Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 84 (1986)

Heft: 5

Artikel: ALGEDOP : ein Beitrag zur satellitengestützten Geoidbestimmung in der Schweiz

Autor: Wiget, A. / Kahle, H.-G. / Geiger, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-233037

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: 10.12.2025

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

ALGEDOP: Ein Beitrag zur satellitengestützten Geoidbestimmung in der Schweiz

A. Wiget, H.-G. Kahle, A. Geiger

Das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich hat in den vergangenen Jahren in enger Zusammenarbeit mit ausländischen Instituten Geländemessungen für das Dopplerprojekt ALGEDOP (Alpine Geoid Doppler Project) durchgeführt. Ziel dieser Arbeiten ist es, mit Hilfe von Dopplermessungen an U.S. TRANSIT-Satelliten das Geoid im Alpenraum zu bestimmen. Der vorliegende Aufsatz konzentriert sich auf die Beschreibung der Messungen, die 1984 und 1985 in der Schweiz durchgeführt wurden. Über die Auswertungen wird in einem späteren Beitrag informiert.

Au cours des années passées, l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie (IGP) de l'EPF Zurich a effectué, en étroite collaboration avec des instituts étrangers, des mesures de terrain dans le cadre du projet Doppler ALGEDOP (Alpine Geoid Doppler Project). Ces travaux ont pour but la détermination du géoïde dans la région alpine à l'aide de mesures Doppler sur des satellites américains TRANSIT. Cet article se concentre sur la description des mesures effectuées en Suisse en 1984 et 1985. Un autre article à ce sujet paraîtra d'ici peu et informera sur l'exploitation des résultats.

1. Einleitung

Das Schwerepotential W der Erde besteht aus einem Gravitations- und Zentrifugalanteil. W ist eine eindeutige stetige und differenzierbare Funktion im Aussenraum der Erde. Die Flächen konstanten Schwerepotentials W = const. heissen Aequipotential- oder Niveauflächen. Eine spezielle Niveaufläche, die im mittleren Meeresniveau liegt, wird als Geoid (Potential $W = W_0$) bezeichnet. Das Geoid bildet die physikalische Grundlage für Lage- und Höhenmessungen in der Landesvermessung sowie für gravimetrische Messungen in der Geophysik. Die leicht gekrümmten Orthogonaltrajektorien zu den Niveauflächen nennt man Schwerefeldlinien, und die Tangenten an die Schwerefeldlinien werden als Lotlinien bezeichnet. Die Richtungen der Lotlinien (Lotrichtungen) sind identisch mit den Instrumentenachsen und definieren daher die Bezugsrichtung für Höhenwinkelmessungen und Nivellements. Der Potentialunterschied dW zwischen zwei Punkten P_2 und P_1 beträgt

$$dW = W(P_2) - W(P_1) = (\vec{g} \cdot \vec{ds}) = \text{Skalarprodukt},$$

wobei $\vec{g} = \text{grad } W$

und $\vec{ds} \doteq$ Ortsvektor zwischen P_1 und P_2.

Der Betrag von $\vec{g}$ heisst Schwerebeschleunigung oder kurz: Schwere. Lotrichtung und Schwere stehen in engem potentialtheoretischen Zusammenhang mit dem Geoid.

Wegen der Kompliziertheit der Geometrie der Niveauflächen bezieht man das Geoid auf eine geometrisch einfachere Figur: ein Rotationsellipsoid. Dessen geometrischen Parameter sind im neuen Geodätischen Referenzsystem [Moritz, 1980] festgelegt. Die Oberfläche des entsprechenden, als Referenz-Ellipsoid bezeichneten abgeplatteten Rotationsellipsoides ist ebenfalls eine Niveaufläche, mit dem Wert $U = W_0 =$ const. Der «radiale» Abstand zwischen dem Geoid und dem Referenzellipsoid wird als «Geoidundulation» bezeichnet. Aus den Geoidundulationen können insbesondere die regionalen Anteile der Schwerefeld-Anomalien abgeleitet werden. Ziel des im folgenden beschriebenen satellitengestützten ALGEDOP-Projekts (Alpine Geoid Doppler Project) ist es, die Geoidundulationen im gesamten Alpenraum zu ermitteln.

Das Geoid wurde bislang traditionell mit astronomisch-geodätischen (Lotabweichungen) [Elmiger, Gurtner] und gravimetrischen Methoden (Schwereanomalien) bestimmt (in kontinentalen Gebieten z.B. [Groten und Rummel, 1974], in ozeanischen Gebieten z.B. [Kahle et al., 1978]). Diese Verfahren kommen auch heute noch in der Berechnung des lokalen und regionalen Schwerefeldes zur Anwendung.

Moderne Entwicklungen der Raumfahrt und Satellitentechnologie haben in jüngerer Zeit neue Methoden der Geoidbestimmung möglich gemacht. Seit Sputnik (1957) werden die künstlichen Erdsatelliten in der dynamischen Satellitengeodäsie als Sensoren im Gravitationsfeld der Erde benutzt.

