
SCHWEREVARIATIONEN IM ALPINEN RAUM

D. Ruess

BEV Wien

Einführung:

Die Kenntnis der Schwerebeschleunigung - der Betrag des Schwerevektors - ist unumstritten von Bedeutung, da wesentliche Größen in Wissenschaft und Technik damit verknüpft sind. In den Bereichen Geodäsie und Geophysik wurden und werden Modelle entwickelt, die den globalen Aufbau einerseits und lokale Krustenstrukturen andererseits immer besser beschreiben und in denen der Einfluß der Schwerkraft eine wesentliche Rolle spielt. In Hinblick auf das Verständnis geodynamischer Vorgänge ist jedoch die Kenntnis über die Veränderlichkeit bzw. Unveränderlichkeit der Schwerebeschleunigung unumgänglich. Letztendlich sind Geometrie und Schwere von einander abhängig. Auch durch die ständige Verbesserung und Genauigkeitssteigerung moderner Meßgeräte gewinnt das Thema Schwerevariationen zunehmend an Bedeutung.

Aus wiederholten Nivellementmessungen wurden im alpinen Raum Vertikalgeschwindigkeiten zwischen +2mm/Jahr und -2 mm/Jahr abgeleitet. Es stellt sich die Frage, ob diese Änderungen auch ihren Niederschlag bei Gravitationsmessungen finden.

In Österreich wurden 1980 erste Absolutschweremessungen nach dem Prinzip des freien Falles durchgeführt. Im Rahmen des Neuaufbaues des Österreichischen Schweregrundnetzes (ÖSGN) mit modernen LCR-Gravimetern im Anschluß daran wurde auch auf die Eventualität etwaiger Schwereänderungen Rücksicht genommen. Seit 1987 hat Österreich ein eigenes Freifall-Absolutgravimeter. Umfangreiche Messungen seither sollen die Basis schaffen, die Konstanz bzw. Veränderlichkeit der Schwerebeschleunigung nachzuweisen.

Theoretische Überlegungen

Entsprechend dem Gravitationsgesetz wird die Schwerebeschleunigung an einer Station durch die Massenverteilung im weitesten Sinn bestimmt. Jede Änderung nach Lage oder Dichte hat eine Schwereänderung zur Folge. Moderne Meßgeräte der Gravimetrie besitzen eine sehr hohe Empfindlichkeit von etwa 10^{-9} bis 10^{-10} bei supraleitenden Gezeitengravimetern. Dementsprechend müssen bekannte Einflüsse analysiert und eliminiert werden, um unbekannte aufdecken zu können.

In der folgenden *Tabelle 1* sind einige Einflüsse und deren Wirkung aufgelistet.

Ursache	max. Änderungen [nm/s ² = 0.1 μGal]	Perioden	Bestimmung
Erdgezeiten	± 1800	< 1 Tag - > 1 Jahr	Messung, Modell
Polbewegung	± 82	≈ 1.19 Jahre	VLBI,LLR,SLR
Erdrotation (ω)	< 7	-	Tageslänge
Grundwasser	<300	-	Messung, Modell
Eis, Schnee	100	Jahr	Abschätzung
Luftmassen	±150	Tage und Wochen	Barometrie
Höhenänderung	2/mm	-	Nivellement

Tabelle 1: Einflüsse auf die Stationsschwere

Bei relativen Schweremessungen zwischen verschiedenen Stationen sind globale Effekte vernachlässigbar, da die unterschiedliche Wirkung auf die Stationen unter der Meßgenauigkeit der Relativgravimeter liegt; bei großen Stationsabständen ist eine Genauigkeit von unter 10 μGal (100 nm/s²) kaum zu erreichen.

Im Gegensatz dazu müssen die Globaleffekte bei Absolutschweremessungen bzw. Gezeitenmessungen jedoch berücksichtigt werden, da gerade hier kleine Änderungen bei relativ großen zeitlichen Abständen gesucht werden.

Erdgezeiten:

Die theoretischen Erdgezeitenparameter werden aus Erdgezeitenregistrierungen und entsprechenden Erdgezeitenmodellen abgeleitet. Kugelfunktionen mit über 500 Partialtiden erlauben eine Anpassung bis auf 0.1 μGal. Im Innerkontinentalen Bereich können Phasenverschiebungen und Amplitudenfaktoren für Absolutschwerestationen interpoliert werden, sodaß Korrekturen im Genauigkeitsbereich von < 3 μGal erzielt werden können. Liegen die Stationen jedoch in Küstennähe der Ozeane, so vergrößert die schlechte Modellierbarkeit der Ozean-Aufla-deeffekte die Ungenauigkeit der theoretischen Berechnung merkbar. Eine mehrmonatige Erdgezeitenregistrierung ist an solchen Stationen meist notwendig.

Polbewegung und Erdrotation

Die Polbewegungen werden aus Ergebnissen der Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Lunar Laser Ranging (LLR) und Satellite Laser Ranging (SLR) abgeleitet. Die Daten werden im Bulletin des *International Earth Rotation Service* veröffentlicht. Ebenso enthalten sind die Rotationsparameter, die aus entsprechenden Zeitmessungen hergeleitet werden.

Hauptanteil der Polbewegung ist die freie Nutation der elastischen Erde mit einer Periode von 435 Tagen. Meteorologische und ozeanische Prozesse beeinflussen sowohl die Polbewegung wie auch die Erdrotation, auch große seismische Ereignisse bewirken Änderungen.

Der Maximaleffekt der Polbewegung von ca. $8 \mu\text{Gal}$ ist bei $\varphi = 45^\circ$ zu beobachten. Die Genauigkeit der Korrekturwerte liegt mit ca. $0.1 \mu\text{Gal}$ unter der Meßgenauigkeit der Absolutgravimeter. Die Schwerevariationen, die durch Rotationsschwankungen bedingt sind, liegen unter $1 \mu\text{Gal}$.

Grundwasser:

Der Einfluß von Grundwasserspiegelschwankungen ist von den lokalen Gegebenheiten bestimmt. Die Wirkung läßt sich über die Formel für die Bouguerplatte abschätzen. Der Bouguerplattengradient beträgt $41.9 \cdot \rho$ [$\mu\text{Gal}/\text{m}$]. Die freie Porosität ist im allgemeinen kleiner als 15%. Somit kann die Wirkung mit etwa $2.2 \mu\text{Gal}$ pro Meter Grundwasserhöhenänderung abgegrenzt werden.

