

Bestimmung des Bouguer-Schwerefeldes der Karawanken und der Sattnitz

Von P. STEINHAUSER *, W. SEIBERL *, D. ZYCH ** und D. RUESS *

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Es wird über die gravimetrische Vermessung der Karawanken und ihres Vorlandes berichtet. Die bei den Feldmessungen und der Auswertung angewendeten Verfahren werden diskutiert, wobei besonders auf die flächenmäßige Verteilung der Schwerestationen eingegangen wird, die trotz des schwierigen Gebirgscharakters des Geländes angestrebt wurde. Die Notwendigkeit hiezu ergibt sich daraus, daß die profilmäßige Anordnung von Schwerestationen in Gebirgstälern die Gefahr einer systematischen Verzerrung der Schwerewerte miteinschließt. Die Ergebnisse sind in Form einer Bouguerschwerekarte dargestellt. Das Isolinienbild wird von einem ausgeprägten Schweretrog beherrscht, der sich am Nordabfall der Karawanken-Nordkette in Ost-Westrichtung hinzieht. Dieser Schweretrog wird als Folge der geringen Dichte der Sattnitz-Konglomerate erklärt, die teilweise durch die Karawanken überschoben wurden. Die Karawanken selbst besitzen keine gravimetrisch erkennbare Gebirgswurzel, die für ein selbständiges Gebirge typisch wäre.

Summary

Gravity measurements have been carried out in the Karawanken and Sattnitz. The principles of field measurements and evaluation methods are discussed. An aerial distribution of gravity stations has been achieved despite the extremely mountainous character of the region. This was necessary because gravity profiles through mountain valleys can cause systematic erroneous gravity values. The distribution of gravity stations is shown in Fig. 1, while the Bouguer gravity map is shown in Fig. 2. The main feature of this map is a gravity trough extending east-west on the north flank of the Karawanken mountain chain. As two dimensional model calculations show, this trough can be explained by the low density of the Sattnitz conglomerates which are partially overthrust by the Karawanken (see Fig. 3 and 4). Further it is interesting that the Karawanken show no gravimetric indication of a mountain root which should be expected for an independent mountain range of isostatic behaviour.

Adresse der Verfasser: * Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien,
Hohe Warte 38, A-1190 Wien.

** OMV-Aktiengesellschaft, Ressort Geologie,
Hintere Zollamtsstraße 17, A-1030 Wien.

1) Einleitung

Im Rahmen der interdisziplinären geowissenschaftlichen Untersuchung der Nord-Süd-Alpengrenze wurde das Schwerfeld der Karawanken und der Sattnitz untersucht. Dieses Gebiet wurde im Rahmen der gravimetrischen Landesaufnahme bisher meßtechnisch nicht erfaßt, wenn man von der kurzen Nivellementlinie Klagenfurt – Ferlach – Loibl-Paß absieht, die aber auch nur mit einem Nörgaard-Gravimeter vermessen worden ist (SENFTEL, 1965; SENFTEL, 1977). Daher ist von den gravimetrischen Profilen Villach – Klagenfurt – Kühnsdorf bzw. Völkermarkt – Bleiburg des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen ausgehend nach Süden hin die gravimetrische Vermessung der Sattnitz und der Karawanken bis zur Staatsgrenze durchgeführt worden.

2) Feldmessungen der Universität Wien

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß die profilmäßige Anordnung von Meßstationen im Hochgebirge die Gefahr einer systematischen Verzerrung der Schwerewerte mit einschließt. Wenn nämlich Schwerprofile in Tälern verlaufen, dann bewirken die leichten Talschotter lokale Schwereminima, die je nach Schottermächtigkeit eine Größenordnung bis 10 mgal erreichen können, wie Untersuchungen im Inntal (ARIC und STEINHAUSER, 1976) und im oberen Salzachtal (EHRISMANN, GÖTZE, LEPPICH, LETTAU, ROSENBACH, SCHÖLER und STEINHAUSER, 1976) gezeigt haben. Um dies zu vermeiden, wurde eine flächenmäßige Verteilung der Schwerestationen im Untersuchungsgebiet angestrebt, die auch Punktlagen an Hängen – also im Bereich des anstehenden Felsen – mitberücksichtigt, soweit dies die teilweise recht unzugänglichen Geländeverhältnisse zuließen.

