anlaß, Objekte zunächst nach zwei scheinbar elementaren Kriterien zu unterscheiden: Form und Größe. Daher ist es kaum verwunderlich, daß die ersten Geometer (Erdmesser, im wahrsten Sinn des Wortes) unter wohl begründeter Annahme einer Kugelform nach der Größe unserer Erde fragten. Die Entwicklung besserer Meßmittel und Methoden machten eine Modellverfeinerung von der Kugel zum Rotationsellipsoid notwendig, und das zunehmende mathematisch-physikalische Bewußtsein erlaubte es, diesem Ellipsoid auch physikalische Eigenschaften in Form eines einfachen Modell-Schwerefeldes zuzuordnen. Zuersten Mal traten Geometrie und Physik gleichberechtigt nebeneinander auf; die stürmische Entwicklung auf dem Instrumentensektor, die Vervollständigung des mathematischen Werkzeuges und des langsam Fuß fassenden physikalischen Verständnisses standen und stehen in enger Wechselwirkung mit der Modellverbesserung, welche als weitere Stufe das Geoid, eine Fläche konstanten Schwerepotentials im mittleren Meeresniveau, bringt. War der erste Schritt von der Kugel zum Ellipsoid mit ca. 10 000 m noch recht groß, so fällt der 2. Schritt als Übergang vom Ellipsoid zum Geoid mit maximal 100 m schon wesentlich kleiner aus.

Der Umstand, daß die Bestimmung einer Geoidhöhe hypothesenbehaftet ist, gab Anlaß, von der Geoidhöhe zur hypothesenfreien Höhenanomalie überzugehen, welche im Gegensatz zur Geoidhöhe auf die Erdoberfläche bezogen ist. In Verbindung mit Nivellement und Schweremessung ermöglicht die Kenntnis der Höhenanomalie eine hypothesenfreie Bestimmung der Geometrie der Erdoberfläche. Der Bezug zur Physik folgt aus der Tatsache, daß sich Höhenanomalie und anomales Gravitationspotential (beide bezogen auf die Erdoberfläche) lediglich um einen bekannten Faktor unterscheiden. Die Abweichung der Höhenanomalie von der zugehörigen Geoidhöhe liegt in der Größenordnung von maximal 1 m. Da in vielen Fällen eine derartige Genauigkeit gar nicht erreicht wird, macht man auch bisweilen sprachlich keinen Unterschied zwischen Geoidhöhe und Höhenanomalie und damit auch nicht zwischen Geoid und Quasigeoid.

Diese Wechselwirkungen zwischen Geometrie und Physik sind für vermessungstechnische Aufgaben untergeordneter Genauigkeit belanglos; bei großräumigen Ingenieurprojekten mit sehr hohen Genauigkeitsanforderungen werden sie jedoch zunehmend zu einer Herausforderung an den Geometer. Und die Aufgabe der Geodäsie, sowohl die Figur als auch das Schwerefeld der Erde zu bestimmen, ist eine logische Folge des engen Zusammenspiels zwischen Geometrie und Physik.

2. Erdschwerefelddaten

Im wesentlichen gibt es zwei Datenquellen, aus welchen Information über das Erdschwerefeld bezogen werden kann: Oberflächenmessungen und dynamische Satellitenmethoden. Während letztere die großräumigen (langwelligen) Strukturen des Erdschwerefeldes liefern, sind Oberflächendaten als lokale Stichproben imstande, kleinräumige (kurzwellige) Eigenschaften aufzulösen. Die klassische Stichprobe schlechthin ist der Gradient des Schwerepotentials, oder bereits bezogen auf ein Referenzfeld, die Schwereanomalie und die beiden Komponenten der Lotabweichung. Daneben sind für weite Teile der Erdoberfläche Altimeterdaten von enormer Bedeutung; Doppler-Daten haben auf Grund der relativ geringen Genauig-

keit für kleine Gebiete wie Österreich höchstens stabilisierende Wirkung, GPS allerdings wird ganz entscheidend zur Kenntnis von Geometrie und Schwerefeld beitragen.