Eis und Schnee:

Speziell im gebirgigen Land muß die Frage gestellt werden, inwieweit winterlicher Schneefall den stationären Schwerewert beeinflußt. In der Nähe von Gletschern sind auch noch Änderungen der Eismassen zu berücksichtigen.

Eine Abschätzung wird im folgenden *Diagramm 1* gegeben, in dem für einige Orte im Ötztal, einem inneralpinen Tal in Tirol, der Einfluß der Schneemassen berechnet wurde. Verwendet wurde das gängige Bouguerprogramm und das digitale Geländemodell Österreichs. Die topographische Reduktion erfolgte sphärisch bis 167 km. Zur Erzielung des gewünschten Effektes wurden die Geländehöhen ab einem bestimmten Höhenlimit ("Schneegrenze") um 1m (fiktive Schneehöhe) vergrößert. Die Berechnung erfolgte mit der Dichte $1\text{g}/\text{cm}^3$. Als realistisch ist etwa $1/3 - 1/4$ des Berechnungsergebnisses anzusehen (Schneedichte 0.25 - 0.35). Die Schneehöhe selbst ist hierbei nicht relevant, sondern nur die in gebundener Form niedergegangene Niederschlagsmenge.

Bei den Stationen im Tal zeigt eine Änderung der Schneegrenze unterhalb der Stationshöhe keine Wirkung. Die Erklärung dafür ist, daß nur im relativ schmalen Ötztal selbst Schneemassen unterhalb der Stationen zu liegen kommen, die aufgrund der Stationsnähe einen Beitrag zur Schwere leisten könnten, jedoch aufgrund ihrer geringen Gesamtmasse vernachlässigbar sind. Hebt sich die Schneegrenze jedoch deutlich über das Stationsniveau, so nimmt dieser die Schwere reduzierende Anteil der Schneeaufgabe zunehmend ab.

Der umgekehrte Effekt tritt bei der Station Hangerer auf, einem Gipfelpunkt in 3020 m Höhe. Hier liegt der Hauptanteil der Schneemasse stets unterhalb der Station, wodurch die Stationsschwere vergrößert wird. Erst wenn die Schneegrenze über 2000 m ansteigt, wird dieser Effekt deutlich vermindert. Die Schnee-

massen oberhalb von 3000m auf den wenigen umgebenden Gipfeln ist zu gering, um einen merkbaren Beitrag zu leisten.

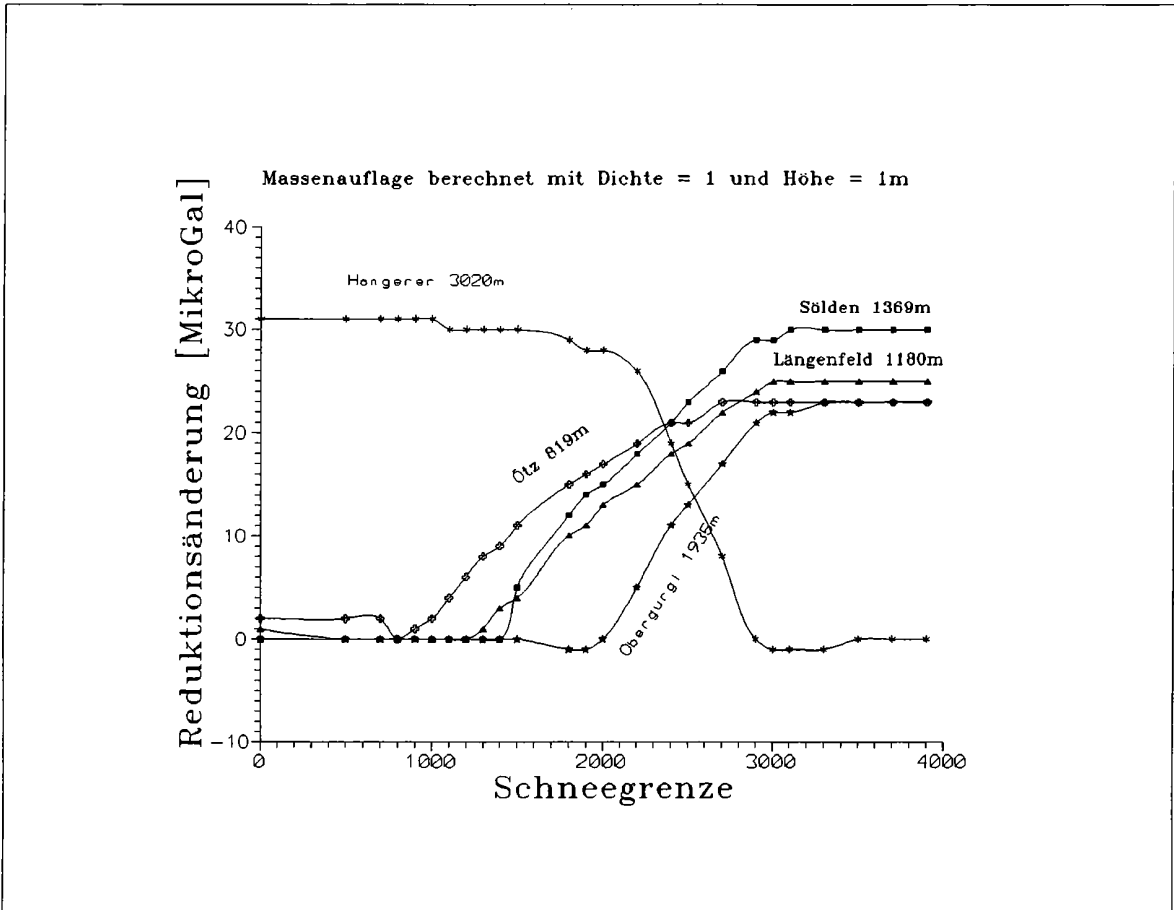


Diagramm. 1: Wirkung der Schneedecke auf verschiedene Stationen im Ötztal

Darüber hinaus erzeugt eine Schneedecke von 1 m einen Druck von etwa 20 - 30 hPa auf die alpine Kruste. Im Vergleich zu den Druckvariationen der Atmosphäre, die die gleiche Größenordnung haben, handelt es sich hier um wesentlich größere Perioden. Während der Einfluß der raschen Luftdruckänderungen auf Höhe und Schwere direkt ohne merkliche Zeitverschiebung, also elastisch, vor sich geht, ist bei langsamen Druckänderungen auch mit nichtelastischen Deformationen zu rechnen.

