
BEITRÄGE DER GRAVIMETRIE ZUR ERFORSCHUNG DER TIEFENSTRUKTUR ALPINER TALFURCHEN

G. Walach

MU Leoben

Kurzfassung

In der geophysikalischen Prospektion kommt die Gravimetrie zumeist als vorlaufende Übersichts- oder Ergänzungsmethode zu hochauflösenden indirekten (Seismik) und direkten (Bohrungen) Erkundungsverfahren zur Anwendung. In der Arbeit werden drei typische Beispiele aus der Erkundung quartärgefüllter, ostalpiner Talfurchen vorgestellt. Die Hauptaufgabe der Untersuchungen besteht darin, das Relief des Grundgebirges und die Mächtigkeit der darüber lagernden Sedimente zu bestimmen.

Aus der Detailvermessung des Vorarlberger Rheintales (Punktabstand 1 km) werden mittels 2D-Modellrechnungen Tiefenwerte bis zu 400 m und eine Strukturkarte der Quartärbasis berechnet. Für einen Inntalquerschnitt im Bereich der Tiefbohrung Wattens (900 m) wird mit Hilfe von bohrlochgeophysikalischen Informationen über die vertikale Dichteverteilung die Mächtigkeit des Inntalquartärs mit 950 bis 1150 m ermittelt sowie die Lage und Form der Talflanken bestimmt. Schließlich werden aus einer Übersichtsvermessung des Lienzer Quartärbeckens grundlegende Planungsparameter (Quartärmächtigkeit, Grundgebirgsrelief, Störungslinien, Reflexionskoeffizienten) für nachfolgende reflexionsseismische Untersuchungen abgeschätzt. Anhand der Beispiele wird die angewendete Meß- und Auswertemethode vorgestellt und diskutiert.

Einleitung

Die Lösung "von außen" gestellter Aufgaben in räumlich mehr oder weniger eng begrenzten Prospektionsgebieten stellt ad definitum die Grundaufgabe der angewandten Geophysik dar. Die Gravimetrie kommt vor allem dann zur Anwendung, wenn von der allgemeinen Problemstellung her mit signifikanten Dichtekontrasten zwischen den zu erkundenden Gesteinskörpern gerechnet werden kann. Eine der

am häufigsten gestellten Aufgaben besteht daher auch darin, das Relief des Grundgebirges und die Mächtigkeit der darüber lagernden Sedimente zu bestimmen. An drei typischen Beispielen aus der Erkundung ostalpiner Talfurchen werden im folgenden spezielle Probleme und Ergebnisse solcher lokaler Untersuchungen besprochen.

Obwohl prinzipiell die gleiche Meß- und Auswertemethodik wie bei regionalen Untersuchungen, etwa in der gravimetrischen Landesaufnahme (vergl. Meurers "Böhmische Masse", gleicher Band), zur Anwendung kommt, treten bei der ingenieurmäßigen Bearbeitung lokaler Schwereuntersuchungen doch einige Besonderheiten auf. Das beginnt bereits mit der Aufgabenstellung, in der für die Untersuchung sowohl eine definierte, meist eng begrenzte Zielstellung und ein im allgemeinen recht knapper zeitlicher und finanzieller Rahmen vorgegeben werden. Die Planung des Projektes beginnt daher häufig damit, zwischen ökonomischer Vorgabe und wissenschaftlichem Erfordernis einen vertretbaren Kompromiß zu finden, also die Feldmeßtechnik (Zahl der Meß- und Wiederholungspunkte, Aufwand für geodätische Arbeiten, begleitende Petrophysik u. a.) und die Auswertemethodik (Art und Vielfalt analytischer Interpretationshilfen) zu optimieren.

Beispielsweise besteht ein Charakteristikum lokaler gravimetrischer Untersuchungen auch darin, daß das Bezugsniveau der lokalen Problemstellung angepaßt und u. a. zwecks Minimierung von geologisch bedingten Scheinanomalien, nur wenig tiefer als die Seehöhe des tiefstgelegenen Meßpunkts gewählt wird.

Schwerefeld des Vorarlberger Rheintales

Als Beitrag zur "Europäischen Geotraverse" (Klingelé, Lahmeyer & Freeman, 1990) kam 1985-1988 im Rahmen eines FWF-Projektes eine gravimetrische Vermessung Westösterreichs, im besonderen des Bundeslandes Vorarlberg, zur Ausführung. Über die regionalen Aspekte dieser Untersuchung wurde bereits mehrfach berichtet (Posch, 1988; Posch & Walach, 1989, 1990); - unter anderem wurden im Rheintal drei Absolutstationen eingerichtet und vermessen sowie Karten der Bouguer-Isanomalien der West-Ostalpengrenze (Posch, 1990) und des Landes Vorarlberg (Posch & Walach, 1990) erstellt. Daneben wurde als lokale

Zielstellung des Projektes eine Detailvermessung des Schwerefeldes im Bereich Rheintal-Walgau ausgeführt.

Durch Zusammenführung geodätischer Daten aus Landesaufnahme, Hydrographie, Kraftwerks- und Straßenbau sowie von Stadtvermessungen, konnte ohne Meßaufwand ein mittlerer Punktabstand von etwa 1 km erreicht werden. Zusätzlich wurde entlang des nördlichen Illufers im Raum Feldkirch ein mehr als 3 km langes Profil mit 50 m Stationsabstand von der östlichen Talflanke bis an den Rhein geführt. Entlang dieses Profiles kamen neben hochauflösenden Schwerebestimmungen (Mehrfachmessung mit 2 LCR-G-Instrumenten) auch Messungen des lateralen und vertikalen Schweregradienten zur Ausführung. Die Lage des Profiles und die Restschwereverteilung für den Südabschnitt des Rheintales sind in Fig. 1 dargestellt.

Abweichend von der regionalen Auswertung erfolgte die Schwerereduktion nicht auf Adria-Null, sondern auf das Niveau Normalwasser Bodensee (Seehöhe 395 m) und unter Verwendung eines Dichtemodells (Posch, 1989 bzw. Walach, 1987). Diese Vorgangsweise brachte den Vorteil, daß durch Minimierung der mittleren Reduktionshöhe von 400 auf unter 30 m und eine weitgehende Anpassung der Reduktionsdichte an die realen Verhältnisse, Verzerrungen der Restschwereverteilung infolge geologischer Unter- bzw. Überreduktion, soweit als möglich vermieden wurden.