Als Erdschwerefeldinformation im weiteren Sinne sind aber nicht nur die eben genannten Daten anzusehen, sondern vielmehr auch Höhen- und Dichteinformation in Form eines digitalen Höhenmodells (etwa unter der Annahme konstanter Oberflächendichte). Da letztere Information ohne allzu großen Aufwand (aus bestehenden Karten) zu erhalten ist und digitale Höhenmodelle ganz entscheidend zur Bestimmung des Erdschwerefeldes beitragen, wird dieser Art von Daten derzeit besonders viel Aufmerksamkeit gewidmet.

Keine der hier erwähnten Gruppen von Erdschwerefelddaten ist jedoch in der Lage, in isolierter Form hinreichende Auskunft über das Erdschwerefeld zu geben; mal sind es mangelnde Dichte und Verteilung der Daten, mal die unvermeidbaren Fehlereinflüsse, mal die geringe Auflösung, mal die Blindheit gewisser Datengruppen bezüglich bestimmter Parameter des Erdschwerefeldes. Eine Gruppe allein ist oft zu schwach, im Gruppenverband jedoch liefert jede für sich einen gruppeneigenen Beitrag zu einem harmonischen Ganzen, so wie wir dies auch von herkömmlichen geodätischen Netzen gewohnt sind.

3. Der Grazer Beitrag

Der Beitrag der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz zur Geoidbestimmung für Österreich erfolgte und erfolgt auf allen drei Ebenen:

- a) optimale Organisation und Durchführung der Messungen
- b) Schaffung einer soliden wie modernen theoretischen Basis,
- c) Umsetzung der Theorie in kompakte Software und Verarbeitung der Daten.

ad a): Der in weiten Teilen Österreichs stark ausgeprägte Gebirgscharakter erschwert eine flächenhafte Bedeckung des Bundesgebietes mit Schweremessungen in ausreichender Dichte und möglichst homogener Verteilung. Darüberhinaus erfolgt der Daten-„austausch“ über den Eisernen Vorhang hinweg nach wie vor weitgehend in die eine bekannte Richtung, was im Klartext heißt, daß die für eine rein gravimetrische Geoidbestimmung so wichtigen Schwerewerte in den angrenzenden Nachbarstaaten Tschechoslowakei, Ungarn, aber auch Jugoslawien uns nicht zur Verfügung stehen. Aus diesen beiden Gründen wurde der Messung eines dichten und homogenen Netzes von Lotabweichungspunkten erste Priorität beigemessen, da eine Geoidbestimmung aus Lotabweichungen, welche auf unser Bundesgebiet beschränkt ist, von der Verfügbarkeit von Schwerewerten und Lotabweichungsinformation im benachbarten Ausland weitgehend unabhängig ist. So wurden allein von der TU Graz 115 der derzeit insgesamt verfügbaren ca. 600 Lotabweichungen vor allem im Bereich des Testnetzes Steiermark gemessen. Von mittelbarem Interesse für die in Aussicht genommene Verbesserung des bestehenden Geoids sind die etwa 20 regelmäßig verteilten Doppler-Punkte, welche im Rahmen des ALGEDOP-Projektes beobachtet wurden. Ebenso werden die in der unmittelbaren Umgebung von Lotabweichungspunkten im Bereich Testnetz Steiermark gemessenen Schwerewerte lösungsstabilisierend zur Wirkung kommen.

ad b), c): Wie im letzten Abschnitt hervorzuheben versucht wurde, muß das Hauptaugenmerk der Entwicklung einer Methode gelten, welche es erlaubt, sämtliche Gruppen von Erdschwerefelddaten konsistent und optimal zu verarbeiten. Die Schaffung der theoretischen Grundlagen und die Erarbeitung dieser praxisgerechten, transparenten Methode, welche unter dem Begriff „Kollokation nach kleinsten Quadraten“ seit mehr als einem Jahrzehnt weltweit zur Anwendung kommt, geht weitgehend auf die grundlegenden diesbezüglichen Arbeiten in Graz und Kopenhagen zurück. Wesentlich bei diesem Verfahren ist der bestmögliche Schluß von Stichproben des Schwerefeldes auf das Schwerefeld selbst. Um diesen Inversionsprozeß so glatt wie möglich zu gestalten, ist es zweckmäßig, bekannte Information (globales Erdmo-