Durch Analyse der Bahnstörungen können die Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung des Erdgravitationsfeldes berechnet werden. Beispiele hierfür sind die neuesten Gravitationsmodelle GEM 10C von Lerch et al. [1985] sowie GRIM3–L1 von Reigber, Balmino et al. [1985] und Wenzel [1984].

Eine direkte Vermessung des Geoides über den Ozeanen ermöglicht die Radar-Altimetrie, z.B. GEOS–C [Stanley, 1979], SEASAT [Bernstein, 1982; Kirwan et al., 1983]. Dabei werden die Laufzeiten von Radarimpulsen gemessen, die vom Satelliten ausgestrahlt, an der Meeresoberfläche reflektiert und vom Satelliten wieder empfangen werden [Lame und Born, 1982]. Die Position des Satelliten wird durch Bodenstationen und geostationäre Satelliten eingemessen.

Über kontinentalen Gebieten, wo diese Methode versagt, müssen die Geoidhöhen indirekt bestimmt werden. Auch dabei bedient man sich heute der raschen und allwettertauglichen Satellitengeodäsie. Das prinzipielle Vorgehen soll hier kurz erläutert werden.

2. Geoidbestimmung mittels TRANSIT-Dopplermessungen

Mit Hilfe von Dopplermessungen an den Signalen der Satelliten des U.S. Navy Navigation Satellite Systems (NNSS/TRANSIT) [Geiger und Kahle, 1982] kann die Position der Beobachterantenne in einem erdfesten geozentrischen kartesischen Koordinatensystem ermittelt werden. Diese Koordinaten (X, Y, Z) können in Lage (φ, λ) und Höhe h bezüglich eines beliebigen Referenzellipsoides umgerechnet werden. Die bekannten Transformationsformeln von ellipsoidischen in kartesische Koordinaten lauten:

$$X = (R_N + h) \cos \varphi \cos \lambda$$
$$Y = (R_N + h) \cos \varphi \sin \lambda$$
$$Z = (R_N(1-e^2) + h) \sin \varphi$$

mit $R_N = \dfrac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$ Querkrümmungsradius, a = grosse Halbachse, e = Erste numerische Exzentrizität des Rotationsellipsoids.

Beispiele zur Berechnung und Anwendung der Transformationsformeln aus dem Bereich der dopplergestützten Satellitengeodäsie sind in mehreren Seminar- und Diplomarbeiten am IGP zusammengestellt worden [z.B. Müller, A. (1982), Marti, U. (1985)].

Die längs der Ellipsoidnormalen gemessene Höhe h über dem Ellipsoid (HELMERT-Projektion) ist von lokalen Schwerefeldeinflüssen unbeeinflusst und stellt eine geometrische Grösse dar.

Im Gegensatz zur ellipsoidischen Höhe h ist die nivellierte Höhe des Punktes P (X, Y, Z) abhängig vom Schwerefeld längs

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata Nr. 97.

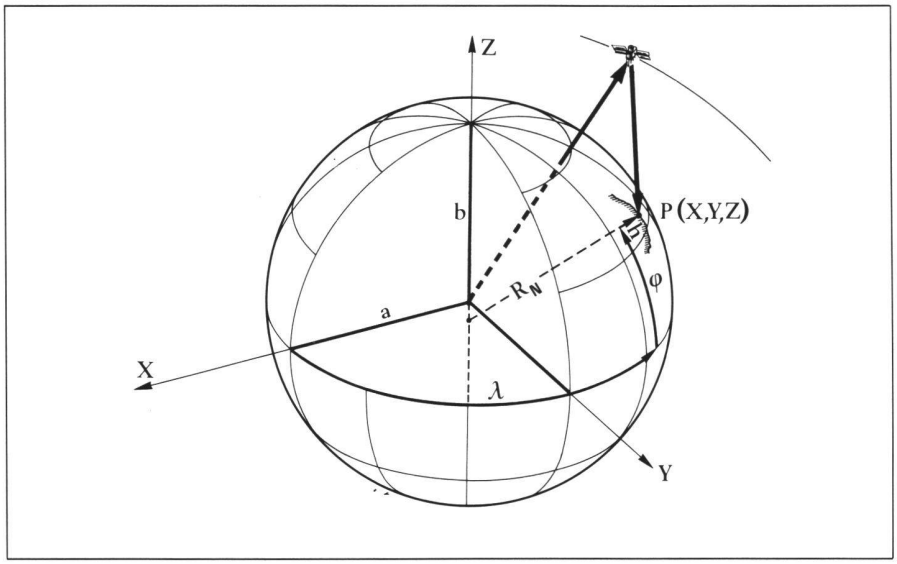

Abb. 1: Räumliche geozentrische kartesische Koordinaten (X, Y, Z) und ellipsoidische (geodätische) Koordinaten (φ, λ, h). Der Ursprung des kartesischen Systems (X, Y, Z) liegt im Erdschwerpunkt (Geozentrum). Die Z-Achse ist die mittlere Rotationsachse der Erde. Die (X, Z)-Ebene enthält das mittlere Observatorium von Greenwich. (X, Y)-Ebene = Aequatorebene. a, b = Ellipsoid-Halbachsen. R_N = Querkrümmungsradius des Rotationsellipsoids.

