

Das Geoid in der Schweiz

Autor(en): **Elmiger, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **73-F (1975)**

Heft 3-4: **Prof. Dr. F. Kobold zum 70. Geburtstag**

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-227525>

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.

[2] *Hirvonen, R. A.*: Die programmgesteuerte elektronische Rechenmaschine, *Maanmittaus* 44 (1969), S. 85–87 (finn.).
 [3] *Hirvonen, R. A.*: The Use of Subroutines in Geodetic Computations, *Maanmittaus* 45 (1970), S. 45–61.
 [4] *Jordan/Eggert/Kneissl*: *Handbuch der Vermessungskunde*, Band IV, Stuttgart 1959.
 [5] *Krüger, L.*: Konforme Abbildung des Erdellipsoids in die Ebene. Veröff. d. Königl. Preuss. Geod. Inst., NF, Nr. 52, Potsdam 1912.

[6] *Vincenty, T.*: The Meridional Distance Problem for Desk Computers. *Surv. Rev.* 1971, S. 136–140.

Adresse des Verfassers
 Prof. Dr. Ing. Klaus Schnädelbach, Technische Universität,
 Lehrstuhl für Geodäsie, Arcisstrasse 21, D-8 München

Das Geoid in der Schweiz

A. Elmiger, Zürich

1. Einleitung

Die Bestimmung des Geoides – der Niveaufläche des Erdschwerefeldes in der mittleren Höhe der Weltmeere – gilt seit jeher als eine der Hauptaufgaben der Geodäsie. Auch im Zeitalter der Satellitengeodäsie und der dreidimensionalen Berechnungsmethoden hat sie ihre Bedeutung nicht verloren. Dies hängt damit zusammen – das geophysikalische Interesse am Geoid an sich sei hier nicht diskutiert –, dass aus praktischen Gründen das Geoid immer Bezugsfläche für die Meereshöhen bleiben wird, während für Lageberechnungen grösseren Ausmasses nach wie vor mit Vorteil ein günstig gelagertes Referenzellipsoid verwendet wird.

Zur Reduktion der Messungen von der Erdoberfläche auf das Ellipsoid braucht man Höhen über dem Ellipsoid, die sich zusammensetzen aus Meereshöhen (über dem Geoid) und Höhen des Geoides über dem Ellipsoid. Dies zeigt sich besonders bei der Reduktion von Distanzen: Während die Höhenlage der gemessenen Distanz über dem Ellipsoid zwar nicht kritisch ist (ein Höhenfehler von 6 m bewirkt einen Fehler an der reduzierten Distanz von 10^{-6}), können für die Reduktion stark geneigter Distanzen, wie sie in der praktischen Vermessung oft auftreten, ellipsoidische Höhendifferenzen und damit Geoidhöhendifferenzen mit cm-Genauigkeit – für Mekometermessungen gar mit mm-Genauigkeit – nötig sein.

Auch beim Übergang von einem geodätischen Bezugssystem in ein anderes lokales oder geozentrisches System ist die Kenntnis der Höhen des Geoides über dem Ellipsoid unumgänglich.

2. Kurzer Rückblick

Bevor auf neuere Arbeiten zur Geoidbestimmung in der Schweiz eingetreten wird, sei kurz an zwei früher ausgeführte, wesentliche Arbeiten in der Schweiz erinnert:

a) Bestimmung von Geoidprofilen durch astronomisches Nivellement

Vor 60 Jahren wurde mit der Bestimmung des Geoides in Nord-Süd- und Ost-West-Profilen begonnen: Meridian des St. Gotthard und Parallel von Zürich, die sich im Punkt Schwerzenbach, 10 km östlich von Zürich,

schneiden. Um das Gotthardprofil im Tessin bis an den Süzipfel der Schweiz führen zu können, musste noch ein kleines Parallelprofil bei Locarno und ein Meridianprofil durch Lugano gemessen werden. Gesamthaft wurde auf 102 Punkten je eine Lotabweichungskomponente durch astronomische Längen- oder Breitenbeobachtungen bestimmt, und eine grössere Zahl von Lotabweichungen interpoliert, so dass sich schliesslich ein durchschnittlicher Punktabstand von 3 bis 5 km ergab. Der Einfluss der Lotkrümmungen wurde aus Schweremessungen berechnet. Die Genauigkeit der so bestimmten Geoidhöhen beträgt etwa ± 2 bis 3 cm relativ zum Ausgangspunkt Schwerzenbach. Siehe [1] und Bände 19, 20, 22, 24 der *Astronomisch-geodätischen Arbeiten in der Schweiz*.

b) Flächenhafte Geoidbestimmung aus Höhenwinkelnetzen im Berner Oberland

In den Jahren 1953–1967 wurde auf Vorschlag von Prof. Kobold im Berner Oberland ein grösserer Versuch zur flächenhaften Geoidbestimmung und Lotabweichungsinterpolation aus Höhenwinkelmessungen mit astronomischen Stützpunkten durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Methode wegen Refraktionsunsicherheiten nur im Hochgebirge zu befriedigenden Resultaten führt. Es ergaben sich Geoidhöhen mit mittleren Fehlern von max. ± 10 cm und interpolierte Lotabweichungen mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 2'' = \pm 6^{\text{cc}}$. Näheres siehe Wunderlin [3].