Die in Fig. 1 dargestellte Restschwereverteilung zeigt einen ausgeprägten Schweretrog von etwa -9 mgal, der aus einer NE-Richtung an der Grenze zu Liechtenstein gegen Norden im weiten Bogen in eine NNW-Richtung dreht. Das im folgenden näher beschriebene Detailprofil AA schneidet das Isolinienbild unter einem rechten Winkel. Da beidseitig des Profils die Isolinien zumindest über eine Entfernung von 2 km genähert linear verlaufen, liegen günstige Bedingungen für eine 2D-Modellkörperbetrachtung vor.

In Fig. 2 werden in situ gemessene und aus den Modellannahmen berechnete Horizontal- und Vertikalgradienten einander gegenüber gestellt. Wie zu erwarten, werden insbesondere durch den in situ-Horizontalgradienten alle wesentlichen

Diskontinuitäten des Grundgebirgsreliefs bis ins Detail gehend gut wiedergegeben. Aus diesem Grund bildet der Horizontalgradient eine wesentliche Hilfe für die Strukturierung des Modellkörpers. Insbesondere können danach Lagen und mit Einschränkungen auch die Sprunghöhe der wesentlichen geologischen Störungen im Verlauf des Profiles gut abgeschätzt werden.

Die gemessenen Vertikalgradienten (mittlerer Fehler ± 30 E) sind hingegen nur bedingt bzw. dem Trend nach mit den Modelldaten vergleichbar. Als Ursache dafür sind einerseits und wohl hauptsächlich die zu geringe Meßgenauigkeit der verwendeten LCR-G-Instrumente, daneben aber auch oberflächennahe geologische Komplikationen verantwortlich. So läßt sich beispielsweise das bei Kilometer 1 auftretende Maximum gut mit der Lage einer ehemaligen und heute abgedeckten Abfalldeponie korrelieren.

Der Dichtekontrast zwischen quartärer Talfüllung (2100 kg/m^3) und Grundgebirge (2600 kg/m^3), Werte nach Posch & Walach (1990), wurde in der Modellrechnung, einer nach der Tiefe zunehmenden Kompaktion und Wassersättigung der Sedimente entsprechend, im Bereich zwischen -400 und -500 kg/m^3 variiert. Das zusammengefaßte Ergebnis der Modellrechnung ist in Fig. 3 (oben) dargestellt. Nach Oberhauser (1991), Fig. 3 (unten), läßt sich das berechnete geophysikalische Modell gut und eindeutig in die geologisch/geodynamisch motivierten Vorstellungen über den Aufbau des Rheintaluntergrundes überführen.

Nach seismischen Ergebnissen haben Schoop und Wegener (1984) für den Bodensee sowie den Nordabschnitt des Vorarlberger Rheintales bis zum Kummaberg (Raum Hohenems-Mäder) eine Strukturkarte der Quartärbasis entworfen, die durch die gemessene Schwereverteilung sehr gut bestätigt wird. Südlich des Kummaberges hat diese Karte jedoch wegen der fehlenden Meßdaten keinen realistischen Aussagewert. Auch Isohypsenkarten nach geologischen und glaziologischen Kartierungen von Wildi (1984) bzw. Eberle (1987) zeichnen insbesondere im Bereich der schon nach Oberhauser (1982) anzunehmenden komplexen tektonischen Verhältnisse im Raum Feldkirch-Illmündung in keiner Weise die wahre Struktursituation ab.

Ausgehend von der Restschwereverteilung (Fig. 1) und dem Modellquerschnitt AA (Fig. 3) wurde daher durch eine Anzahl weiterer Modellschnitte ein flächendeckendes Strukturbild der Quartärbasis für den Rheintalabschnitt südlich des Kummaberg berechnet. Die vollständige Strukturkarte des präquartären Untergrundes für den Bereich Bodensee-Rheintal-Walgau ist in Fig. 4 dargestellt.

Wird schließlich das aus der Gravimetrie gewonnene Strukturbild zu dem in der Literatur dokumentierten geologischen Wissenstand in Beziehung gesetzt, so können daraus folgende Aussagen abgeleitet werden:

Ein Vergleich mit der geologischen Karte (Oberhauser, 1982) zeigt im Bereich der südlichen und östlichen Berandung der Quartärfurche eine meist bis ins Detail gehende Korrelation zwischen dem Restschwerebild und dem kartierten Grundgebirgsaufbau. Selbst sehr lokale Strukturelemente, wie etwa der Illdurchbruch im Stadtgebiet von Feldkirch oder der Übergang in den Walgau, finden in der Restschwerekarte (Fig. 1) Entsprechungen.

Von besonderem Interesse ist jedoch der Strukturverlauf in den quartärverhüllten Bereichen, da dort die Aussagen der geologischen Karte auf Extrapolationen von den Rändern her und strukturell begründeten Annahmen beruhen.

Am Matschels-Bergle, einem Grundgebirgsaufbruch im Bereich der Illmündung, bestätigt das Ergebnis der Modellrechnung die Annahme von Oberhauser (1982), daß es sich dabei um ein Teilelement einer mit NE-Richtung durchstreichenden Rippe der Säntisdecke handelt. Zusätzlich beweist das Modell, daß die Rippe beidseitig von Staffelbrüchen begrenzt wird, deren Sprunghöhe insgesamt deutlich mehr als 100 m beträgt. Auch das abrupte Umbiegen der Isolinien etwa 1 km NE der Illmündung aus der NE- in eine NW-Richtung deutet eine NW streichende Störung an, die den Rand der Tiefenrinne formt.