Die Höhenbestimmung der Meßpunkte erfolgte soweit als möglich durch Anschluß an Nivellementbolzen bzw. an Steine der Katastertriangulation. Wo dies nicht möglich war, erfolgte die Höhenbestimmung mit Höhenkoten oder durch feuchte- und temperaturkorrigierte Barometerablesungen. Der mittlere Fehler der Höhenbestimmung beträgt je nach Art des Höhenanschlusses:

Nivellement	< 1 cm
KT-Steine	10 cm
Kote, Barometrie	~ 1 m

Entsprechend der Größe des gravimetrischen Freiluftgradienten bewirkt dies mittlere Fehler der Bouguerschwere im Bereich von < 0,01 mgal, 0,02 mgal bzw. 0,2 mgal.

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Meßstationen unterschiedlicher Höhengenaugigkeit auf die verschiedenen Geländeneiveaus verteilen. Die flächenmäßige Punktverteilung führt demnach zu einer breiten Streuung der Meßstationen auf die verschiedenen Höhenbereiche, wobei die Genauigkeit der Höhenbestimmung und parallel dazu die Genauigkeit der Schwereanomalienbestimmung mit wachsender Höhenlage abnimmt.

Tabelle 1: Häufigkeit von gravimetrischen Stationen in verschiedenen Höhengniveaus, gegliedert nach der Art des Höhenanschlusses

Höhenintervall (Meter ü. d. Adria)	Nivellement	Kataster Triangulation	Kote oder barometrisch	Summe
300–399	—	3	—	3
499	43	37	2	82
599	26	59	6	91
699	6	22	9	37
799	3	19	12	34
899	3	7	8	18
999	3	8	8	19
1099	1	4	7	12
1199	—	2	8	10
1299	—	2	9	11
1399	—	—	3	3
1499	—	1	—	1
1599	—	—	1	2
1699	—	1	—	1

Insgesamt wurden auf einer Fläche von rund 1300 km² 324 Schwerestationen vermessen, womit sich eine durchschnittliche Meßpunktdichte von 1 Schwerestation pro 4 km² ergibt.

Die Schweremessungen erfolgten im Jahre 1973 mit dem Gravimeter Worden Master Nr. 588, das die ÖMV-AG in dankenswerter Weise für diese Untersuchung zur Verfügung stellte und in den Jahren 1974–1976 mit dem La Coste & Romberg Gravimeter, Modell D, Nr. 9, des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien. Alle Stationen sind unter Einschaltung von Gangpunkten vermessen worden, wobei mit Ausnahme einiger weniger, isoliert gelegener Punkte alle Stationen in Meßschleifen vermessen wurden, die anschließend ausgeglichen wurden. Wie die mehrfach gemessenen Punkte zeigen, beträgt der mittlere Fehler der Schweremessungen beim Worden Gravimeter rund 0,02–0,03 mgal und beim La Coste & Romberg Gravimeter 0,01–0,02 mgal.

Die am Rande des Untersuchungsgebietes liegenden Basispunkte 1. Ordnung des Österreichischen Schwerenetzes Nr. 22 801 „Klagenfurt“ und Nr. 24 522 „Völkermarkt“ wurden in die Messungen miteinbezogen, wodurch die absoluten Schwerewerte aller Meßpunkte bestimmt werden konnten.

3) Feldmessungen der ÖMV

Im Sommer 1977 führte die ÖMV-AG im Bereich des Klagenfurter Beckens Schweremessungen durch, für deren Planung die oben beschriebenen Messungen die Grundlage bildeten. Dankenswerterweise wurden diese Schweredaten für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden hierbei 471 Schwerestationen mit Punktabständen von 200–500 m profilmäßig angeordnet, die das bisher diskutierte Untersuchungsgebiet nach Norden und Nordosten beträchtlich erweitern. Die sich insgesamt ergebende Verteilung der Schwerestationen kann