3. Methoden der Geoidbestimmung

Im folgenden sollen zwei Methoden skizziert werden, die vom Verfasser am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH-Z zur flächenhaften Bestimmung des Geoides in der Schweiz benutzt worden sind.

a) Approximation mit Polynomen

Diese Methode hat schon Helmert vorgeschlagen. Eine praktische Realisierung des Vorschlages in grösserem Ausmass war vernünftigerweise aber erst möglich, seit Computer für die Durchführung der Berechnungen zur Verfügung stehen.

Die Höhen des Geoides über dem Referenzellipsoid werden hier durch zweidimensionale Polynome der Form

$$N = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n c_{ik} x^i y^k, \text{ wobei } i + k \leq n$$

approximiert. Man erhält dann Lotabweichungen (Komponenten der Flächennormalen) für diese Ersatz-

fläche durch partielle Differentiation des Polynoms in den beiden Koordinatenrichtungen:

$$\xi = -\frac{\partial N}{\partial x} \quad | \quad \eta = -\frac{\partial N}{\partial y}.$$

(Das Vorzeichen ist durch die konventionelle Definition der Lotabweichungen gegeben.) Stellt man diese berechneten Lotabweichungen den beobachteten Lotabweichungen gegenüber, so erhält man in beiden Komponenten Restfehler, die man nach der Methode der kleinsten Quadrate minimalisiert, wobei sich aus der Ausgleichung die unbekannt Parameter c_{ik} des verwendeten Polynoms ergeben. Neben den hier erwähnten gewöhnlichen Polynomen wurden auch trigonometrische Polynome zur Approximation des Geoides verwendet.

b) Punktweise Geoidbestimmung durch astronomisches Flächennivellement

Die Idee des astronomischen Profilnivelements kann auf die Fläche übertragen werden: Von einem gegebenen Punkte aus können zu den Nachbarpunkten innerhalb eines bestimmten Grenzdistanz Verbindungen gebildet werden. Für jede dieser Verbindungen lässt sich, wenn in den beiden Endpunkten die Lotabweichungen bekannt sind, die Geoidhöhendifferenz ΔN rechnen:

$\Delta N = -(z_1 + z_2) / 2 * D$, wenn z_1 und z_2 die in die Verbindungsrichtung fallenden Komponenten der Lotabweichungen in den Endpunkten bedeuten und D die Distanz zwischen den beiden Punkten. Man erhält so für jede Verbindung eine fiktive Beobachtung ΔN . Ausgehend von mindestens einem Festpunkt lassen sich die Geoidhöhen aller übrigen Punkte durch vermittelnde Ausgleichung bestimmen, in Analogie zu einem trigonometrischen Höhennetz oder einem Nivellamentsnetz.

Für die praktische Durchführung der Berechnungen hat der Verfasser ein Computerprogramm GHNETZ (Geoidhöhenetz) entwickelt, mit einer Kapazität von etwa 270 Neupunkten bei direkter Lösung im Kernspeicher, während die Anzahl der «Beobachtungen» ΔN nicht begrenzt ist. Die Netzdefinition erfolgt automatisch durch Vorgabe der Anzahl der kürzesten Verbindungen jedes Punktes zu seinen Nachbarpunkten innerhalb eines wählbaren Grenzdistanz. Die Gewichte der fingierten Beobachtungen ergeben sich aus der geschätzten Genauigkeit der verwendeten Lotabweichungen und der Länge der betreffenden Distanz, wobei in den hier beschriebenen Beispielen $p = 1 / D^3$ gesetzt wurde. Dadurch soll der Einfluss geometrischer Modellfehler für grössere Distanzen vermindert werden. Denn die oben angegebene Formel zur Berechnung von Geoidhöhendifferenzen ist nur genau, wenn der betrachtete Geoidschnitt in der betreffenden Richtung durch eine Funktion höchstens 2. Grades dargestellt werden kann, das heisst bei linearer Änderung der Lotabweichungen mit der Distanz, was im allgemeinen aus physikalischen Gründen (Störmassen) nicht der Fall ist. – Eine Korrelation der fingierten Beobachtungen ΔN wurde nicht berücksichtigt.

4. Lotabweichungen

Die Güte einer Geoidbestimmung ist in erster Linie von der Dichte der zur Verfügung stehenden Stationen mit bekannten Lotabweichungen abhängig. In einem Gebirgsland wie die Schweiz ist ein besonders bewegter Verlauf des Geoides zu erwarten, und demzufolge eine hohe Stationsdichte besonders wichtig. Nun sind im Gebirge aber astronomische Beobachtungen zur Bestimmung von Lotabweichungen nicht überall möglich und in jedem Fall mit einem recht grossen Arbeitsaufwand verbunden. Es ist daher einfacher, Lotabweichungen rechnerisch durch Interpolation zu bestimmen, wobei eine grosse Zahl von Stützpunkten mit direkt beobachteten Lotabweichungen nötig ist.