des Nivellementsweges. Die orthometrische Höhe H ist die Länge der gekrümmten Schwerefeldlinie vom Geoid bis zum Oberflächenpunkt (PIZETTI-Projektion). Diese Höhe kann nicht direkt gemessen werden. Stattdessen erhält man die sogenannte Gebrauchshöhe durch Aufsummieren der an der Erdoberfläche gemessenen Höhenunterschiede $\Delta\bar{H}_i$ (Abb. 2). Physikalisch wird der «Horizont» durch die Tangentialebene der Niveaufläche gebildet, wodurch die Visuren direkt vom Schwerefeld abhängen. Ist das lokale Schwerefeld bekannt, so können die nivellierten Höhen durch Berücksichtigung der sog. orthometrischen Korrektur in orthometrische Höhen umgerechnet werden.

Die Geoidundulationen N erhält man durch Subtraktion der orthometrischen Höhen H der Messpunkte über dem Geoid von den satellitengeodätisch bestimmten ellipsoidischen Höhen h der Punkte über dem Ellipsoid [Kouba, 1976]

$$N = h - H.$$

Die Krümmung der Schwerefeldlinie kann bei der Höhenberechnung mit der Dopplermethode in der Praxis vernachlässigt werden.

Die interne Höhen-Genauigkeit der Dopplermessungen im Satelliten-Koordinatensystem (Broadcast oder Precise Ephemeris) bleibt auf einige Dezimeter (0.3 – 0.5 m) beschränkt. In der Praxis ist man jedoch nicht nur an Geoidundulationen relativ zu globalen geodätischen Referenzellipsoiden interessiert. Für Vergleiche mit astrogeodätischen und gravimetrischen Geoidbestimmungen benötigt man Geoidhöhen, die auf das lokale Datum bezogen sind. Für die Schweiz sind dies das Bessel-Ellipsoid im Schweizer Datum sowie das Internationale Ellipsoid im Europäischen Datum (ED50 und ED79). Die für die Transformation in diese Systeme notwendigen Parameter konnten in der Dopplerkampagne SWISSDOC 1984 bestimmt werden [Wiget, Geiger, Kahle, 1985]. Derart berechnete Geoidhöhen enthalten noch Fehler in den Transformationsparametern, womit die Gesamtgenauigkeit in der Grössenordnung eines Meters liegt. Die Genauigkeit der nivellierten Höhen der Messpunkte sowie der anschliessenden orthometrischen Korrektur beträgt einige Zentimeter. Deren Einfluss auf die Genauigkeit der berechneten Geoidhöhen fällt daher im Vergleich zu den Dopplermessungen kaum ins Gewicht.

Die Bedeutung der Geoidbestimmung mittels Dopplermessungen liegt vor allem darin, dass sie eine unabhängige Ergänzung zu den terrestrischen Methoden darstellt. Zudem ermöglichen die Satellitenmessungen einen einfachen Bezug zu den globalen Geoiddarstellungen (Goddard Earth Model (GEM), GRIM), da sie sich ebenfalls auf das globale Referenzsystem beziehen.

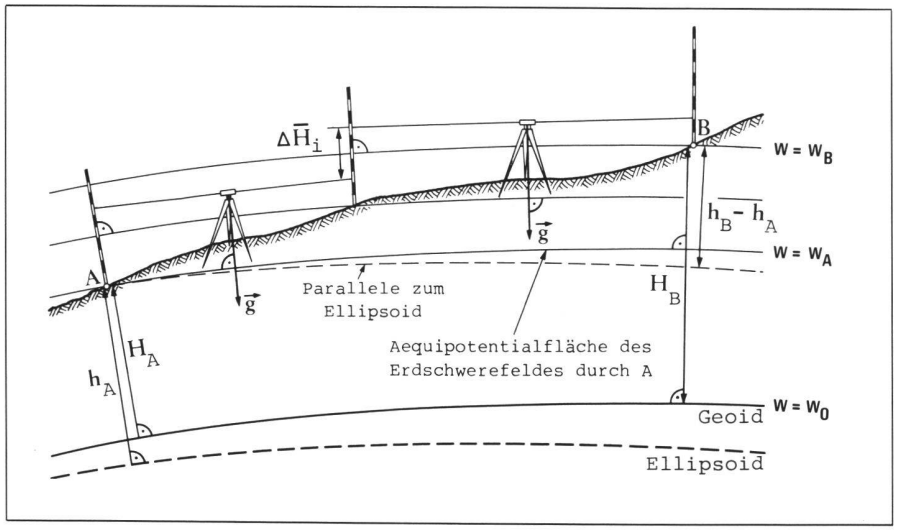

Abb. 2: Prinzipskizze zum geometrischen Nivellement; h_A = ellipsoidische Höhe von A, H_A = orthometrische Höhe von A. Da die Aequipotentialflächen des Erdschwerefeldes W nicht parallel verlaufen, entspricht die Summe der nivellierten Höhendifferenzen $\Delta\bar{H}$; nicht dem Unterschied der orthometrischen Höhen $H_B - H_A$.