Schließlich sollen auch noch die aus der Modellrechnung hervorgehenden Tiefenwerte einer Überprüfung unterzogen werden. Die errechnete Maximaltiefe auf Profil AA von 500-550 m ergibt bezogen auf die mittlere Seehöhe der Geländeoberfläche einen Strukturwert von -65 bis -115, im Mittel von -90 m. Aus der

Literatur (Schoop & Wegener, 1984; Eberle, 1987; Grünefelder, 1989) können für strukturell äquivalente Positionen des Rheintales nachstehende Strukturwerte entnommen werden:

Tiefbohrung Balzers, Liechtenstein	-32 m
Tiefbohrung Landhaus bei Dornbirn	-182 m
tiefstes SW Dornbirn (Seismik)	ca. -230 m

Nun liegt Balzers rund 25 km südlich und der Raum Dornbirn rund 20 km nördlich des berechneten Modellquerschnittes. Damit ergibt sich sowohl im Anstieg gegen Balzers als auch im Gefälle gegen Dornbirn eine nahezu identische Neigung der Tiefenrinne des Urrheins von ungefähr 0,5 %. Es darf angenommen werden, daß die aus der gravimetrischen Detailvermessung errechneten Strukturdaten die tatsächlichen Untergrundverhältnisse der Rheintalfurche gut wiedergeben.

Inntalquerschnitt bei Wattens

Infolge der übermäßigen Beanspruchung und komplexen Kontaminationsbelastung der oberflächennahen Grundwasserressourcen des Inntales, kommt der Erkundung und Erschließung von Tiefengrundwässern eine steigende Bedeutung zu. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden im Inntal östlich von Innsbruck mehrere Teilgebiete reflexionsseismisch vorerkundet (Weber, Schmid & Figala, 1990). 1989 wurde bei Wattens eine Tiefbohrung niedergebracht, die bis zu ihrer Endtiefe von 900 m in quartären Schichten verblieb. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde ein Überdenken der Vorstellungen über die strukturelle Ausformung des Inntales notwendig, da man bis dahin mit wesentlich geringeren Quartärmächtigkeiten gerechnet hatte. Beispielsweise haben Aric & Steinhauser (1976) nach refraktionsseismischen und gravimetrischen Studien durchschnittliche Mächtigkeiten unter 500 m, in (tektonisch ?) vorgezeichneten Tiefenrinnen bis 600 m angenommen. In Fig. 5 ist der von Aric & Steinhauser (1976) vermessene Inntalquerschnitt am östlichen Stadtrand von Innsbruck (Thaur) dargestellt.

Als Folge der neuen Erkenntnisse kam im Gebiet der Tiefbohrung Wattens auch ein kleines gravimetrisches Testprogramm (85 Stationen, 3 Meßtage) zur Ausführung. Es hatte die Aufgabe, Fragen wie die maximal mögliche Quartärmächtigkeit,

die Struktur des Inntaltroges und letztlich auch nach der Position der Tiefbohrung im Bezug zu den Talflanken zu beantworten. Da die Messungen insgesamt nur einen etwa 2 km breiten Geländestreifen quer über das Tal überdeckten, beschränkten sich Auswertung und Interpretation im wesentlichen auf den in Fig. 6 dargestellten Modellquerschnitt.

Als wesentliche Informationsquelle für die Modellierung erwiesen sich neben den Schweremessungen vor allem die Ergebnisse der in der Tiefbohrung ausgeführten geophysikalischen Bohrlochmessungen. Insbesondere aus dem Soniclog konnte eine Dichte-Tiefenbeziehung für die Quartärsedimente abgeleitet werden. Markant trat hervor, daß bis in eine Tiefe von etwa 400 m Geschwindigkeiten bis 2000 m/s vorherrschen. Im Tiefenbereich darunter liegen jedoch die Geschwindigkeiten durchgehend deutlich über 3000 m/s, woraus auf eine bedeutende Kompaktion und damit verbunden eine wesentliche Verkleinerung des Dichtekontrastes zwischen Quartär und dem umgebenden Grundgebirge geschlossen werden konnte. In der Modellrechnung wurde daher für das Quartär ein Zweischichtfall mit Dichtekontrasten von -500 kg/m^3 für den Hangendbereich bis 400 m Tiefe (analog zu Aric & Steinhauser, 1976), für den Liegendkörper jedoch nur von -100 bis -175 kg/m^3 angenommen. Aus dem nach diesen Annahmen berechneten, möglichst einfach gehaltenen Modell (Fig. 6), lassen sich nachstehende Aussagen ableiten:

- 1) Unter den getroffenen Dichteannahmen, die durch Bohrlochmessungen gut abgesichert sind, muß mit einer Gesamtmächtigkeit des Quartärs von 950-1150 m gerechnet werden.
- 2) Abweichend von der Morphologie der Taloberfläche liegt die Bohrung Wattens 1 nicht im Bereich der Talmitte, sondern sehr nahe der südlichen Talflanke. Die Nordflanke des Troges liegt mehr als 1 km nördlich der heutigen Talsohle und ist durch die mächtigen Moränenablagerungen vollständig verhüllt.
- 3) Die nach ihrer glazialen Ausformung zu erwartende typische U-Form der Talfurche tritt im Schwerebild deutlich hervor.

In Summe bestätigen die Ergebnisse dieser einfachen Testmessung wiederum die längst bekannte Tatsache, daß die Gravimetrie eine ideale Ergänzung zu der

hochauflösenden Reflexionsseismik bildet und im Rahmen einer Komplexinterpretation wesentliche Zusatzinformationen über den Bau alpiner Talfurchen liefert.

Übersichtserkundung des Lienzer Quartärbeckens

1990 wurde im Bereich des am Zusammenfluß von Drau und Isel gelegenen Lienzer Quartärbeckens eine gravimetrische Übersichtsvermessung (ca. 120 km², 230 Meßpunkte) durchgeführt. Da keine Tiefbohrungen vorhanden sind, sollten durch diese Untersuchung grundsätzliche Vorstellungen über die Beckenstruktur und die Mächtigkeit der Quartärsedimente als Planungsgrundlage für eine seismische Erkundung von Tiefengrundwässern ermittelt werden.