Ferner müssen in der Schweiz, im Gegensatz zu flachen Ländern, Lotkrümmungen (Differenz der Lotabweichungen im Oberflächenpunkt und im entsprechenden Geoidpunkt) berücksichtigt werden, die in der Schweiz sogar auf Punkten 1. Ordnung, die im allgemeinen eher günstig gelegen sind, Beträge bis $9'' \cong 28''$ erreichen können (auf andern Punkten ein Mehrfaches davon). Der Einfluss der Lotkrümmungen auf die berechneten Geoidhöhen kann, wie das Beispiel Gotthardmeridian zeigt, 40 cm erreichen.

Zur Verdichtung des gegebenen Stützpunktfeldes und zur Berechnung von Lotkrümmungen wurde wie folgt vorgegangen:

a) Lotabweichungen aus Massen:

Topographisch-istostatische Lotabweichungen

Die Berechnung der Lotanziehungen der sichtbaren Massen geht aus von den mittleren Höhen des Geländes, die über die ganze Schweiz in einem 500-m-Quadratgitter vorliegen. Um die Dichteverteilung der «unsichtbaren Massen» genähert erfassen zu können, wurde als einfache Arbeitshypothese das Isostasiemodell von Pratt-Hayford mit einer Ausgleichstiefe von 120 km verwendet. Die Berechnung der Anziehungen beider Anteile – sichtbare und unsichtbare Massen – ergibt die sogenannten topographisch-istostatischen Lotabweichungen. Benützt wurde das Computerprogramm LASRM, das in dieser Zeitschrift schon beschrieben wurde. Gleichzeitig ergeben sich auch Lotkrümmungen, indem man die Berechnung für den Oberflächenpunkt und den entsprechenden Geoidpunkt durchführt und die Differenz bildet.

b) Interpolierte Lotabweichungen

Die aus Massen gerechneten Lotabweichungen stellen im allgemeinen den Hauptanteil der gesuchten Lotabweichungen dar. Sie sind jedoch noch zu korrigieren um den Einfluss der systematisch verlaufenden Restfehler, die in den Differenzen «astronomische Lotabweichungen minus Lotabweichungen aus Massen» – bezeichnet als «reduzierte Lotabweichungen» – zum Ausdruck kommen. Diese verlaufen bekanntlich wesentlich ruhiger als die Oberflächen-Lotabweichungen und eignen sich daher gut für eine Interpolation.

Zur flächenhaften Interpolation wurde das unter 3a beschriebene Verfahren der Approximation mit Polynomen verwendet, allerdings nicht zur Darstellung des

Geoides, sondern jener Orthogonalfläche (die man als Cogeoid bezeichnen kann), welche auf den reduzierten Lotrichtungen senkrecht steht. Diese Fläche als solche interessiert zwar hier nicht, sondern nur ihre Flächennormalen, welche zur Interpolation von reduzierten Lotabweichungen dienen. Die gesuchte tatsächliche Lotabweichung ergibt sich dann schliesslich, indem man zur aus Massen gerechneten Lotabweichung die interpolierte reduzierte Lotabweichung addiert.

Bei der praktischen Durchführung mit Hilfe eines Computerprogramms wurden 142 Stützpunkte mit bekannten reduzierten Lotabweichungen benützt. Zur Darstellung der Orthogonalfläche dienten gewöhnliche Polynome vom Grad 7 und trigonometrische Polynome der Ordnung 2 (die auch noch lineare Glieder in x und y enthalten); in beiden Fällen treten gerade 35 unbekannte Parameter auf. Die Ergebnisse beider Methoden wurden gemittelt. Für die interpolierten Lotabweichungen ergeben sich so mittlere Fehler von etwa $\pm 0''.5$ bis $\pm 1''.5$ im Innern des Interpolationsgebietes, am Rande etwas höhere Werte, die aber für eine Geoidbestimmung immer noch genau genug sind.

5. Ellipsoidübergänge

Zur Transformation von Lotabweichungen und Geoidhöhen von einem geodätischen Datum – definiert durch Grösse, Form und Lage des Ellipsoides – in ein anderes muss die gegenseitige räumliche Lage der entsprechenden Referenzellipsoide bekannt sein. Wir gehen dabei von der räumlichen Vorstellung von Vening Meinesz aus, im Gegensatz zur früher üblichen zweidimensionalen Betrachtungsweise: Die kleinen Halbachsen verschiedener Referenzellipsoide werden im Raum als parallel zueinander angenommen. Die Koordinaten eines als fest im Raum betrachteten Punktes in beiden geodätischen Systemen ergeben sich, wenn man vom Punkt aus die Normalen auf die entsprechenden Ellipsoide fällt. Für den Übergang genügen bei benachbarten Ellipsoiden Differentialformeln.

Da Grösse und Form der beiden Ellipsoide bekannt sind, verbleiben drei Parameter zur Definition der gegenseitigen Lage derselben: drei kartesische Koordinatendifferenzen oder Änderungen für die beiden Lotabweichungskomponenten eines Bezugspunktes und eine Geoidhöhenänderung dieses Punktes. Grundsätzlich genügt die Kenntnis der Koordinaten eines Punktes in beiden Systemen, bei mehreren Punkten ist eine Ausgleichung möglich.