3. Das Projekt ALGEDOP

Mit Hilfe von Lotabweichungs- und Schwereanomalien-Messungen wurden in den vergangenen 20 Jahren für die meisten europäischen Länder unabhängige astrogeodätische und gravimetrische Geoidkarten berechnet. Das Geoid in der Schweiz wurde von Elmiger [1975a, 1975b] und Gurtner [1978] veröffentlicht. Den früheren Berechnungen des europäischen Geoids haben Bomford [1972] und Levallois [1975] astro-geodätische Lotrichtungsmessungen zugrundegelegt. In jüngster Zeit wurde die Berechnung eines kombinierten, astro-gravimetrischen Geoides für Europa durchgeführt [Brennecke et al., 1983]. Die Genauigkeit dieses Geoides beträgt ca. 0.5 m in Gebieten mit flacher Topographie und ca. 1.0 m in den Alpen. Die absolute Genauigkeit liegt somit in derselben Grössenordnung wie diejenige des Dopplergeoides.

Im Jahre 1980 hat Prof. A. Marussi vom Istituto di Geodesia e Geofisica der Universität Triest ein Projekt zur Geoidbestimmung für das Alpen- und Mittelmeergebiet vorgeschlagen, bei dem die neuen Möglichkeiten des U.S. Navy Navigation Satellite Systems (NNSS) ausgenützt werden sollten. Diese Anregung wurde von verschiedenen Instituten der Alpen- und Mittelmeerländer (Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien,

Jugoslawien, Oesterreich, Schweiz) mit Interesse aufgenommen. Das Ziel dieses unter dem Namen ALGEDOP (**Al**pine **Ge**oid **D**oppler **P**roject) lancierten Projektes ist die Bestimmung der Geoidundulationen (und der Anomalien des Erdgravitationspotentials) im Gebiet der Alpen, unter späterer Ausweitung auf den Apennin, das Tyrrhenische und Adriatische Meer sowie die Griechische Halbinsel und die Aegäis. Im Rahmen von ALGEDOP wurde beschlossen, geozentrische ellipsoidische Koordinaten mittels Dopplermessungen im NNSS/TRANSIT-System von solchen Punkten zu bestimmen, für die gleichzeitig nivellierte Höhenangaben vorliegen. Das ausgewählte Stationsnetz mit einer Maschenweite von 40' x 30' (Länge x Breite; ca. 50 km x 50 km) überdeckt das gesamte Alpengebiet und die Po-Ebene. Alljährlich wurden, im Osten beginnend, eines oder mehrere Nord-Süd-Profile dieses Rasters gemessen. Gleichzeitig wurden während jeder Messkampagne permanente Referenzstationen mitbeobachtet, um die Profile der verschiedenen Epochen verknüpfen zu können. Zudem sollten hierdurch allfällige langperiodische Stabilitätsschwankungen und Frequenzdriften im Referenzsystem des NNSS eliminiert werden.

Im Juli 1980 begann das erste Pilotprojekt auf einem Nord-Süd-Profil von Wettzell über Salzburg und Tarvisio nach Trieste (Meridian 13° Ost) mit 12 Feld- und 3 Fixstationen (Graz, Trieste, Wettzell). Die Fortsetzung nach Westen erfolgte in den Jahren 1982 und 1983 mit insgesamt vier weiteren Profilen von Bayern über Vorarlberg und Tirol bis in die Po-Ebene. Ausser den 6 Referenzstationen Arosa (CH), Firenze (I), Grasse (F), Graz (A), Trieste (I) und Wettzell (BRD) wurden über 30 neue ALGEDOP-Stationen eingemessen. Die Auswertung dieser früheren Messungen wurde am Geodätischen Institut der Universität Bonn vorgenommen [Seeger, 1984]. Im Sommer 1984 und 1985 konnten die restlichen Profile aus dem ALGEDOP-Raster beobachtet werden, womit der gesamte Alpenraum von Ost-Oesterreich bis in die französischen West-Alpen mit total rund 100 Punkten abgedeckt war.

Abb. 4: Die Dopplerempfänger-Antenne auf der Referenzstation Arosa (Lichtklimatisches Observatorium der ETH Zürich).