Aus den Meßdaten wurden zunächst Karten der Bougueranomalien (Fig. 7) und nach Abzug einer linearen Trendfläche der Restschwereverteilung erstellt. Die Dimensionierung des Quartärkörpers erfolgte mit Hilfe von 2D-Modellen; -beispielsweise ist der Modellschnitt AA in Fig. 8 dargestellt. Durch Mitberücksichtigung aller verfügbaren geologischen Informationen (Brandner, 1980) wie Gesteinsart, Gesteinsdichte, Lage von Störungen, tektonische Schollen, Mylonit-zonen u. a. m. wurde versucht, die Modelle möglichst realitätsnah zu gestalten. Das Resumee aus qualitativer und quantitativer Interpretation der Schwereverteilung führte schließlich zu nachstehenden Aussagen:

- 1) Wie in Fig. 7 dargestellt wird, kann die Struktur des Lienzer Quartärbeckens durch Lokalisierung wesentlicher Bauelemente wie Lage von Störungen, Steiflanken, Muldenachsen, Randbuchten und dem Bereich der Trogsohle sehr detailliert beschrieben werden.
- 2) Nach den Ergebnissen der Modellrechnung beträgt die maximale Quartärmächtigkeit 380 - 520, im Mittel etwa 400 m
- 3) Aufgrund der festgestellten Mächtigkeiten und unter Berücksichtigung der durch Grundgebirgshochlagen und Verbauung gegebenen Einschränkungen für die Anlage von Meßprofilen ist der Reflexionsseismik gegenüber der Refraktionsseismik der Vorzug zu geben.

- 4) Aufgrund einer im Beckentiefsten zu vermutenden mächtigen Mylonitzone muß davon ausgegangen werden, daß im Bereich der Quartärbasis mit eher geringen Reflexionskoeffizienten zu rechnen sein wird; - die anzuwendende Meßtechnik (Mehrfachüberdeckung) sollte darauf ausgerichtet sein.

Literatur

- Aric, K. & P. Steinhauser (1976): Geophysikalische Untersuchung des Inntal-Untergrundes bei Thaur, östlich von Innsbruck. -Zschr. f. Gletscherkunde und Glaziologie, XII, H. 1, Innsbruck
- Brandner, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol. - M. 1 : 300.000, Tirol-Atlas, Innsbruck
- Eberle, M. (1987): Zur Lockergesteinsfüllung des St. Galler und Liechtensteiner Rheintales. - Eclogae geol. Helvetica, Bd. 80, 1, 193-206, Basel
- Grünenfelder, T. (1989): Gravimetrische Bestimmung der Quartärmächtigkeit am Zusammenfluß von Rhein und Seez (Gebiet Sargans-Fläsch-Balzers-Flums). - Unveröff. Diplomarbeit, ETH Zürich
- Klingelé, E., B. Lahmeyer, & R. Freeman (1990): EGT-Gravity Anomaly map, Bouguer Anomalies, Central and Southern Segments; - M. 1:2.500.000, Bern
- Oberhauser, R. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich, - M.1:25.000, Blatt St. Gallen Süd und Dornbirn Süd, Geol. Bundesanstalt, Wien
- Oberhauser, R. (1991): Zur Hydrogeologie des Rheintales zwischen Illfächer und Diepoldsauer Rheinschlinge, der Talränder und des Freschengebietes. - Archiv f. Lagerstättenforschung, Geol. Bundesanstalt, Bd. 13, 101-110, Wien
- Posch, E: (1988): Forschungsprojekt Gravimetrie Westösterreich (erste Ergebnisse). - Tagungsbericht 4. Intern. Alpengrav.-Koll., Berichte über den Tiefbau der Ostalpen, H. 13, 35-38, Z:-Anst.Met.Geodyn., Publ.Nr. 323, Wien
- Posch, E. (1989): Entwicklung eines Programm- und Archivsystems für die dynamische Bearbeitung und Verwaltung von Schwerkraftmessungen, dargestellt am Beispiel des Projektes Gravimetrie Westösterreich. - Unveröff. Diss., Montanuniversität Leoben

- Posch, E. & G. Walach (1990): Das Bouguerschwerefeld in Vorarlberg und im Bereich der Übergangszone zwischen West- und Ostalpen. - Tagungsbericht 5. Intern. Alpengrav. -Koll., Österr. Beitr. z. Met. u. Geoph., H. 2; 147-152, Wien
- Posch, E. & G. Walach (1990): Das Bouguerschwerefeld in Vorarlberg. - Mitt. österr. geol. Ges., Bd. 50, 105-118, Wien
- Schoop, R. W. & H. Wegener (1984): Einige Ergebnisse der seismischen Untersuchungen auf dem Bodensee. - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing., Bd. 50, 55-61
- Walach, G. (1987): A Digital Model of Surface Rock Densities of Austria and the Alpine Realm. - Geodät. Arb. Österr. f. d. Int. Erdmessung, Neue Folge, Bd. 4, 3-10, Graz
- Weber, F., Ch. Schmid & G. Figala (1990): Vorläufige Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Quartär des Inntals/Tirol. - Zschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol., Bd. 26, 121-144, Innsbruck
- Wildi, W. (1989): Isohypsenkarte der quartären Felstäler in der Nord- und Ostschweiz, mit kurzen Erläuterungen. - Eclogae geol. Helv., Bd. 77, Basel