5.1 Beziehung Schweizerisches Datum – Europäisches Datum 1950

Ein Vergleich ist hier für 63 Punkte 1. Ordnung möglich, für die geographische Koordination in beiden Systemen vorliegen (Bessel-Ellipsoid, Internat. Ellipsoid 1924), Geoidhöhen sind aber zunächst nur in einem System genähert bekannt. Die gegenseitige Beziehung muss daher in zwei Schritten bestimmt werden, die sich sehr wenig beeinflussen:

a) Lotabweichungsänderungen für den Nullpunkt Bern

Setzt man zunächst die Geoidhöhenänderung in Bern

= 0, so ergibt die Ausgleichung aus den Koordinatendifferenzen der 63 betrachteten Punkte für Bern:

$$\Delta\xi_B = +1''.491 \pm 0''.003, \Delta\eta_B = -0''.366 \pm 0''.003.$$

b) Gegenseitige Höhenlage der Referenzellipsoide

Nimmt man an, das Schweizerische Datum sei definiert durch Vorgabe der üblichen Werte für Länge und Breite des Nullpunktes Bern und durch die Geoidhöhe 0 in Schwerzenbach, so wären für den Übergang Schweizerisches Datum – Europäisches Datum in Bern folgende Geoidhöhenänderungen einzuführen:

Vergleich mit	Geoidhöhenänderung in Bern:
– Géoïde Européen, IGN, Paris, Levallois 1973 [7]:	– 2.2 m
– Geoid von Bomford, 1971 [6]:	– 3.0 m
– Geoid von Westdeutschland, Bestimmung Heitz 1968 [4]:	– 3.9 m

In den beiden ersten Fällen dienten zum Vergleich 25 Punkte der Geoidprofile, im dritten Fall 12 Punkte nördlich vom Bodensee. Die Bestimmung des IGN Paris dürfte gegenwärtig die zuverlässigste sein, und der entsprechende Wert wurde im folgenden übernommen.

5.2 Übergang Schweizerisches Datum auf Weltdatum

Der Nullpunkt eines Weltsystems liegt im Erdschwerpunkt und die kleine Halbachse fällt mit der mittleren Erdachse, definiert durch den CIO (Conventional International Origin) zusammen. Bezüglich Grösse und Form des Ellipsoides werden laufend neue Angaben vorgelegt. Im folgenden wird das Weltsystem von Schmid [8] benutzt: $a = 6378\,130$ m, $f = 1/298.25$. Der Wert für die Abplattung gilt aus Satellitenbeobachtungen als ziemlich sicher; eine spätere Änderung der grossen Halbachse beeinflusst fast nur die Geoidhöhen.

Geozentrische Koordinaten liegen in der Schweiz nur für die Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald vor, für welche das Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) [5] die folgenden Werte bestimmt hat (mittl. Fehler je ± 7 m):

$$X = 4331\,310 \text{ m}, Y = 567\,511 \text{ m}, Z = 4633\,093 \text{ m}.$$

Die schweizerischen Landeskoordinaten für den gleichen Punkt (Axpunkt, Bestimmung Eidg. Landestopographie, Bern) lauten:

$$y = 2016.278 \text{ m}, x = -8240.330 \text{ m}, H = 903.426 \text{ m} \text{ (Meereshöhe)}.$$

Aus dem Vergleich ergeben sich die folgenden Transformationsparameter für den Punkt Zimmerwald:

$$\Delta\xi_Z = +5''.27, \Delta\eta_Z = +3''.35, \Delta N_Z \text{ so dass } N_Z = 35.07 \text{ m}.$$

N_Z wurde für die weiteren Berechnungen gerundet auf 35.00 m.

Dass die geozentrischen Koordinaten von Zimmerwald und die daraus abgeleiteten Transformationskonstanten relativ genau sind, ging aus folgenden Untersuchungen hervor:

a) In Europa liegen für neun Stationen (von Spanien bis Russland) geozentrische Koordinaten im System des SAO vor. Geographische Koordinaten und ellipsoidische Höhen dieser Punkte sind auch im Europäischen System bekannt. Bildet man die beiden Systeme durch eine räumliche Helmerttransformation (mit sieben Para-