4. ALGEDOP-Kampagnen 1984 und 1985

Die Durchführung der ALGEDOP-Messungen 1984 und 1985 erfolgte nach der bewährten Art der vorangegangenen Jahre. Entsprechend der Anzahl der zur Verfügung stehenden Doppler-Empfänger wurden profilweise Punkte aus dem 40' x 30'-Raster ausgewählt. Die Rekognoszierung und Vorbereitung der Messstationen wurde von interessierten Instituten der jeweiligen Länder übernommen. Die Doppler-Messungen erfolgten dann in Kampagnen von je 7–10 Tagen, wobei die früheren Referenzstationen (Arosa, Cagliari, Firenze, Grasse, Graz, Wettzell) mitbeobachtet wurden.

An den ALGEDOP-Kampagnen 1984 und 1985 waren folgende Institute und Firmen direkt beteiligt:

- AGIP S.p.A., Servizio G.E.C.F., Milano
- Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung, Bremerhaven
- Bundesamt für Landestopographie (L+T), Bern
- C.E.R.G.A., Grasse
- Geodätisches Institut der Universität Bonn (SFB 78)
- Geodätisches Institut der Universität Stuttgart
- Hochschule der Bundeswehr, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen, München
- Institut für Angewandte Geodäsie (Abteilung II des DGFI), Frankfurt a.M. und Wettzell (SFB 78)
- Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP), ETH Zürich
- Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Berlin
- Institut für Weltraumforschung der Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften (Abteilung Satellitengeodäsie), Graz
- Institut Géographique National, Service de Géodésie, Nivellement et Métrologie, Saint-Mandé
- Istituto di Geodesia e Geofisica, Università di Trieste
- Istituto Geografico Militare, Firenze
- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Stuttgart
- SNAM Progetti, Fano
- Stazione Astronomica Internazionale di Latitudine, Cagliari
- Vakgroep Landmeetkunde, Landbouwhogeschool, Wageningen
- WILD Heerbrugg

Die Messungen des Jahres 1984 waren eng mit der schweizerischen Doppler-

messkampagne SWISSDOC koordiniert [Wiget et al., 1985]. Nach einer gemeinsamen Kalibrierung der Doppler-Empfänger und der Antennen in Zürich wurden während 10 Tagen (17.–26. 7.) zwei Profile längs den Meridianen 9° E bzw. 9°40' E gemessen, mit Breitendifferenzen von jeweils 30'. Die nördlichsten Punkte lagen bei 48°N (~ Linie Freiburg–München), die südlichsten an der Mittelmeerküste. 10 von insgesamt 14 Stationen lagen in der Schweiz.

Die 30 Punkte der beiden Messkampagnen des Jahres 1985 wurden ebenfalls nach dem 50 km x 50 km-Raster ausgewählt.

5. Messpunkte und Höhenanschlüsse in der Schweiz

Die Messpunkte der Schweiz (vgl. Abb. 3) wurden vom IGP der ETH Zürich rekognosziert und vorbereitet. Ausgehend von den Rasterpunkten wurden optimale Messstandorte in der Nähe von bestehenden Nivellementspunkten gesucht, um den Messaufwand für die Höhenbestimmung zu minimieren. Dabei war besonders auf gute Empfangsbedingungen und leichte Zugänglichkeit zu achten. Die Abweichungen von den Rasterpunkten zu den gemessenen Stationen betrugen nicht mehr als 7.4 km.

Zusätzlich zu den Rasterpunkten wurde die Station Arosa (vgl. Abb. 4) mitbeobachtet. Diese Station dient als eine der Referenzstationen, um die in verschiedenen Jahren gemessenen Profile des ALGEDOP-Projektes miteinander zu kombinieren. Während sich alle übrigen Referenzstationen am Alpenrand oder gar ausserhalb der Alpen befinden, liegt Arosa mitten im interessierenden Gebiet. Da die Höhe der Station ebenfalls an das Landesnivellement angeschlossen wurde, ist sie zudem als Messpunkt für die Geoidbestimmung verwendbar.

Die Schweizer ALGEDOP-Punkte wurden vorwiegend mit Magnavox MX 1502 Doppler-Empfängern eingemessen. Daneben wurden auch zwei JMR-Geräte (IGN, Paris) sowie ein CMA 751 (LH Wageningen) eingesetzt. Pro Station und Kampagne (7–10 Tage) konnten jeweils 120–140 Satellitendurchgänge beobachtet werden.

Im Verlaufe der Dopplermessungen wurden gleichzeitig manuell örtliche Wetterdaten (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit) erhoben. Diese Informationen dienen als Ergänzung der automatisch erhobenen Meteo-Daten (ANETZ) der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA). Sie sind nötig, um die Effekte der troposphärischen Refraktion zu korrigieren.