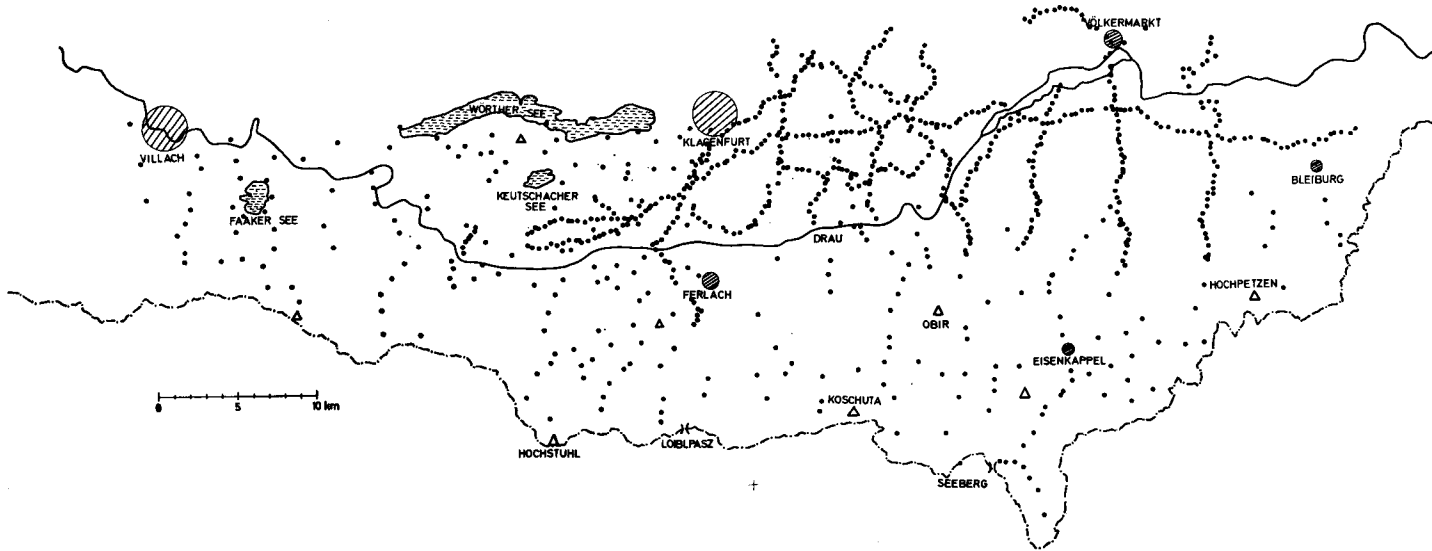


Abb. 1: Verteilung der Schwerestationen im Meßgebiet.

aus Abb. 1 entnommen werden, wobei die Schwereprofile der ÖMV als dichte Punktketten einfach identifiziert werden können.

Die Messungen wurden mit dem Worden Master Gravimeter Nr. 588 durchgeführt und an das österreichische Schwerenetz angeschlossen.

4) Bearbeitung der Schweredaten

Die Bearbeitung der Meßdaten hat die Bestimmung der Bouguer-Anomalie

$$\Delta g'' = g + \delta g_{Ni} + \delta g_{Top} + \delta g_B - \gamma$$

zum Ziel. Hierbei bedeutet:

- g gemessene Schwere bezogen auf den Basispunkt
Völkermarkt $g = 24\,522 = 980\,640,22$ mgal
- γ Normalschwere nach der Internationalen Schwereformel 1930
- δg_{Ni} Niveaureduktion
- δg_{Top} topographische Reduktion
- δg_B Bouguerreduktion

Die zur Berechnung der Schwerewerte erforderlichen Skalenfaktoren der Gravimeter wurden bei beiden Gravimetern wiederholt auf dem europäischen Eichstreckenabschnitt Kufstein – Brenner bzw. der Eichstrecke Wien – Wr. Neustadt überprüft. Für das LCR Gravimeter D-9 wurde die verbesserte nichtlineare Skalenfaktor-Formel verwendet (STEINHAUSER, 1978).

Die mittleren Geländehöhen für die topographische Reduktion sind aus den österreichischen Karten 1 : 25.000 bzw. 1 : 50.000 bis zu einer Entfernung von 20 km vom Meßpunkt berechnet worden. Für den genauer zu erfassenden Nahbereich wurde bis zu einer Distanz von 160 m um jeden Meßpunkt eine topographische Aufnahme des Geländes mit einem Wild Telemeter durchgeführt.