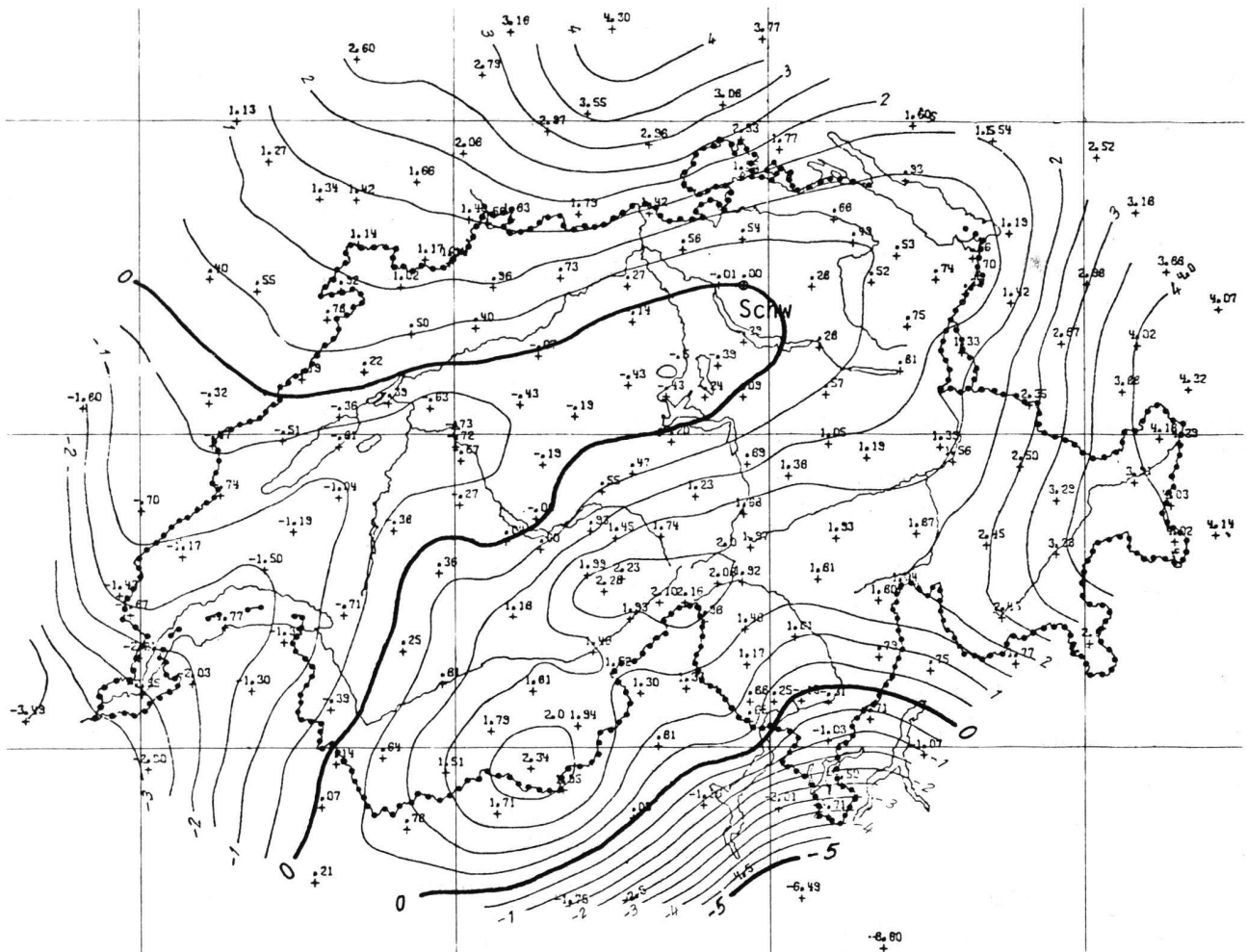


Abbildung 1 Geoid Schweiz im Schweiz. Datum (Ellipsoid Bessel, Nullpunkt Bern), Schwerzenbach N = 0 m

metern) aufeinander ab, so ergibt sich, bei Weglassung von zwei zweifelhaften Punkten, ein mittlerer Restfehler von ± 4.4 m. Für den Punkt Zimmerwald sind alle drei Residuen kleiner als 1.5 m, seine relative Genauigkeit ist also recht hoch.

b) Im Weltsystem von Schmid ist die Geoidhöhe von Hohenpeissenberg bei München 34.45 m, die Geoidhöhendifferenz zu Zimmerwald also 0.62 m, wobei diese Differenz aus unabhängigen Satellitenmethoden hervorgeht. Ein astrogeodätisches Nivellement, das man zwischen die beiden Punkte legen kann (Höhendifferenz Zimmerwald–Bodensee aus der vorliegenden Geoidbestimmung, Differenz Bodensee–München aus Resultaten von Heitz) ergibt eine Höhendifferenz von 3.5 m. Der Abschlussfehler ist also etwa 2.9 m und liegt damit weit innerhalb des erwarteten Wertes (Mittl. Höhenfehler absolut für Zimmerwald ± 7 m, für Hohenpeissenberg ± 2.9 m).