Luftmasse und Luftdruck:

Die über der Station befindliche Masse der Luft übt eine Anziehung aus, die sich schweremindernd auf die Station auswirkt. (Im globalen Mittel jedoch nicht, da die Schwerewirkung einer homogenen Kugelschale im Inneren gleich 0 ist). Änderungen des Luftdruckes sind abgesehen von dynamischen Effekten mit Luftmassenänderungen korreliert. Der direkte Effekt beträgt ca. $-0.3 \mu\text{Gal}/\text{hPa}$.

Darüber hinaus wird durch Luftdruckschwankungen der Druck auf die Erdkruste variiert. Diese reagiert darauf mehr oder weniger elastisch mit Höhenänderungen. Diese wiederum haben jedoch Schwereänderungen zur Folge.

Rabbel und Zschau (1985) geben den Einfluß mit folgender Abschätzungsformel an:

$$\Delta h = -0.90 \cdot \Delta \bar{P} - 0.35 \cdot (\Delta P_{st} - \Delta \bar{P})$$

$$\Delta g = -0.17 \cdot \Delta \bar{P} - 0.08 \cdot (\Delta P_{st} - \Delta \bar{P})$$

mit

- Δh ... Höhenänderung
- Δg ... Schwereänderung
- $\Delta \bar{P}$... mittlere Druckdifferenz in 2000 km Umgebung
- ΔP_{st} ... Druckdifferenz an der Station

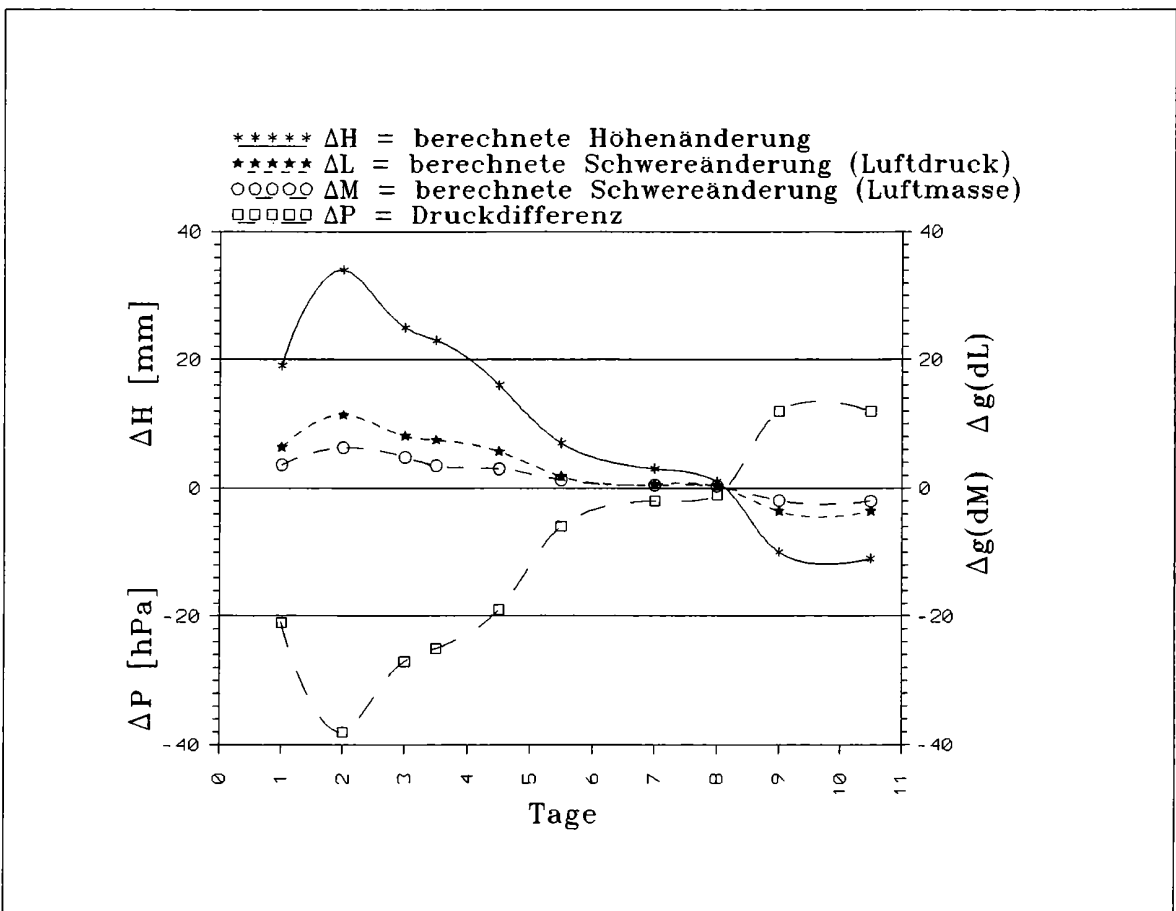


Diagramm 2: Theoretische Höhen- und Schwereänderungen durch Auflasteffekte Wien, Hohe Warte, 25. Februar - 7. März 1989

Im *Diagramm 2* ist die Wirkung der kräftigen Luftdruckänderung Ende Februar 1989 dargestellt. Zur Berechnung der Größen ΔH und $\Delta g(dL)$ dienten die oben angegebenen Formeln. Zum Vergleich wurde die bei Absolutschweremessungen verwendete Luftmassen-Korrekturgröße $\Delta g(dM)$ ($\approx 0.3 \Delta P$) angegeben.