Die gesamte Reduktion der gravimetrischen Meßdaten erfolgte am Computer (EHRISMANN, ROSENBACH u. STEINHAUSER, 1971; KANTAS u. ZYCH, 1967).

5) Bouguer-Schwere von Karawanken und Sattnitz

Mit dem oben beschriebenen Datenmaterial wurde die Bouguer-Schwerekarte von Abb. 2 gezeichnet. Beherrscht wird das Kartenbild von dem ausgeprägten Schweretrog, der sich am Nordabfall der Karawanken-Nordkette in Ost-West-richtung hinzieht. Etwa ab Maria Elend schwenkt dann die Richtung der Trogachse auf WNW und zielt damit auf das Drautal oberhalb von Villach. Die Südflanke dieses Troges, an der ungefähr die periadriatische Naht entlang verläuft, ist durch ein unruhiges Schwerebild gekennzeichnet, wobei sogar einzelne lokale Minima und Maxima auftreten. An der Nordflanke des Schweretroges sind markante Sekundärminima im Bereich der Sabalahöhe (südl. des Keutschacher Sees), bei Rottenstein und Eberndorf (südl. v. Völkermarkt) zu beobachten. Am Nordende des Untersuchungsgebietes erstreckt sich vom Pyramidenkogel bis Klagenfurt ein Schwererücken, wozu noch im Westen ein als Hochkeil in den Trog hineinragendes Bouguer-Hoch kommt, das infolge der regional bedingten, generellen

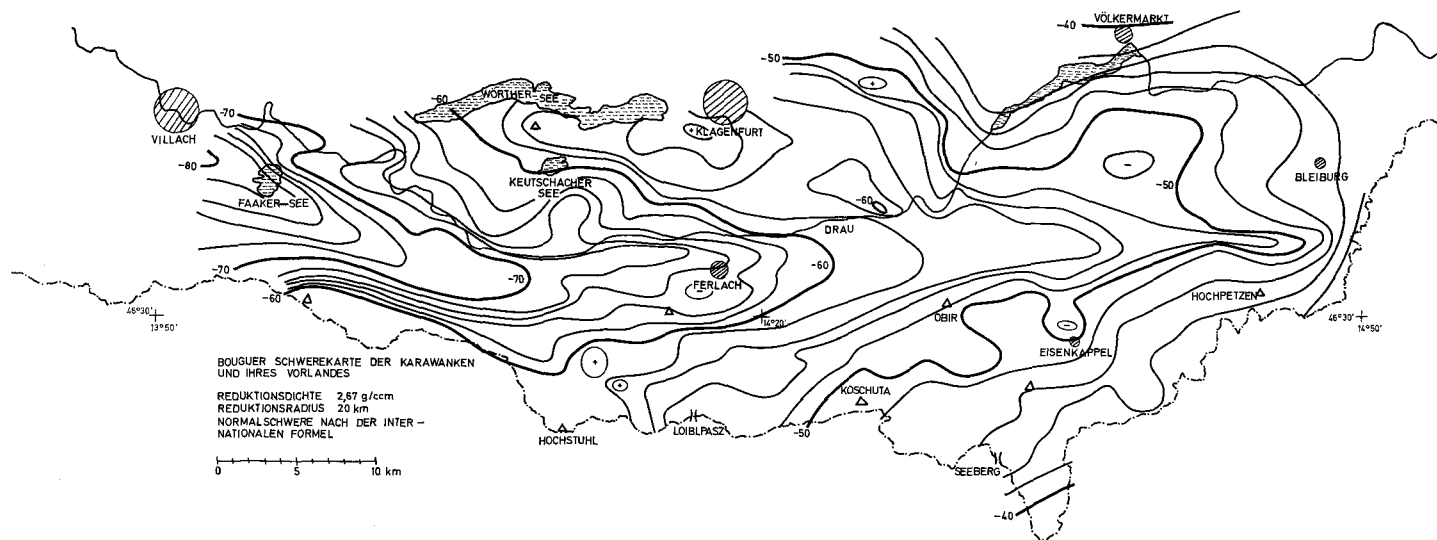


Abb. 2: Bouguer-Schwerekarte der Karawanken und ihres Vorlandes.