Die Höhen der Messstationen, genauer: die Phasenzentren der Doppler-Antennen, wurden von der L+T entweder mit Nivellement oder trigonometrisch an das Landesnivellement der Schweiz angeschlossen. Bei allen Höhen handelt es sich um sogenannte Gebrauchshöhen im schweizerischen Bezugssystem, d.h. nivellierte Höhen ohne orthometrische Korrekturen bezogen auf den Fixpunkt Repère Pierre du Niton in Genf (373.600 m ü.M.). Für Vergleiche mit den Höhensystemen der Nachbarstaaten müssen daher zusätzlich noch Nullpunkts-Korrekturen berücksichtigt werden.

Die Genauigkeit der lokalen Anschlussmessungen an die bestehenden Nivellementspunkte ist besser als 1 cm. Unter Berücksichtigung der ursprünglichen Höhengenauigkeit der Anschlusspunkte sowie der Unkenntnis möglicher Punktverschiebungen dürfte die Gesamtgenauigkeit der nivellierten Höhen wenige cm betragen. Diese ist somit um etwa eine Zehnerpotenz besser als die mit Doppler bestimmten ellipsoidischen Höhen.

6. Ausblick und Dank

Mit der Teilnahme der ETH Zürich am internationalen ALGEDOP-Projekt konnte einerseits eine lückenlose Verteilung der Messpunkte in den Zentralalpen sichergestellt werden, andererseits erlauben die

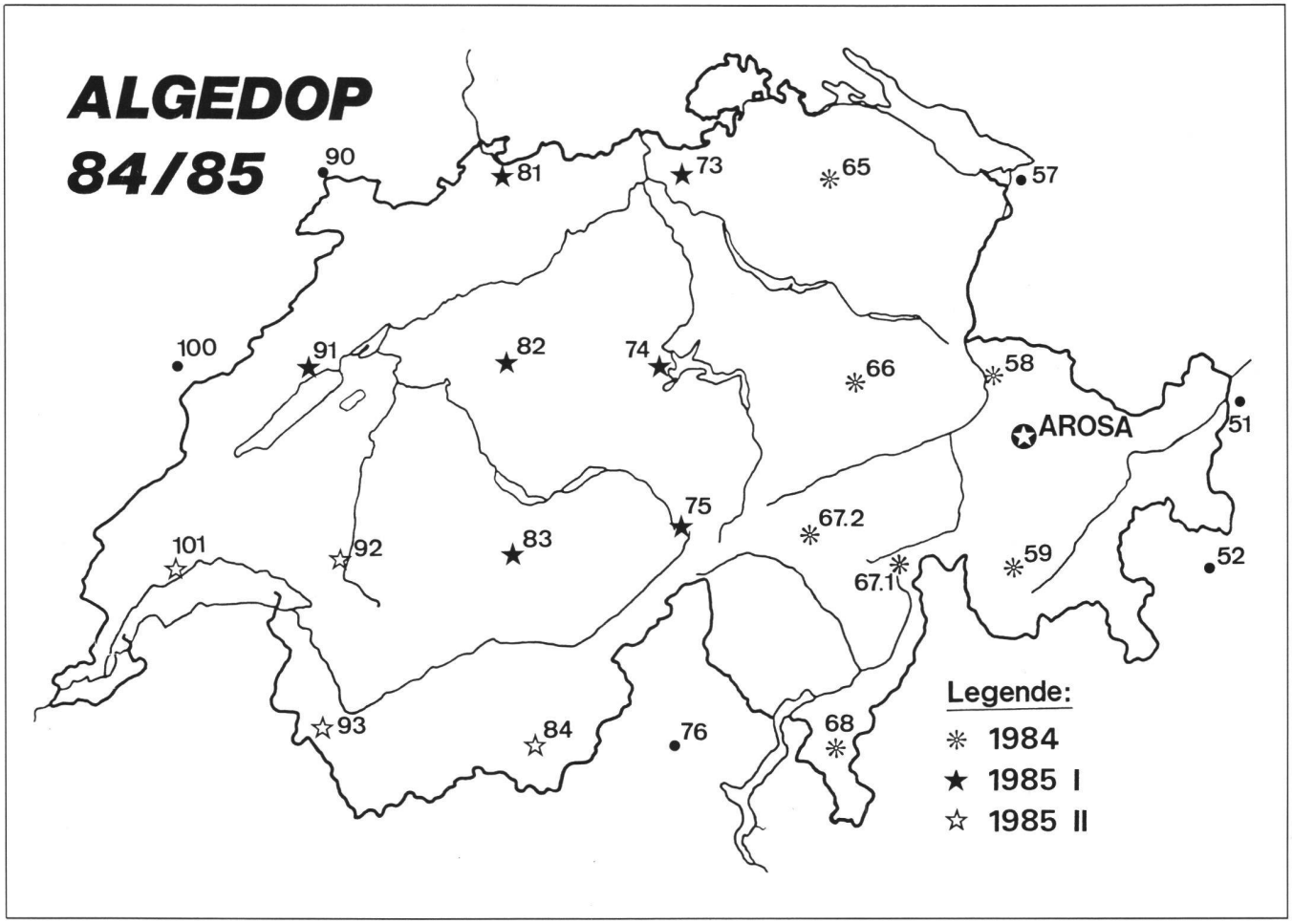

Abb. 3: ALGEDOP-Messpunkte in der Schweiz.