6. Resultate der Geoidbestimmung

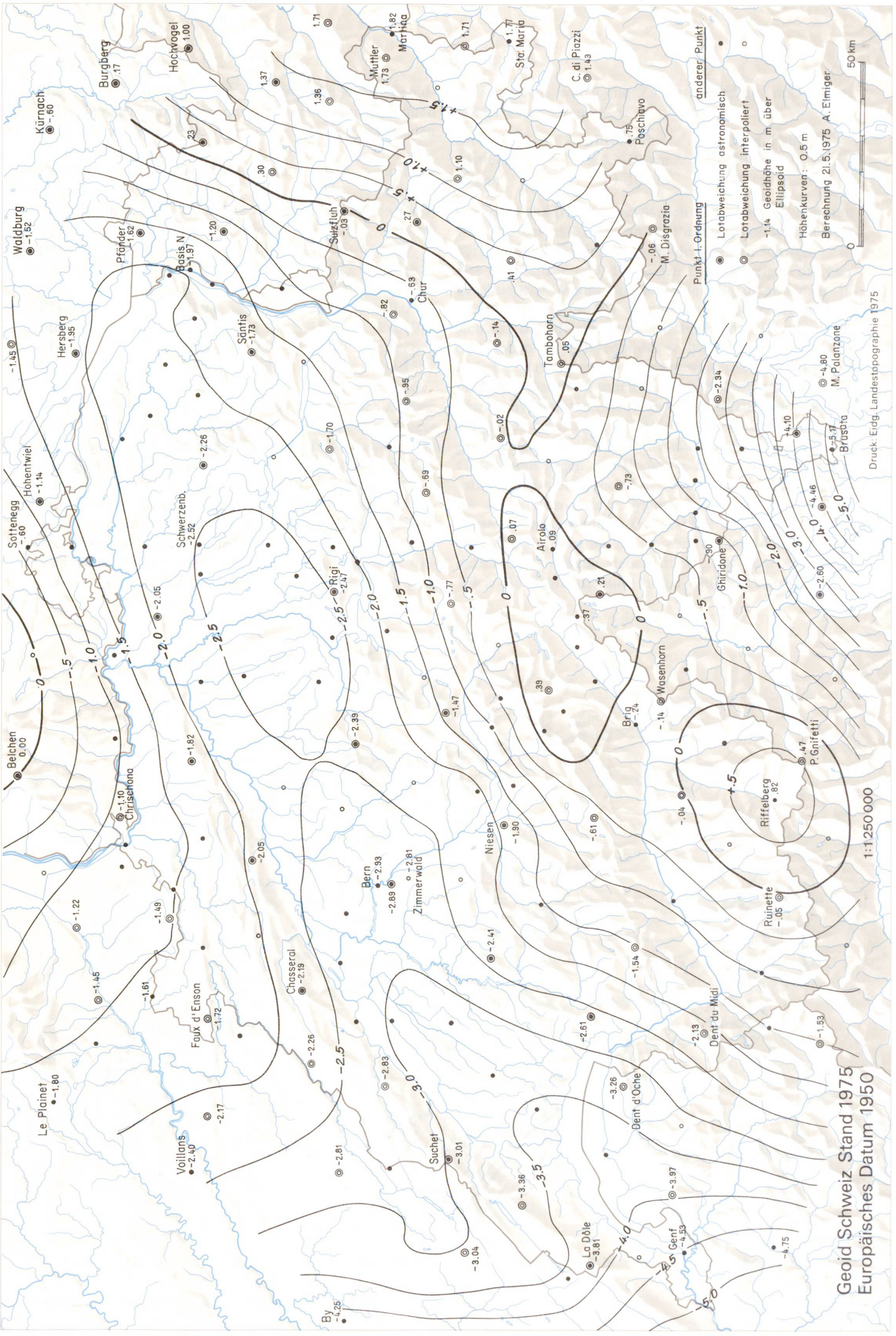
Von den verschiedenen durchgeführten Bestimmungen soll hier nur ein Beispiel dargestellt werden, das mit der Methode 3b (Geoidhöhenetz) berechnet wurde [9]. Für diese Geoidbestimmung wurden 203 Stützpunkte in der Schweiz und im nähern Ausland benutzt, wovon 136 astronomisch bestimmte und 67 interpolierte Punkte (in

der Planbeilage mit einem vollen beziehungsweise leeren Kreis markiert). Statt nur eines Festpunktes wurden 40 Punkte mit fester Geoidhöhe eingeführt, nämlich 27 Punkte aus den Geoidprofilen, deren Höhen sehr genau bekannt sind, und 13 Punkte im Berner Oberland, deren Höhen in einer vorausgehenden Ausgleichung mit grosser Stützpunktdichte auf einige cm genau bestimmt wurden.

Das Netz wurde durch das Programm GHNETZ automatisch gebildet durch Wahl der sechs kürzesten Verbindungen für jeden Punkt bis zu einer Grenzdistanz von 50 km. Es ergaben sich so 633 Verbindungen (fiktive Beobachtungen) mit einer durchschnittlichen Länge von 25 km.

Die Berechnung wurde im Schweizerischen Datum durchgeführt mit der Geoidhöhe 0 für Schwerzenbach. Die in Abschnitt 5 angegebenen Konstanten dienten zur Transformation der Resultate in das Europäische Datum 1950, wobei die Höhenlage aus dem Europäischen Geoid von Levallois 1973 übernommen wurde, und in das Weltdatum mit den von Schmid empfohlenen Ellipsoiddimensionen mit $N = 35.0$ m für den Punkt Zimmerwald.