Höhenänderungen:

Ohne auf die Ursache der Höhenänderungen näher einzugehen müßte die Alpenhebung folgende Wirkung auf den Schwerewert haben:

Freiluftgradient:	-0.308 $\mu\text{Gal}/\text{mm}$
Bouguerplatte:	<u>+0.111 $\mu\text{Gal}/\text{mm}$</u>
Hebungsgradient:	-0.197 $\mu\text{Gal}/\text{mm}$

Nivellementknoten in der Nähe des Alpenhauptkammes (Nauders, Brenner, Mauterndorf) zeigen aufgrund wiederholter Nivellementmessungen Vertikalgeschwindigkeiten von ca. +1.5 mm/Jahr (siehe Beilage: Recent Crustal Movements in Austria). Nach obiger Abschätzung wäre demnach in diesen Bereichen eine Schwereverminderung von 6 μGal in 20 Jahren zu erwarten.

Werden jedoch die Ursachen für Höhenänderungen mit einkalkuliert, so lassen sich vereinfacht zwei Modelle beschreiben:

a) Höhenänderung aufgrund eines Massenflusses im Untergrund:

Hier tritt genau der oben abgeschätzte Effekt ein. Dringt zum Beispiel in 70 km Tiefe eine Masse mit der Dichte $3.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ auf eine Fläche mit dem Durchmesser von 600 km ein und führt so zu einer Höhenänderung von 10 mm, so bewirkt die Massenzunahme eine Vergrößerung des Schwerewertes um +1.13 μGal . Der Unterschied zwischen sphärischer und ebener Berechnung ist bei so dünnen Platten marginal. Der Hebungsgradient wäre hier also -0.195 $\mu\text{Gal}/\text{mm}$.

b) Höhenänderung aufgrund einer Dichteänderung im Untergrund:

Hier bleibt die wirkende Masse konstant und das Volumen ändert sich. Nehmen wir an, in einem Erdkrustenpaket von 48 km Dicke und 600 km Durchmesser verringert sich die Dichte derart, daß daraus eine Höhenzunahme von 10 mm resultiert, so ergibt das eine Dichteänderung von $-5.56 \cdot 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^3$. Aufgrund der Geometrieänderung der Masse ändert sich die Schwere um -0.08 μGal . Hauptanteil der Gesamtwirkung ist der Freiluftgradient: der Hebungsgradient beträgt hier somit -0.309 $\mu\text{Gal}/\text{mm}$.

Denkbar wäre auch eine Kombination der Varianten a und b:

Die Dichte vergrößert sich in einem Maß, das die Hebung von eindringendem Material kompensiert. In diesem Fall nimmt die Schwere zu, ohne daß eine Höhenänderung eintritt. Nach dem obigen Beispielen ist der Anteil aus der Intru-

sion $+1.13 \mu\text{Gal}$, der der Dichtezunahme $+0.08 \mu\text{Gal}$, das ergibt eine Summe von $+1.21 \mu\text{Gal}$.

Meßmethoden

Prinzipiell bieten sich zwei Methoden an, Schwerevariationen zu messen:

a) mit Relativgravimetern (Federgravimetern):

Wie die Karte der Vertikalgeschwindigkeiten im Anhang zeigt, liegen jene Nivellementknoten mit signifikant unterschiedlichen Änderungsraten ($\Delta v > 2\text{mm/Jahr}$) mehr als 100 km weit auseinander bzw. weisen auch große Schwereunterschiede auf. Mehrjährige Testmessungen auf der Gravimeter-eichstrecke Göstling - Hochkar zeigen bei einem Schwereunterschied von ca. 200 mGal Streuungen von über $40 \mu\text{Gal}$ in den Ergebnissen. Relativmessungen im Österreichischen Schweregrundnetz (ÖSGN), wo 2-3 LCR Gravimeter gleichzeitig zum Einsatz kamen, weisen Spannungen in der gleichen Größenordnung auf, unabhängig von der gemessenen Schweredifferenz. Es zeigt sich, daß kleine Schwereänderungen ($\Delta g < 10 \mu\text{Gal}$) auf große Distanzen mit Relativgravimetern nicht oder nur mit sehr großem Aufwand nachweisbar sind.

b) mit Absolutgravimetern (Freier Fall bzw. Wurf):

In Österreich wurden, abgesehen von Pendelmessungen um die Jahrhundertwende, im Jahr 1980 erstmals Absolutschweremessungen durchgeführt. Zum Einsatz kam das italienische Gerät IMG (Marson, Alasia, Colonetti), das nach der Wurf und Fall Methode arbeitet. Seit 1987 besitzt Österreich das Gerät Nr. 6 des Typs JILAG (Zumberge, Rinker, Faller), das ausschließlich nach der Methode des freien Falles arbeitet. Sämtliche Absolutschweremessungen in Österreich dienen als Basis für das ÖSGN (siehe Beilage: Übersichtskarte des Schweregrundnetzes von Österreich).

Die innere Genauigkeit dieser Geräte liegt bei etwa $\pm 4 \mu\text{Gal}$. Bisherige Meßerfahrungen ergeben Reproduktionsfehler von etwa $5 - 10 \mu\text{Gal}$ bei kurzen Wiederholraten.

c) Kombination aus Absolut und Relativmessungen:

Die Schwereunterschiede zwischen den Absolutstationen werden mit Relativmessungen verglichen. Bei Wiederholungsmessungen können auch die mit dem Absolutgravimeter gemessenen relativen Schwereunterschiede in die Untersuchung mit einbezogen werden.

Stationen mit Mehrfachmessungen.

Die meisten der österreichischen Absolutschwerestationen sind darauf ausgelegt, daß Wiederholungsmessungen im zeitlichen Abstand von einigen Jahren durchgeführt werden können. Dies geschah 1987 an den vier 1980 gemessenen

Stationen. Speziell untersucht wird die Station Obergurgl durch jährliche Messungen im Frühjahr und Herbst. Häufige Messungen ergeben sich an der Station Wien. Ein weiteres aktuelles Meßprogramm ist ein Querprofil durch das südliche Wiener Becken, das in den Jahren 1990 - 1992 bestimmt wurde. Weitere Vergleiche ergeben sich an Stationen im Ausland.