Abnahme der Schwerewerte nach Westen hin, weniger deutlich zu erkennen ist: es erstreckt sich von den Drauschlingen bei Rosegg bis zum Faaker See.

Als gravimetrischer Regionaltrend ist ein Ansteigen der Anomalien von West nach Ost um etwa 30 mgal zu beobachten. Dies kann als der Einfluß der tiefsten Krustenstockwerke und der alpinen Gebirgswurzel gedeutet werden.

Als qualitative Interpretation des Bouguer-Schwerebildes kann festgestellt werden, daß die Karawanken nicht eine gravimetrisch erkennbare Gebirgswurzel besitzen, die für selbständiges Gebirge im isostatischen Gleichgewicht typisch wäre.

Eine erste quantitative Auswertung der Bouguer-Anomalie wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Hauptstruktur der Bouguer-Anomalienkarte, den Ost-West streichenden Schweretrog durch ein einfaches zweidimensionales Modell zu inter-

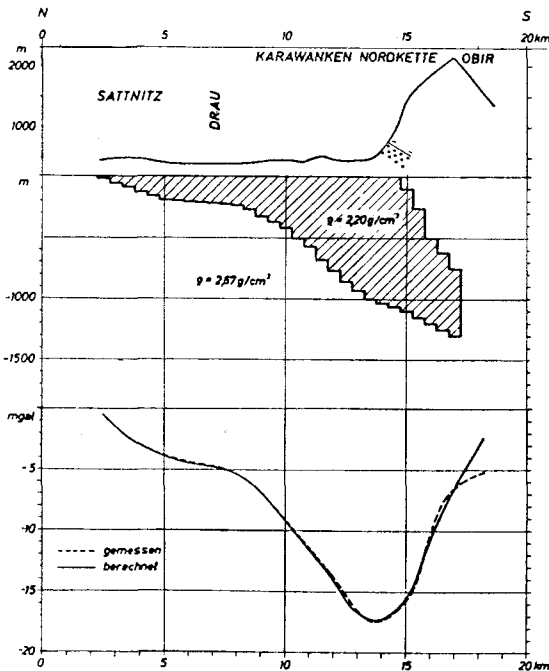


Abb. 3

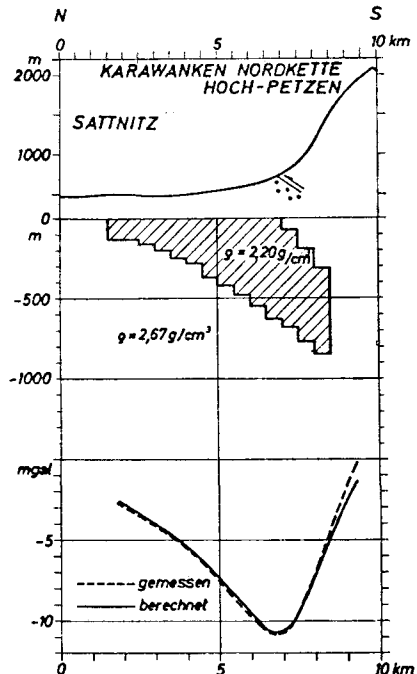


Abb. 4

Abb. 3: Nord-Süd-Querschnitt durch das Maßgebiet im Bereich des Obir
 oben: Geländere relief (die Lage der Karawankenüberschiebung ist skizziert)
 mitte: zweidimensionales gravimetrisches Modell des Untergrundes (Dichtekontrast: $-0,47 \text{ g/cm}^3$)
 unten: Vergleich der berechneten Schwerewirkung des Modells mit der meßtechnisch bestimmten Bouguer-Schwere (um den Regionaltrend bereinigt)