Planbeilage
Kartendruck 1 Seite A4 (Druck: Eidg. Landestopographie)



Geoid Schweiz Stand 1975
Europäisches Datum 1950

1:1250 000

Druck: Eidg. Landestopographie 1975

- Lotabweichung astronomisch
- Lotabweichung interpoliert
- 1.4 Geoidhöhe in m über Ellipsoid
- Höhenkurven: 0.5 m
- Berechnung 21.5.1975 A. Elmiger



anderer Punkt

Punkt I.-Ordnung

M. Disgrazia

Poschiavo

C. di Piazz

Sta. Maria

Mutter

Marigo

Swizfuh

Chur

Tambhorn

Airolo

Brig

Wassenhorn

Ghirdone

Riffelberg

Ruinette

P. Gnifetti

M. Palanzone

Bruscha

M. Palanzone

M. Palanzone

M. Palanzone

M. Palanzone

M. Palanzone

Die folgende Tabelle gibt die ausgeglichenen Geoidhöhen einiger Punkte in den drei genannten Systemen und ihre mittleren Fehler in bezug auf die verwendeten Festpunkte:

Punkt	Geoidhöhe in m			Mittl. Fehler
	SD	ED	WD	
Schwerzenbach	0.00	-2.52	32.66	0 (fest)
Brig	1.46	-0.24	37.97	0 (fest)
Bern	-0.73	-2.93	34.76	±0.09
Genf	-2.55	-4.53	36.52	±0.18
Feldberg	3.55	0.54	35.60	±0.13
Pfänder	1.19	-1.62	31.83	±0.05
Mompiccio	4.03	1.71	35.91	±0.19
Milano	-8.60	-9.92	28.49	±0.28
P. Gnifetti	1.95	0.47	39.69	±0.13
Crêt Monnot	-0.32	-2.81	36.11	±0.16

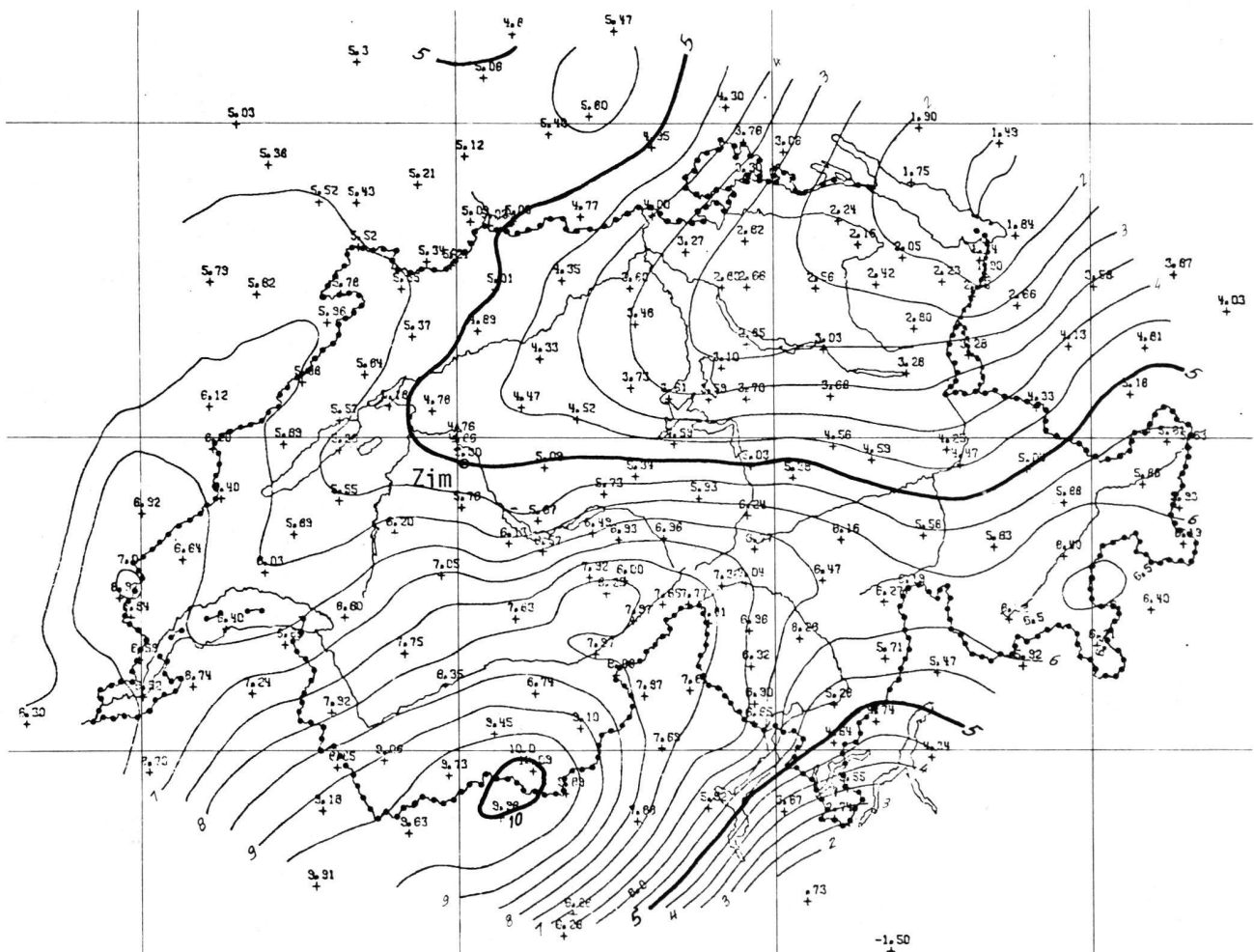
Die angegebenen mittleren Fehler für die Geoidhöhen ergeben sich aus der Ausgleichung. Sie stellen die innere Genauigkeit der Methode dar und dürften damit ein etwas zu gutes Bild geben. Die tatsächliche äussere Genauigkeit dürfte hauptsächlich von den verwendeten Stützpunkten (Anzahl, Lage, lokale Einflüsse) abhängen, wobei man in der Wahl dieser Punkte natürlich nicht frei ist, und erst in zweiter Linie von der verwendeten Methode. Folgende geschätzte Angaben mögen die Genauigkeit der angegebenen Geoidhöhen cha-