Bisherige Ergebnisse:

Die Station Obergurgl ist die höchstgelegene Absolutschwerestation in Österreich und liegt etwa in der Mitte eines Bereiches, wo die Nord-Süd Ausdehnung der Alpen sehr groß ist. Die große mittlere Höhenlage der Umgebung gewährleistet eine längere mittlere Schneelage als in den Niederungen. Aus den meteorologischen Aufzeichnung ist die maximale kummulative Schneelage hier etwa im April erreicht, die minimale Schneelage Ende September. Aus diesen Überlegungen heraus leitet sich die Annahme ab, daß die Wirkung postelastischer Effekte am ehesten Ende April bzw. Ende September meßbar ist. Höhenänderungen mit Jahresperiode und Amplituden von wenigen cm sind praktisch derzeit (noch) nicht meßbar, wenn von VLBI abgesehen wird. Gravitationsänderungen in der Größenordnung von etwa 10 μGal pro Halbjahr sollten jedoch mit Absolutgravimetern erkennbar sein.

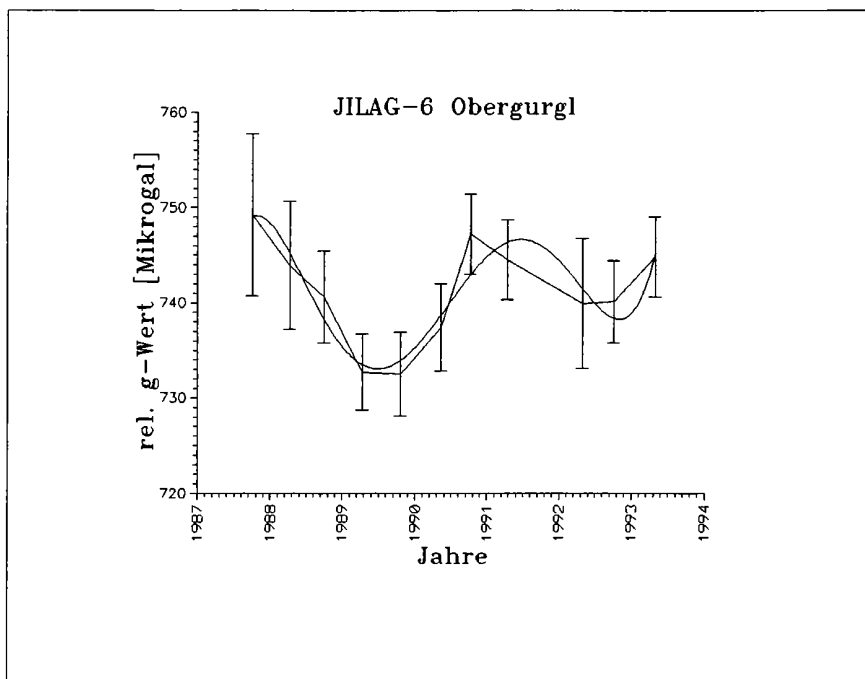


Diagramm 3: Halbjährliche Absolutschweremessungen in Obergurgl

Diese Überlegungen führten zu den halbjährigen Beobachtungen in Obergurgl (Diagramm 3). Jahresperioden sind hier nicht zu erkennen. Eine Änderungskurve

mit einer Periode von ca. 4 Jahren und einer Amplitude von $\approx 20 \mu\text{Gal}$ lässt sich modellieren.

Im Vergleich dazu sind im *Diagramm 4* die Ergebnisse von Wien dargestellt.

Die Messungen in Wien wurden nach Bedarf, meist aus Kontrollgründen durchgeführt. Daraus ergeben sich unregelmäßige zeitliche Abstände. Für das Diagramm wurden 18 Beobachtungen herangezogen. Auch hier zeigen sich ähnliche Variationen wie in Obergurgl. Die Meßserien in Wien und Obergurgl wurden jedoch ausschließlich mit dem selben Gerät gemessen. Der Gleichklang der Ergebnisse lässt daher nicht vorbehaltlos ,auf globale Ursachen schließen.

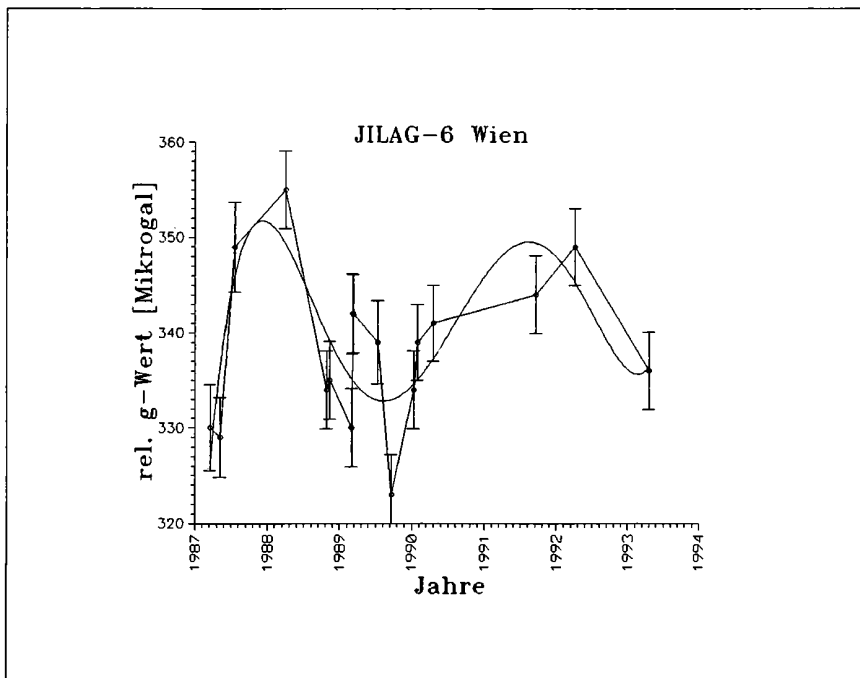


Diagramm 4: Absolutschweremessungen in Wien

In den Jahren 1990 - 1993 wurden in den Ländern Tschechien, Slowakei und Ungarn neue Absolutschweremessungen mit dem JILAG-6 durchgeführt. Zum Teil wurden Stationen verwendet, die bereits früher mit dem russischen Absolutgravimeter GABL gemessen wurden.