Abb. 4: Nord-Süd-Querschnitt durch das Maßgebiet im Bereich des Hochpetzen (Feistritzer Spitz)
 oben: Geländere relief (die Lage der Karawankenverschiebung ist skizziert)
 mitte: zweidimensionales gravimetrisches Modell des Untergrundes (Dichtekontrast: $-0,47 \text{ g/cm}^3$)
 unten: Vergleich der berechneten Schwerewirkung des Modells mit der meßtechnisch bestimmten Bouguer-Schwere (um den Regionaltrend bereinigt)

pretieren. Hierzu war es ausreichend, das Regionalfeld als linearen Trend anzusetzen, nach dessen Entfernung der Schweretrog an der Nordflanke der Karawanken-Nordkette sehr gleichförmig und noch deutlicher hervortritt. Dieses Schwereminimum wird als die Folge der geringen Dichte der Sattnitz-Konglomerate erklärt, die auf dem Kristallin aufliegen und im Süden durch die Karawanken-Nordkette teilweise überschoben wurden. Die verhältnismäßig mächtigen Konglomerate enden nach diesem einfachen Modell etwa im Bereich des Kammes der Nordkette in Tiefen von 800 bis 1300 m, wie in den Abbildungen 3 und 4 am Beispiel von Querschnitten beim Obir bzw. der Hochpetzen gezeigt wird. Die Schwereminima von der Sabalahöhe, Rottenstein und Eberndorf können dementsprechend als lokale Vertiefungen der Lockersedimente gedeutet werden, wobei die Konglomerate aber nicht die Tiefe des Haupttroges erreichen dürften.

Das kleine Schwereminimum im Bereich von Eisenkappel läßt sich als lokales Schotterbecken des Vellach-Tales deuten. Die benachbarte positive Schwereanomalie im Südostteil des Obir-Stockes steht in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der magnetischen Vermessung.

Das Schwerehoch im Bereich Pyramidenkogel-Klagenfurt ist auf die größere Dichte des dort anstehenden Altkristallins zurückzuführen. Der Schwerekeil östlich des Faakersees wird offensichtlich durch die größere Dichte des Wettersteinkalks der Trias von Rudnik verursacht.

Eine weiterführende Interpretation der gravimetrischen Ergebnisse insbesondere auch aus geologischer Sicht wird später gesondert publiziert werden.

Danksagung

Die erfolgreiche Durchführung des Meßprogramms war nur durch die Einsatzfreude der Teilnehmer an den Meßfahrten 1974, 1975 und 1976 sowie der Studenten der geophysikalischen Feldpraktika 1973 und 1974 der Universität Wien möglich. Die Messungen erfolgten mit dem Gravimeter LCR D-9, das im Rahmen des Internationalen Geodynamischen Projektes angeschafft worden ist. Für die Finanzierung der Feldmessungen und der Auswertarbeiten danken wir dem Forschungsförderungsfonds. Dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilungen K2 und K3 gilt unser Dank für die Beistellung von Vermessungsunterlagen und dem Institut für Allgemeine Geodäsie der TU Wien für die Entlehnung geodätischer Instrumente.

Literatur

- ARIC, K. und P. STEINHAUSER: Geophysikalische Untersuchung des Inntal-Untergrundes bei Thaur, östl. v. Innsbruck. *Zs. f. Gl.kde. u. Glaz.geol.* XII, 37—54, 1976.
- EHRISMANN, W., H. J. GOTZE, W. LEPPICH, O. LETTAU, O. ROSENBAACH, W. SCHOLLER und P. STEINHAUSER: Gravimetrische Feldmessungen und Modellberechnungen im Gebiet des Krimmler Achentales und Obersulzbachtals. *Geol. Rundschau*, **65**, 767—778, 1976.
- EHRISMANN, W., O. ROSENBAACH und P. STEINHAUSER: Abraumbestimmung in Steinbrüchen mit geophysikalischen Meßmethoden. *DNI*, **7**, 11—18, 1971.
- KANTAS, K. und D. ZYCH: Reduction of Gravity Observations with Digital Computer. *Pageoph.* **68**, 11—18, 1967.
- SENFTEL, E.: Schwerekarte von Österreich. Bouguer-Isanomalien. 1 : 1 Mill. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 1965.
- SENFTEL, E.: persönliche Mitteilung, 1977.
- STEINHAUSER, P.: Scale Factor Determinations of a LaCoste & Romberg Gravimeter, Model D. *J. Geoph.* **44**, 395—396, 1978.