gleichzeitigen Messungen in unseren Nachbarländern eine grossräumige Erfassung und Lagerung des Alpengeoides. Zudem wurde mit den ALGEDOP-Messungen einer Empfehlung der IAG-Spezialstudiengruppe 5.50 für die Berechnung des Geoides in Zentraleuropa und im Mittelmeer entsprochen [Recommendation No. 2, In: Birardi, 1983].

Allerdings ist die Genauigkeit und das Auflösungsvermögen des ALGEDOP-Geoides um etwa eine Zehnerpotenz (Meter gegenüber Dezimeter) kleiner als diejenige des astro-geodätischen Geoides der Schweiz [Gurtner, 1978]. Für lokale Geoidbestimmungen und genauere geophysikalische Interpretationen (Störkörper-Analysen) ist das Doppler-Verfahren also ungeeignet. Hierzu bedarf es nach wie vor der astro-geodätischen und gravimetrischen Methoden, wie sie zum Beispiel im Gebiet der Ivrea-Zone angewandt wurden [Bürki, 1985].

Die gewonnenen Daten und Erfahrungen sind aber zweifellos bei der zukünftigen Anwendung der Satellitengeodäsie in der Schweiz von grossem Nutzen; denn die satellitengestützten Vermessungs- und Navigationsverfahren, allen voran das NAVSTAR Global Positioning System (GPS), werden schon in naher Zukunft dank ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und hohen Leistungsfähigkeit grosse Bedeutung für die Geodäsie und Navigation erlangen [Matthias, 1985]. Mit den ALGEDOP-Messungen wurde ein grundlegender Datensatz für Vergleiche mit diesen zukünftig zu implementierenden Vermessungsmethoden geschaffen. Die Genauigkeit der neuen Methoden wird allerdings wesentlich grösser sein. Lokal wird durch das Zusammenwirken von Präzisionsnivellements, gravimetrischen und GPS-Messungen das Geoid mit cm-Genauigkeit bestimmt werden können. Schliesslich können von der Satellitengeodäsie im Zusammenhang mit der Alpendynamik und der Plattentektonik auch für geophysikalische Anwendungen wichtige Informationen erwartet werden.

Die Arbeiten für den Schweizer-Anteil an ALGEDOP werden durch den Schweizerischen Nationalfonds (Projekt Nummer 2.352-0.84), die ETH Zürich (Projekt Nr. 406/41-0820.05) und die Schweizerische Geodätische Kommission finanziert. Allen beteiligten Universitäten und Firmen sowie den Beobachterequipen danken wir für die vorzügliche Zusammenarbeit und ihren Einsatz. Insbesondere dem Bundesamt für Landestopographie, Sektion Nivellement, sind wir für die kompetente und rasche Durchführung aller terrestrischen Höhenanschlussmessungen zu grossem Dank verpflichtet. Die Auswertungen der Messungen sind im Gange und werden zu gegebener Zeit veröffentlicht werden.

Literatur:

Abkürzungen:

VPK = Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik
IAG = Internationale Assoziation für Geodäsie
AIG = Association Internationale de Géodésie
IGP = Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
CSTG = International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics, IAG Comm. VIII
DGK = Deutsche Geodätische Kommission
SGK = Schweizerische Geodätische Kommission
RETrig = **R**éseau **E**uropéen de **T**riangulation
HSBw = Hochschule der Bundeswehr, München
AVN = Allgemeine Vermessungs-Nachrichten
JGR = Journal of Geophysical Research

Bernstein, R.L. (ed.), 1982: SEASAT Special Issue I. JGR Vol. 87, No. C5, p. 3173, April 30, 1982.

Birardi, G. (ed.), 1983: Proceedings of the 2nd International Symposium on the Geoid in Europe and the Mediterranean Area, Rome, 13th–17th September 1982. Istituto Geografico Militare Italiano, 1983.

Bomford, G., 1972: The Astrogeodetic Geoid in Europe and Connected Areas. Travaux de l'Association Internationale de Géodésie 24, 357–370, Paris, 1972.

Brennecke, J., D. Lelgemann, E. Reinhart, W. Torge, G. Weber and H.-G. Wenzel, 1983: A European Astro-Gravimetric Geoid. DGK, Reihe B, Heft Nr. 269, 1983.

Bürki, B., 1985: Die Ivrea-Messkampagne 1983. IGP-Bericht Nr. 92, ETH Zürich, April 1985.