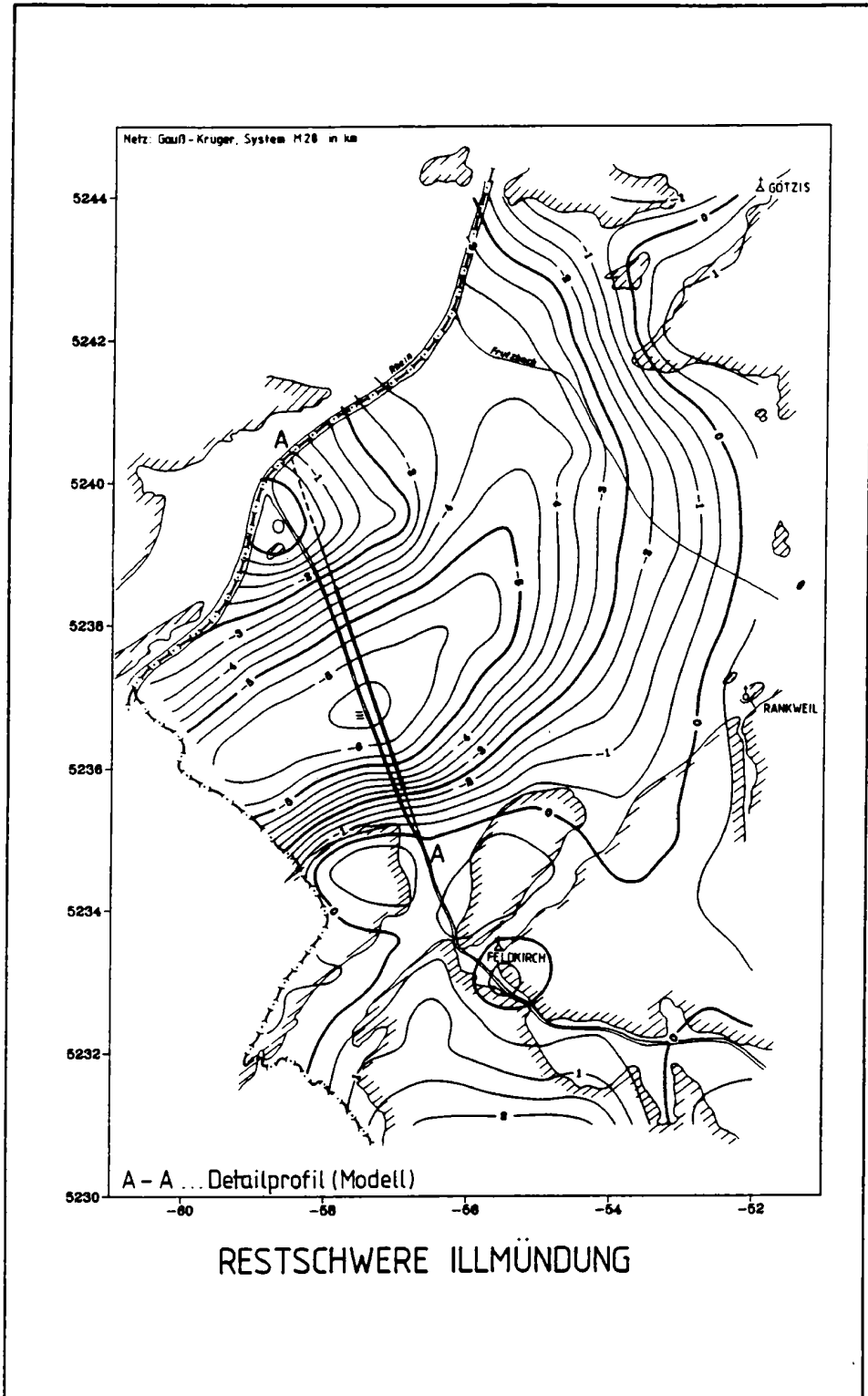


Fig. 1: Restschwerefeld im Südteil des Vorarlberger Rheintales (ebenes