rakterisieren, wobei die Zahlen allerdings noch etwas erhöht werden müssen:

Gebiet	Mittl. Fehler	Max. Fehler
Mittelland	± 5–10 cm	20 cm
Alpen	± 10–15 cm	40 cm

Geoidhöhendifferenzen zwischen benachbarten Punkten sind genauer: ± 1 bis 2 cm bei Punktdichten wie im Berner Oberland, ± 5 bis 10 cm in der übrigen Schweiz.

Die Planbeilage und die beiden Figuren zeigen das hier beschriebene Geoid in den drei Bezugssystemen in Höhenkurven von 0.5 m und Punktkoten. Obwohl es sich um das gleiche geometrische Modell (Geoid) handelt, sehen die Kurvenbilder je nach Bezugssystem natürlich etwas anders aus. Im Schweizerischen und Europäischen Datum handelt es sich vorwiegend nur um einen Niveauunterschied, da die Lagerung der beiden Ellipsoide nicht stark verschieden ist. Auffallend ist dagegen das andere Bild im Weltdatum, wo ein leichter Geoidabfall gegen den Bodensee hin auftritt im Gegensatz zu einem entsprechenden Abfall zum Genfersee hin bei den beiden andern Systemen. In allen drei Bildern kommt aber der starke Geoidabfall auf der Alpensüdseite (Tessin), der im Zusammenhang mit dem Massendefizit der Poebene stehen dürfte, gut zum Ausdruck, sowie die Geoiderhebung in den Walliser Alpen.



Dank

Wesentliche Impulse zu den hier beschriebenen Arbeiten sind von Herrn Prof. Dr. F. Kobold ausgegangen und der Verfasser möchte ihm hier seinen besten Dank aussprechen. Ferner dankt er Herrn Dr. E. Klingelé vom Institut für Geophysik der ETHZ, der ihm sein Plotprogramm zur Verfügung gestellt hat, mit dem die Kurvenpläne des Geoids gezeichnet sind (Fig. 1 und 2 wurden nachträglich leicht retouchiert und ergänzt).

Literatur

- [1] *Kobold, F.*: Die astronomischen Nivellemente in der Schweiz. ZfV, Stuttgart, Nr. 4, 5, 1957.
- [2] *Schürer, M.*: Das Geoid in der Schweiz. Festschrift zum 100jährigen Bestehen der Schweiz. Geodät. Kommission. Zürich 1962.
- [3] *Wunderlin, N.*: Lotabweichungen, Geoid und Meereshöhen in den Schweizer Alpen. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 26, 1967, Zürich.
- [4] *Heitz, S.*: Eine astronomisch-geodätische Geoidbestimmung für Westdeutschland. DGK, Reihe B, Nr. 167, Frankfurt 1969.

- [5] *Gaposchkin, E. M., Lambeck, K.*: 1969 Smithsonian Standard Earth II. Smithsonian Astrophysical Observatory, Special Report No. 315. Cambridge, Mass., May 1970.
- [6] *Bomford, G.*: The astrogeodetic geoid in Europe and connected areas 1971. Appendix to Mrs. I. Fischer's Report for Study Group V-29. IUGG-Kongress, Moskau 1971.
- [7] *Levallois, J. J.*, Institut Géographique National: Géoïde Européen. Karte 1:5 Mio, Paris, 31. 12. 1973.
- [8] *Schmid, H. H.*: Worldwide Geometric Satellite Triangulation. Journal of Geophysical Research, Vol. 70, Nr. 35, Dez. 1974.
- [9] *Elmiger, A.*: Erste Ergebnisse einer Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen. Bericht an die Schweiz. Geodät. Kommission, Juni 1975.

Adresse des Verfassers

Dr. A. Elmiger, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH, Rämistrasse 101, 8006 Zürich

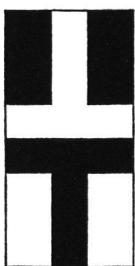
Reproduktionen
von Grundbuchplänen

Lichtpausen

Plandruck

Xeroxkopien
von Plänen 1:1 und red.

Offsetdruck



Eduard Truninger AG

Telefon (01) 2316 40
Uraniastrasse 9
8001 Zürich