dell, Einfluß eines digitalen Höhenmodells) aus dem vorhandenen Datensatz herauszufiltern. Die Kollokationslösung besteht demnach lediglich in der Verarbeitung der so reduzierten Daten, welche bei Verwendung von realitätsnahen Modellen betragsmäßig klein sind im Vergleich zu den unreduzierten Daten. In einem letzten Schritt wird die Datenreduktion rückgängig gemacht, indem die entsprechenden Effekte der Kollokationslösung überlagert werden. Der gesamte Prozeß, welcher wegen des enorm hohen Rechenaufwandes den Einsatz einer Großrechenanlage bedingt, ist so gestaltet, daß im Grunde nur durch die Vorgabe des Ortes und eines Codes verschiedene Schwerfeldinformationen in Form von Schätzwerten abgefragt werden können. So war es etwa möglich, nicht nur ein Feld von Geoidhöhen (im Nullniveau), sondern auch das zugehörige Feld von Höhenanomalien (entlang der Erdoberfläche) zu bestimmen.

4. Ergebnisse – Ziel

Die im vorhergehenden Abschnitt skizzierte Methode der Geoidbestimmung wurde an der TU Graz für den mit Lotabweichungen überdeckten Teil des Bundesgebietes zunächst nur für die Datengruppe Lotabweichungen, unterstützt durch ein Erdmodell mit einer kürzesten Wellenlänge von ca. 200 km und ein digitales Höhenmodell basierend auf einem 20" x 20" Punktraster, angewendet.

Die Geoidhöhen für Österreich (östlich von St. Johann in Tirol) liegen, bezogen auf das Geodätische Bezugssystem 1980, bei durchschnittlich 45 m und weisen ein ausgeprägtes SW-NO-Gefälle von etwa 8 m auf. Die relative Genauigkeit der Geoidhöhen (Höhenanomalien) liegt Methoden-intern geschätzt bei ca. 10 cm: Die den Berechnungen zugrunde gelegten 521 Lotabweichungen haben eine Varianz von 30 Bogensekunden² und erreichen Maximalwerte von 20". Von großem wissenschaftlichen Interesse ist das Feld der Differenzen zwischen Höhenanomalie und Geoidhöhe, welches in nahezu perfekter Übereinstimmung mit der Theorie starke Korrelationen mit dem Produkt aus Bouguer-Anomalie und topografischer Höhe aufweist und, wie theoretisch vorhergesagt, genau im Bereich des Großglocknermassivs einen Maximalwert von 35 cm erreicht.

In weiterer Folge wird sich Graz an der Messung der noch ausstehenden Lotabweichungspunkte im Westen Österreichs beteiligen. Derzeit wird an der Verbesserung des vorhandenen digitalen Höhenmodells gearbeitet. Die nächste Verbesserung des Geoids wird unter Bedachtnahme eines besseren Höhenmodells und unter Berücksichtigung des vorhandenen Schwerematerials sowie der ALGEDOP-Doppler-Information erfolgen, wobei wiederum die Daten im Bereich des Testnetzes Steiermark für eine Pilotstudie herangezogen werden sollen.

Erklärtes Ziel der Geoid- und damit Erdschwerfeldbestimmung ist es, dem Anwender für seinen räumlich begrenzten Arbeitsbereich einen dichten Raster mit zugehörigen Rasterwerten zur Verfügung zu stellen, sodaß für jeden beliebigen Punkt innerhalb des Rasters mittels primitiver Interpolation sowohl die Geoidhöhe als auch die beiden präzidierten Lotabweichungskomponenten ermittelt werden können. Damit erhält der Geometer ein einfaches Werkzeug, um den Einfluß des Schwerfeldes aus seinen Messungen eliminieren zu können und diese so auf einen im wesentlichen geometrischen Gehalt zu reduzieren. Daneben aber wird mit diesem Vorhaben auch ein rein wissenschaftliches Ziel verfolgt, welches darin besteht, daß aus der besseren Kenntnis des Erdschwerfeldes ein besseres Dichtemodell abgeleitet und so rekursiv von der Wirkung auf die Ursache geschlossen werden kann. Dieser Iterationsprozeß erfordert das Näherrücken der drei Wissenschaftsdisziplinen Geodäsie, Geologie und Geophysik, wobei dem Schwerfeld der Erde durchaus eine entscheidende Mittlerfunktion zukommen könnte.

Literatur:

ÖKIE (1983): Das Geoid in Österreich. Neue Folge, Band III, Graz.