Regionalfeld, Dichtemodell, Bezugsniveau 395m SH)

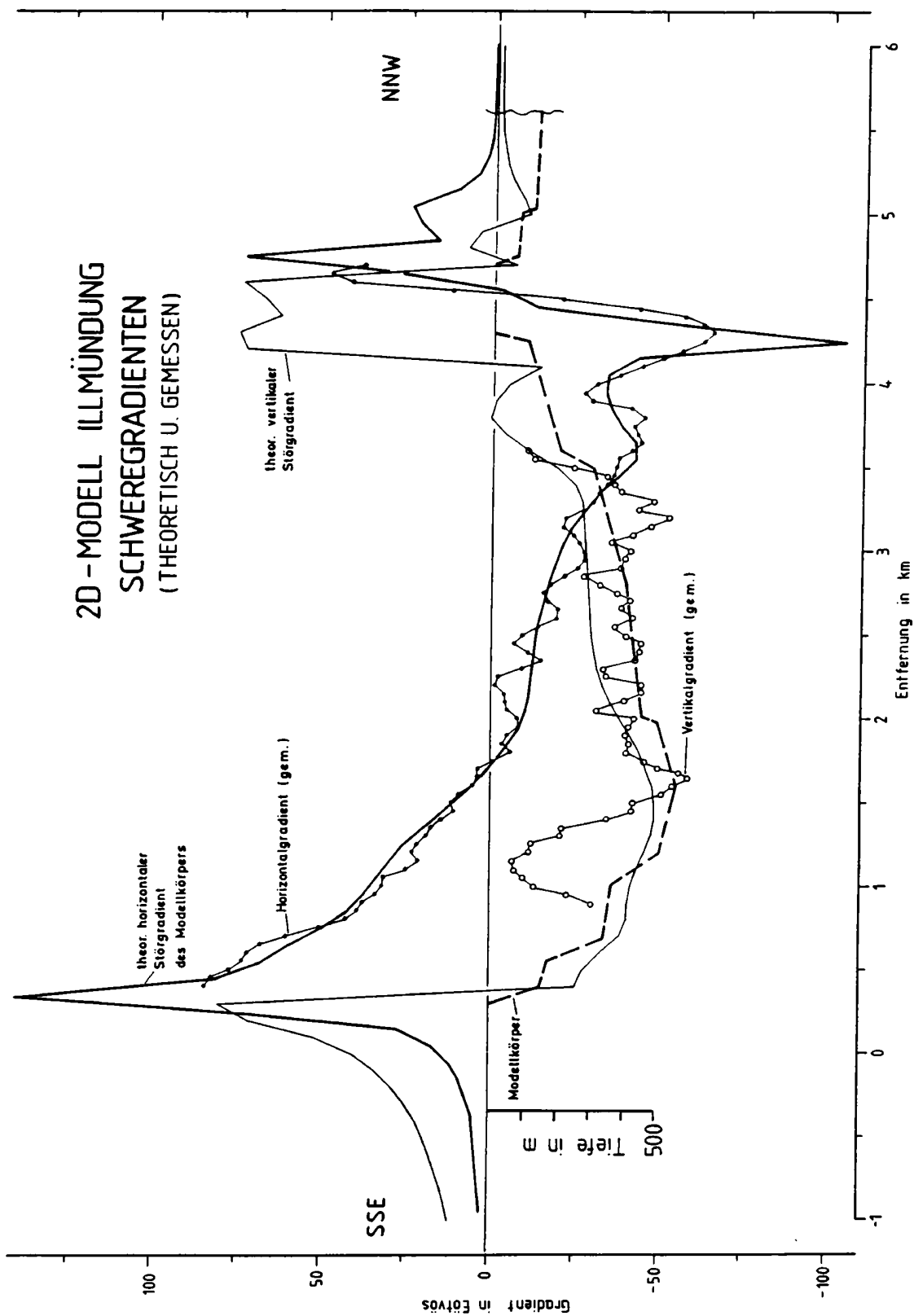
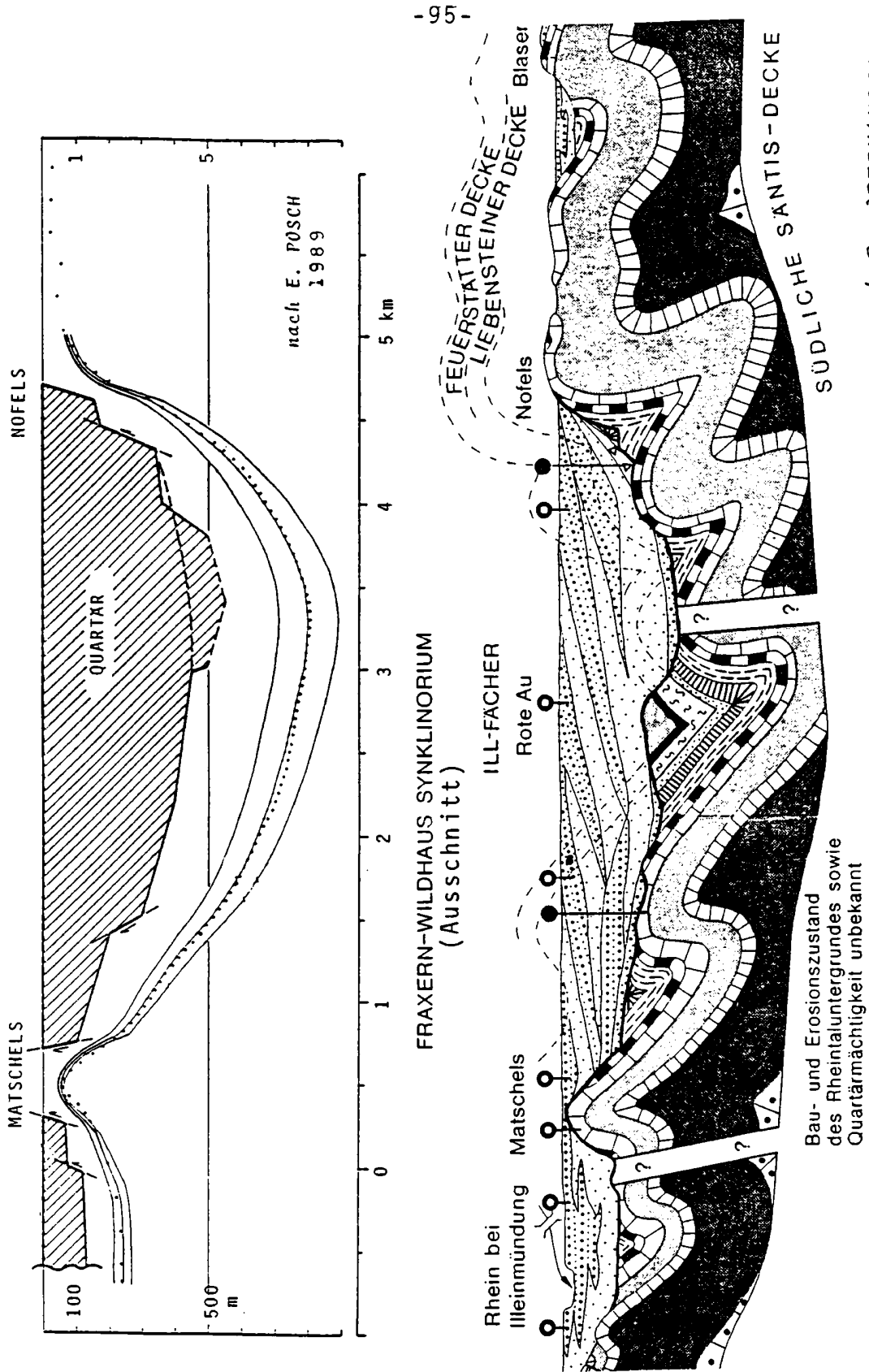