Elmiger, A., 1975a: Erste Ergebnisse einer Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen. Bericht an die SGK, Juni 1975.

Elmiger, A., 1975b: Das Geoid in der Schweiz. VPK,3–4/1975.

Geiger, A., H.-G. Kahle, 1982: Zum Dopplerverfahren in der Satellitengeodäsie: Ein Überblick. VPK 6/82: 49–52.

Groten, E. and R. Rummel, 1974: Improved Gravimetric Geoid for $7° \leqslant \lambda \leqslant 12°$ E and $47° \leqslant \varphi \leqslant 54°$ N. AVN 7: 263–268.

Gurtner, W., 1978: Das Geoid in der Schweiz. IGP ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 20, 1978.

Hasch, B., F.J. Lohmar, H. Seeger and C. Marchesini, 1983: Status Report on ALGEDOP, 1980–1983 CSTG Bulletin, 6: 135–152.

Kahle, H.-G., M. Chapman and M. Talwani, 1978: Detailed 1° x 1° Gravimetric Indian Ocean Geoid and Comparison with GEOS-3 Radar Altimeter Geoid Profiles. Geophys. Journal, Royal Astr. Soc., 55: 703–720.

Kirwan, A.D., Th.J. Ahrens and G.H. Born (ed.), 1983: SEASAT Special Issue II. JGR Vol. 88, No. C3, p. 1529, Feb. 28, 1983.

Kouba, J., 1976: Doppler Leveling. The Canadian Surveyor, Vol. 30, No. 1, p. 21–32, March 1976.

Lame, D.B. and G.H. Born, 1982: SEASAT Measurement System Evaluation: Achievements and Limitations. Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. C5, 3175–3178, April 30, 1982.

Lerch, F.J., S.M. Klosko, G.B. Patel and C.A. Wagner, 1985: A Gravity Model for Crustal Dynamics. J. Geophys. Res., 90: 9301–9311.

Levallois, J.J., 1975: Le Géoïde Européen. AIG Comm. RETrig, 10, p. 110–112, München, 1975.

Lohmar, F.J., C. Marchesini and H. Seeger, 1982: Über die Bestimmung eines Geoidprofils durch die Alpen mit Hilfe von Dopplermessungen im NNSS. Mitt. Geod. Inst. der Universität Bonn, 65: 61–80.

Marchesini, C., F.J. Lohmar and H. Seeger, 1982: A Geoid Profile across the Alps Determined by Satellite Doppler Positioning. In: Proceedings Int. Symposium on the Geoid in Europe and the Mediterranean Area, Rome, 1982.

Marti, U., 1985: Bestimmung von Transformationsparametern aus SWISSDOC-Messungen. Seminararbeit IGP Zürich, 1985.

Marussi, A., 1982: Alpine Geoid Doppler Project ALGEDOP. CSTG Bulletin, 4: 43–48.

Marussi, A. and C. Marchesini, 1983: Project ALGEDOP, Status Report, Oct. 1983. CSTG Bulletin, 6: 131–134.

Matthias, H.J., 1985: Navigation. VPK 4/85: 109–122.

Moritz, H., 1980: Geodetic Reference System 1980. Bulletin Géodésique 54: 395–405.

Müller, A., 1982: Dopplermessungen. Diplomarbeit IGP, ETH Zürich, 76 pp.

Reigber, C., G. Balmino, H. Müller, W. Bosch and B. Moynot, 1985: GRIM Gravity Model Improvement Using LAGEOS (GRIM 3-L1). J. Geophys. Res., 90: 9285–9299.

Seeger, H., 1984: Zur Geoidbestimmung im Alpenraum mit Hilfe von Dopplermessungen im NNSS (ALGEDOP). In: Schödlbauer und Welsch (Ed.): Satelliten-Doppler-Messungen. HSBw Heft 15, 1984.

Stanley, H.R., 1979: The Geos-3 Project. Sonderheft JGR Vol. 84, No. B8, July 30, 1979.

Wenzel, H.-G., 1984: Hochauflösende Kugelfunktionsmodelle für das Gravitationspotential der Erde. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover Nr. 137.

Wiget, A. und A. Geiger, 1985: Schweizerische Doppler-Messkampagne SWISSDOC 84. IGP-Bericht Nr. 99, August 1985.

Wiget, A., A. Geiger und H.-G. Kahle, 1985: Die Doppler-Messkampagne SWISSDOC: Ein Beitrag zur Landesvermessung in der Schweiz. VPK 2/85: 49–52.

Adresse der Verfasser:

Dipl. Ing. A. Wiget
Prof. Dr. H.-G. Kahle
Dipl. Phys. A. Geiger
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Seit 1894 GRANITI MAURINO
Tel. 092 / 72 13 22 - 72 13 23
Telex 846 453
CH - 6710 Biasca

MARKSTEINE
BORNES
Verlangen Sie unseren Prospekt
Demandez-nous notre brochure et liste des prix