Die relativ langen Beobachtungsreihen in Moskau und Potsdam zeigen Schwerevariationen in der Größenordnung von ca. $60 \mu\text{Gal}$. Das wurde nach der letzten Messung in Pecny (Tschechien) mit dem JILAG-6 zum Anlaß, einen Vergleich zwischen den Beobachtungsreihen Potsdam und Pecny darzustellen (Simon 1992). Naheliegender war, die Beobachtungsreihe Obergurgl in diese Graphik mit einzubeziehen (*Diagramm 6*).

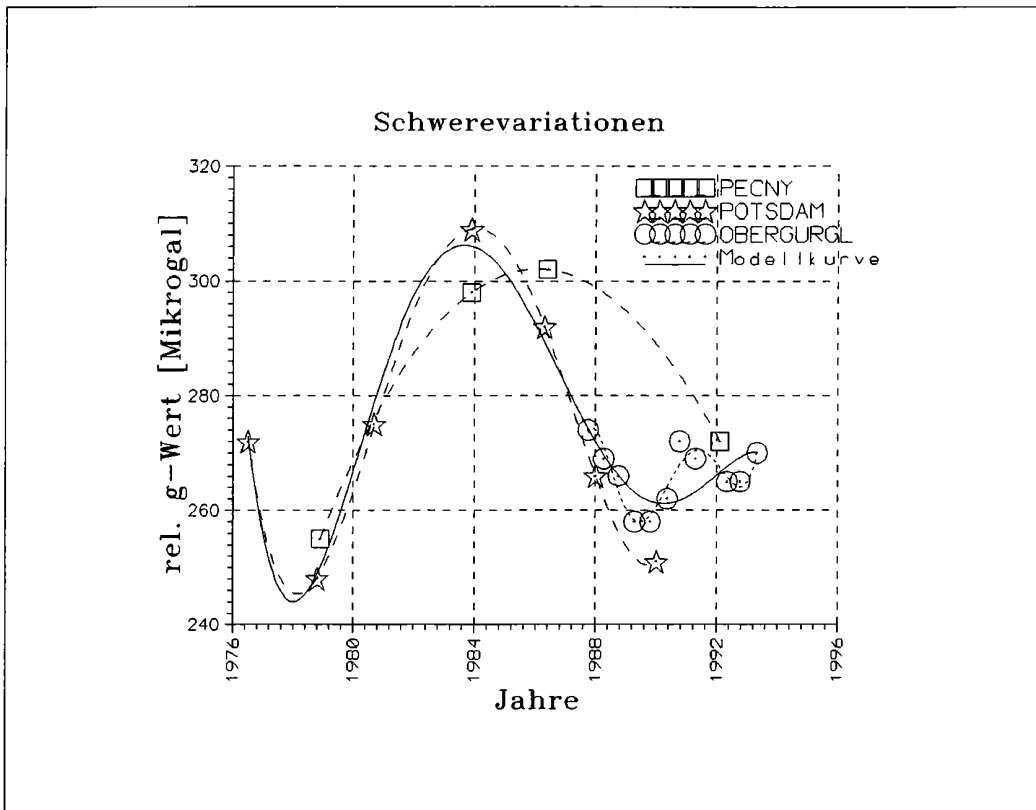


Diagramm 6: gemeinsame Modellierung von Schwerevariationen in Potsdam, Pecny und Obergurgl (nach Z. Šimon, 1992)

Die im *Diagramm 6* angeführten Messungen wurden bis 1987 mit dem russischen Absolutgerät GABL gemessen, die Messungen 1988 und 1990 in Potsdam mit JILAG-3 (Hannover), Pecny 1992 mit JILAG-6. Eine Interpretation dieser Meßreihe ist zur Zeit nicht möglich. Es gilt auch abzuwarten, ob bei der nun neueren Generation von Meßgeräten weiterhin Schwereänderungen in dieser Größenordnung beobachtet werden.

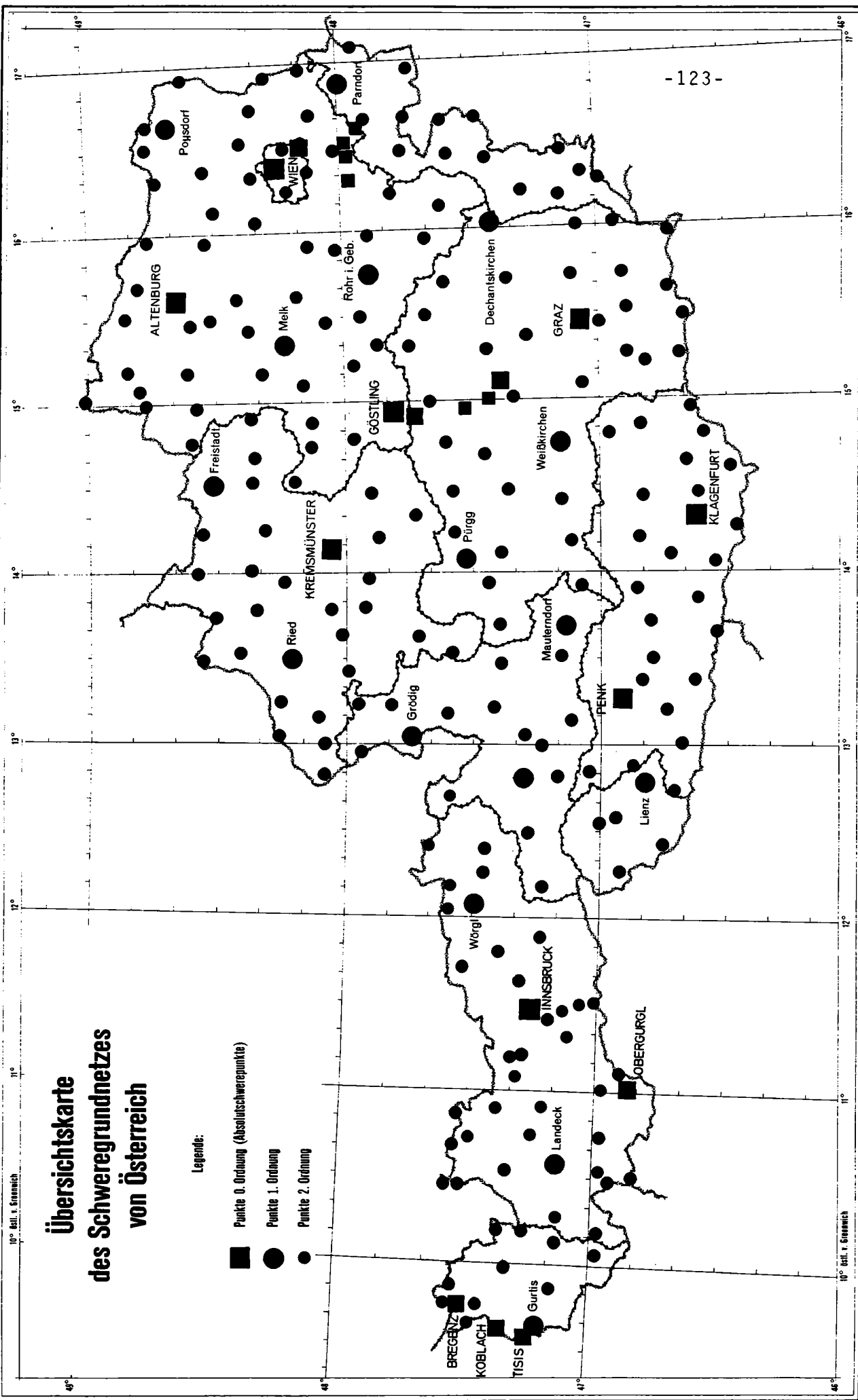
Zusammenfassung:

Die im Bereich der Ostalpen zu erwartenden Schwereänderungen sind sehr klein. Dennoch ist die Kenntnis darüber für das Verständnis geodynamischer Prozesse wichtig. Mit Absolutgravimetern müßte es möglich sein, Schwerevariationen über längere Zeiträume zu beobachten. Die bisher beobachteten Schwereänderungen lassen sich zur Zeit noch nicht eindeutig von gerätespezifischen Effekten trennen. Variationen zwischen 20 und 60 mGal in einem Zeitraum bis zu 20 Jahren wurden modelliert, lassen sich jedoch zur Zeit nicht geophysikalisch erklären. Weitere Datenanalysen, technische Verbesserungen der Apparaturen und viel Zeit sind daher nötig, um die aufgezeigten Problematiken zu ergründen.

Übersichtskarte des Schweregrundnetzes von Österreich

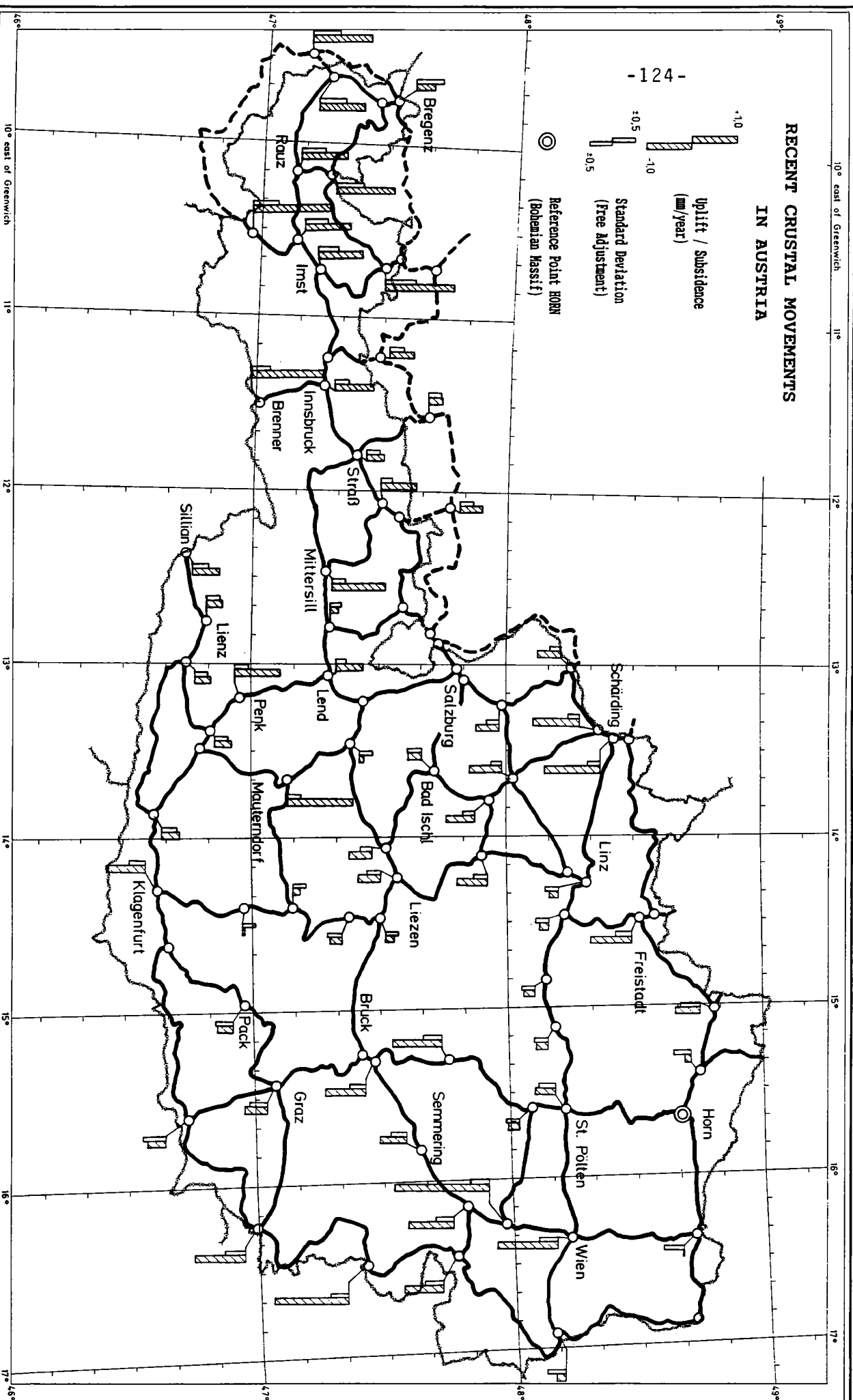
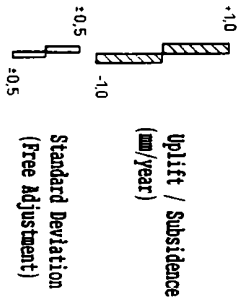
Legende:

- Punkte 0. Ordnung (Abschlussschwerpunkte)
- Punkte 1. Ordnung
- Punkte 2. Ordnung



RECENT CRUSTAL MOVEMENTS IN AUSTRIA

- 124 -



Referenzen:

- Alasia F., Cannizzo L., Cerutti G., Marson I.: **Absolute Gravity Acceleration Measurements: Experiences with a Transportable Gravimeter.** Metrologia 4/82, 185-193, 1982.
- Boedecker G.: **International Absolute Gravity Basestation Network (IAGBN) - Absolute Gravity Observations Data Processing Standards & Station Documentation.** BGI, Bull. d'Inf., 63, 51-57, 1988.
- Boulanger Y., Faller J., Groten E., Arnautov G., Becker M., Bernard B., Cannizzo L., Cerutti G., Courtie N., Feng Youg-Yuan, Fried J., Guo You-Guang, Hanada H., Huang Da-Lun, Kalish E., Kloppin F., Li De-Xi, Leord J., Mäkinen J., Marson I., Ooe M., Peter G., Röder R., Ruess D., Sakuma A., Schnüll N., Stus P., Scheglov S., Tarasük W., Timmen L., Torge W., Tsobokawa T., Tsuruta S., Vánská A., Zhang Guang-Yuan: **Results of the 3rd International Comparison of Absolute Gravimeters in Sévres 1989.** BGI, Bull. d' Inf. 68, Juin 1991.
- Boulanger Yu., Kopaev A.: **Secular Gravity Variations.** Pres. paper XX. Gen. Ass. IUGG, Vienna 1991.
- Höggerl N.: **Rezente Höhenänderungen in Österreich abgeleitet aus Präzisionsnivellement - Messungen.** Tagungsber. 5. Int. Alpengrav. Kolloquium Graz 1989. Österr. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 2, Wien 1989.
- Höggerl N.: **Recent Crustal Movements in Austria.** Map, XX. Gen. Ass. IUGG Vienna, BEV, 1991.
- Marson I., Steinhauser P.: **Absolute Gravity Measurements in Austria.** EOS, Trans. Am. Geoph. Un., Vol. 62, 258, 1981.
- Marson I., Steinhauser P., Meurers B., Alasia F.: **Fundamental Gravity Net for Geodynamic Investigations in the Eastern Alps.** EOS, Trans. Am. Geoph. Un., Vol. 62, 814, 1981.
- Merriam J.B.: **Atmospheric pressure and gravity.** Geophys. J. Int. 109, 488-500, 1992.
- Meurers B., Ruess D., Steinhauser P.: **Zur Kalibrierung von LCR-Gravimetern, Modell D.** Tagungsber 2. Int. Alpengravimetrie-Kolloquium, Wien 1980. Berichte Tiefbau Ostalpen, 11, ZAMG Nr 273, 123-130, Wien 1983.
- Meurers B., Ruess D.: **Errichtung einer neuen Gravimeter-Eichlinie am Hochkar.** ÖZ f. Verm. u. Photogr. Heft 3, 1985.
- Meurers B.: **Untersuchungen zur Bestimmung und Analyse des Schwerefeldes im Hochgebirge am Beispiel der Ostalpen.** Österr. Beitr. zu Meteorol. u. Geophysik, 6, ZAMG Publ.Nr. 343, Wien 1992.
- Ruess D.: **The Austrian Gravity Base Net as Base for Geotectonic Investigations.** Proceedings 1. Int. Symp. Gravity Field Determination and GPS-Positioning in the Alps-Adria Area. Dubrovnik and Hvar, Oct. 1989. Mitt. d. geodät. Inst. d. TU Graz, Graz 1990.
- Ruess D., Steinhauser P., Jeram G., Faller J.: **Neue Absolutschweremessungen in Österreich.** Tagungsber. 5. Int. Alpengravimetrie-Kolloquium

Graz 1989, Österr. Beitr. zu Meteorol. u. Geophysik, 2, ZAMG Publ.Nr. 332, 95-110, Wien 1989.

Ruess D.: **Schwere und Höhe im alpinen Bereich.** Vortrag bei der 7. Geodätischen Woche in Obergurgl 1993; in Druck, Innsbruck 1993.

Steinhauser P., Ruess D.: **Absolute Datum for Gravimetric Research in Austria.** Arb. ZAMG 67, 75-79, 1986.

Steinhauser P.: **Absolutschweremessungen in Österreich.** Oppolzer-Gedächtnissymposium 1986, Geodät. Arbeiten Österr. f. d. Int. Erdmessung, Bd. 5, Wien 1987.

Steinhauser P., Höggerl N.: **On the Correlation between Recent Crustal Movements and Gravity Anomalies in Austria.** BGI, Bull. d' Inf. 62, 1988.

Šimon, Z.: **Ctvrtá etapa absolutních tíhových měření na GO Pecný.** Geodetický a kartografický obzor ročník 38/80, číslo 8, 1992.

Sun H.-P., Ducarme B., Dehant V.: **Preliminary Investigations of Atmospheric Pressure Effect on Vertical Displacement and Gravity Observations.** Marees Terrestres, Bull. d' Inf. 114, 8334-8362, avril 1993.

Torge W.: **Gravimetry.** de Gruyter Berlin New. York 1989.

Van Dam T.M., Wahr J.M.: **Displacements of the Earth's Surface Due to Atmospheric Loading: Effects on Gravity and Baseline Measurements.** J. Geoph. Res., Vol. 92, No. B2, 1281-1286, 1987.

Wenzel H.-G.: **Nutzung von Schweremessungen für die Bestimmung rezenter Krustenbewegungen.** Univ. d. Bundeswehr München, Schriftenreihe des Studienganges Vermessungswesen, Heft 39, Rezente Krustenbewegungen, S.109-129, Neubiberg, 1989.

Zumberge M.A., Rinker R.L., Faller J.E.: **A Portable Apparatus for Absolute Measurements of the Earth's Gravity.** Metrologia 18, 145-152, Springer Verl. 1982.