Fig. 2: Gegenüberstellung von gemessenen und für den Modellquerschnitt AA (Feldkirch - Illmündung) berechneten Schweregradienten (Posch, 1989)



nach R. OBERHAUSER
1991

Fig. 3: Gegenüberstellung von geophysikalischem Modell (Posch, 1989) und geodynamischer Interpretation (Oberhauser, 1991) für Profil AA (Feldkirch - Illmündung)

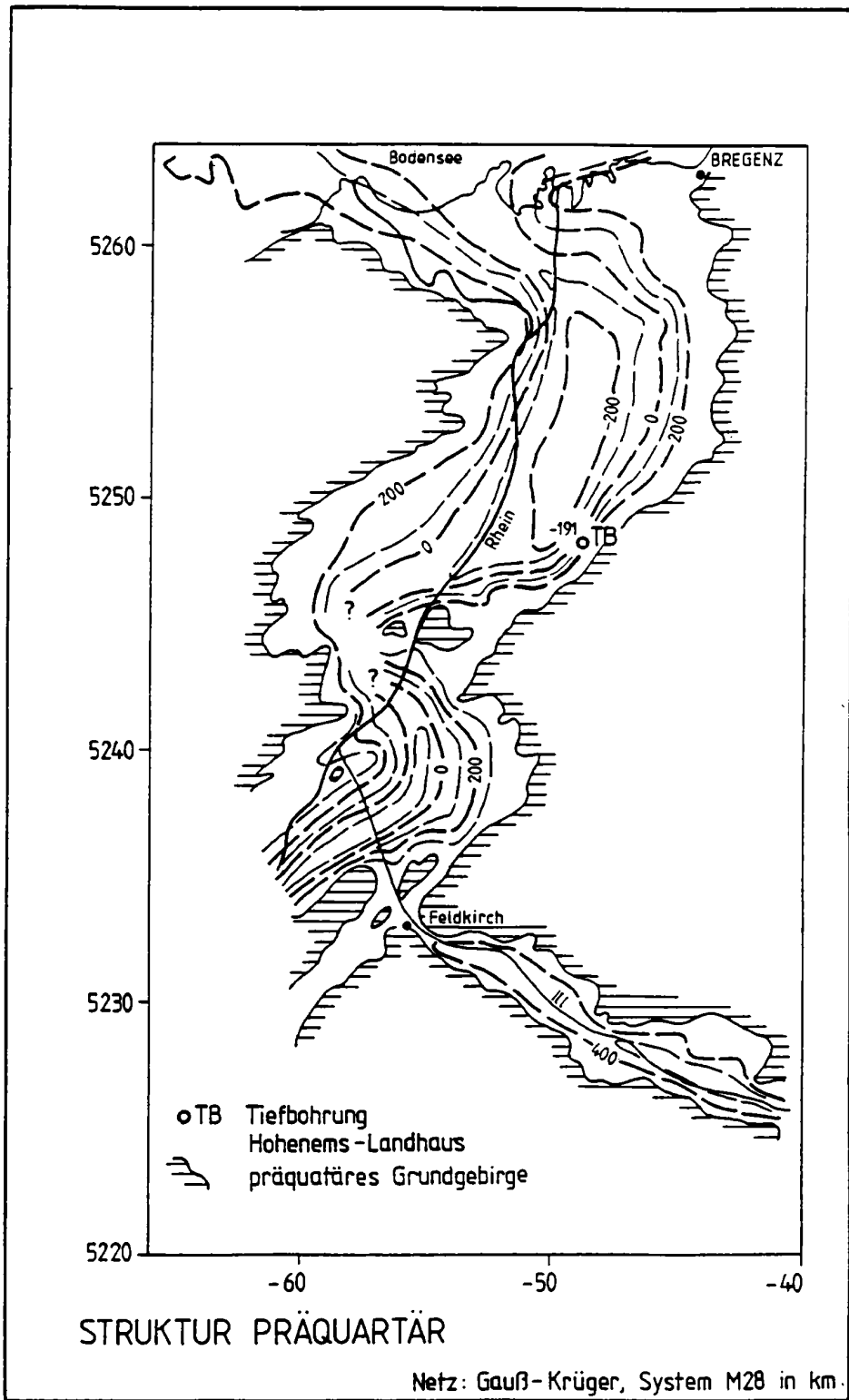


Fig. 4: Strukturkarte des präquartären Untergrundes für das Vorarlberger Rheintal nach Seismik (Nordteil) und Gravimetrie (Südteil)

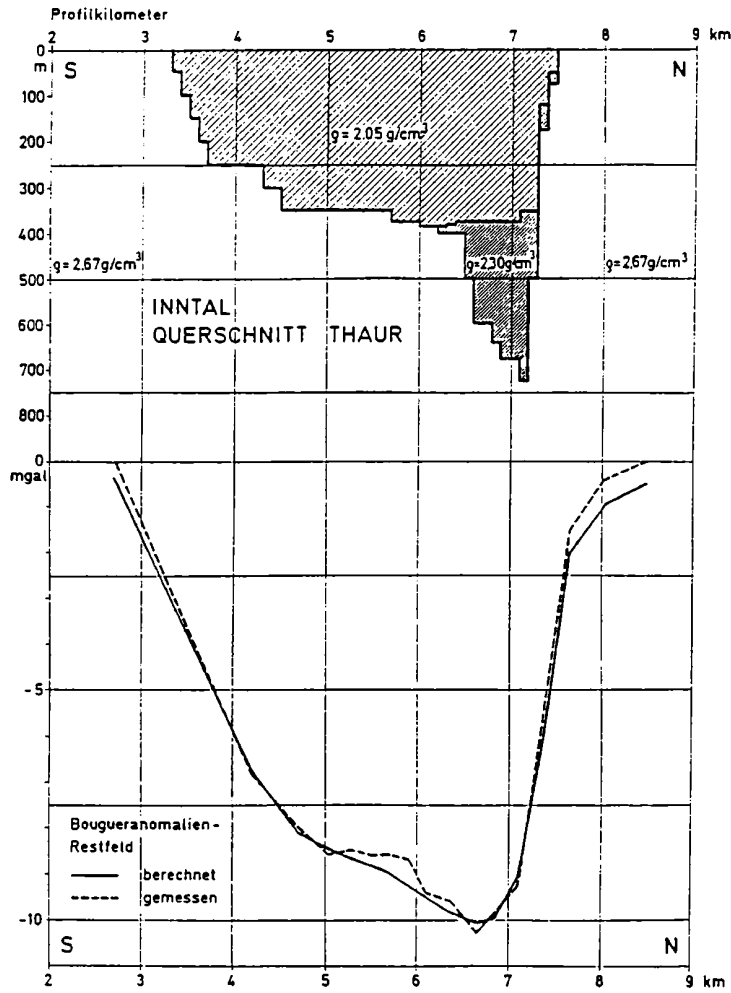


Fig. 5: Gravimetrischer Inntalquerschnitt östlich von Innsbruck bei Thaur nach Aric et al. (1976)

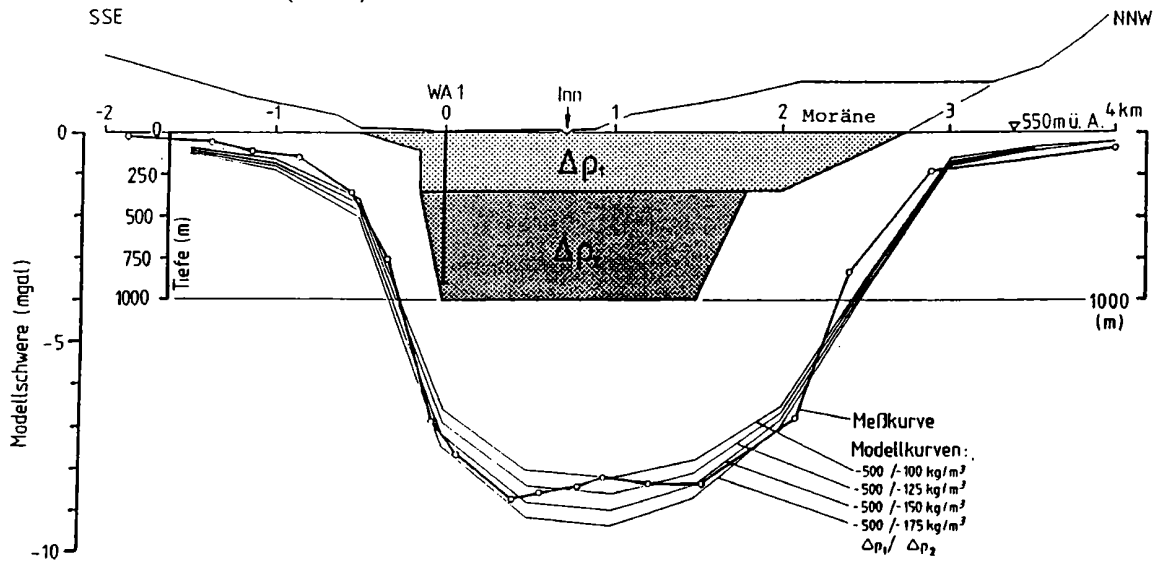


Fig. 6: Gravimetrischer Inntalquerschnitt östlich von Innsbruck bei Wattens nach Posch und Walach (1990)

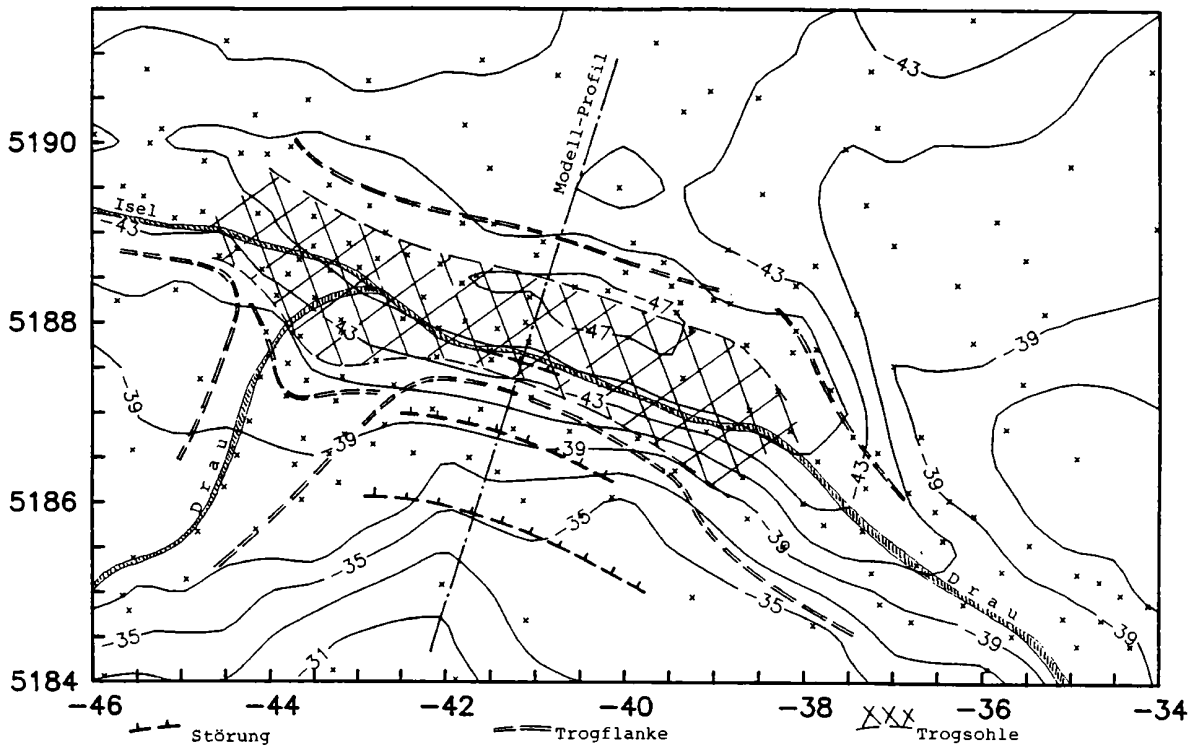


Fig. 7: Bouguer-Anomalie des Lienzer Beckens (Dichtemodell, Bezugsniveau 635m SH)

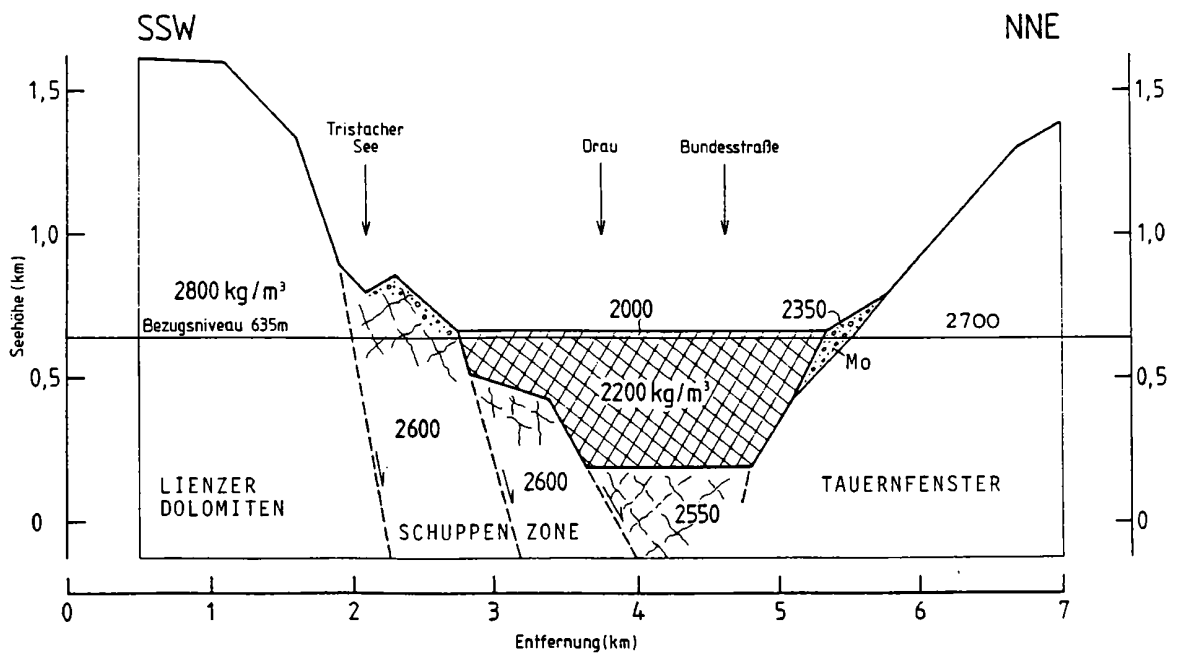


Fig. 8: Modellquerschnitt AA durch das Lienzer Becken