Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 47 (1954)

Heft: 1

Artikel: Schweremessungen nordwestliche von Zürich und ihre geologische Interpretation

Autor: Gretener, Peter

Kapitel: Geologische Interpretation

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-161832

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. Siehe Rechtliche Hinweise.

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. Voir Informations légales.

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. See Legal notice.

Download PDF: 26.04.2025

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

elektrische Messungen genau ermittelt würde, da diese Lockermaterialien keine Erhebungen von Bedeutung bilden.

In der vorliegenden Arbeit fanden die folgenden Gesteinsdichten Verwendung:

Molasse	2,40 g/cm³
Kalk	2,60 g/cm³

II. Geologische Interpretation

A. Bestimmung des regionalen Gradienten

Führt man die auf den Seiten 183–188 erwähnten Reduktionen aus und zeichnet auf Grund der so erhaltenen Werte eine Schwerekarte, so ist dies eine Karte der Bougueranomalien. Im folgenden sei diese Karte, in der die Werte $u_1 = g - B - 980752{,}00$ mgl kartiert wurden, kurz «Bouguerkarte I» (Tafel XII) genannt. Das auf den ersten Blick hervorstechendste Merkmal dieser Karte ist das starke Ansteigen der Schwere gegen NNW. Dies kann uns aber nicht weiter erstaunen, enthält doch bereits die Karte von NIETHAMMER (1921) diese Zunahme der Schwere in der genannten Richtung.

Obwohl der starke regionale Gradient das ganze Bild beherrscht, lässt sich bereits in dieser Karte die Lägern gut gegen Osten verfolgen. Im südlichen Teil der Karte sind auch das Limmat-, Furt- und Glattal deutlich erkennbar, indem die Kurven, entsprechend der Auffüllung mit spezifisch leichteren Materialien, dort nach Norden vorspringen. Es ist aber klar, dass alle diese Einzelheiten durch das generelle Ansteigen der Schwere gegen NNW stark beeinträchtigt werden. Die erste Aufgabe der Interpretation ist es daher, den regionalen Gradienten auf befriedigende Art und Weise zu eliminieren.

Es ist dies ein Problem, das bei den meisten gravimetrischen Interpretationen auftritt, und über das demzufolge eine umfangreiche Literatur besteht. Die glückliche oder weniger glückliche Lösung dieser Aufgabe ist oft entscheidend für den Erfolg der ganzen Arbeit. Entsprechend der Vielgestaltigkeit des Problems gehen auch die Meinungen über eine zweckmässige Lösung weit auseinander, wohl nicht zuletzt, weil eine eindeutige mathematische Definition für den regionalen Gradienten nicht existiert und auch nicht gegeben werden kann. Eine mir bekannte gute Definition wurde von SCHLEUSENER anlässlich eines Kongresses der EAEG (European Association of Exploration Geophysicists) 1951 im Haag gegeben. Sie lautet wie folgt: Als regionale Anomalie kann ein Störung bezeichnet werden, die sehr ausgedehnt ist im Verhältnis zu der untersuchten Anomalie.

Im allgemeinen sind bei allen Verfahren, die die Ausschaltung des regionalen Gradienten zum Ziele haben, vornehmlich mathematische Gesichtspunkte massgebend. Geologische Überlegungen spielen meist nur eine untergeordnete Rolle. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass man, sobald die geologischen Gegebenheiten berücksichtigt werden, keine allgemeinen Verfahren angeben kann, sondern sich eben von Fall zu Fall der Natur anpassen muss. Ferner sind natürlich die geologischen Unterlagen in Gebieten, wo gravimetrisch gearbeitet wird, oft spärlich, sofern sie nicht überhaupt fehlen.

Im vorliegenden Fall war die Situation insofern günstiger, als zumindest über gewisse Teile des Arbeitsgebietes gute geologische Kenntnisse vorhanden waren. Es lag auf der Hand, diese Daten bei der Eliminierung des regionalen Gradienten zu verwerten.

Die «Bouguerkarte I» (Tafel XII) lässt erkennen, dass kein Grund besteht, den regionalen Gradienten im Gebiete der Karte örtlich variabel anzunehmen. Alle Abweichungen von einem konstanten Gradienten sind relativ kleinräumig, mit einer Ausdehnung von einigen Kilometern, und daher als lokale Störungen zu betrachten. Der regionale Gradient ist infolgedessen eindeutig bestimmt, wenn seine Richtung und sein Betrag bekannt sind. Diese beiden Elemente können in den relativ wenig gestörten Partien im SE und NW der «Bouguerkarte I» (Tafel XII) entnommen werden. Die Richtung ergibt sich zu N 30° W und der Betrag zu 1,2 mgl/km. Dies stimmt sehr gut überein mit den Werten, die sich aus der Karte von NIETHAMMER (1921) berechnen lassen.

Bevor wir diesen Gradienten aus unserer Karte entfernen, wollen wir ihn doch noch etwas näher studieren. Wir haben bereits in der Einleitung auf die Tatsache hingewiesen, dass der regionale Gradient im schweizerischen Mittelland über weite Strecken merkwürdig konstant ist. Dieser Gradient kann unmöglich nur eine Folge des durch isostatische Einsenkung entstandenen Massendefizites unter den Alpen selbst sein, da in diesem Falle eine deutliche Abnahme nach Norden erfolgen müsste. Nach unseren geologischen Kenntnissen über den Aufbau des schweizerischen Mittellandes ist dieser Gradient im NW von Zürich auf drei verschiedene Ursachen zurückzuführen, nämlich auf das Massendefizit unter den Alpen, das Aufsteigen des Grundgebirges gegen den Schwarzwald und das Ansteigen des Mesozoikums in der gleichen Richtung.

Da die Betrachtung der Grenzfläche Jura–Molasse, vor allem gewisser Aufwölbungen in dieser Fläche, das eigentliche Ziel unserer Messungen bildet, ist eine Gesamtreduktion in dem Sinne, dass der volle Betrag der Schwerezunahme gegen NNW eliminiert wird, nicht zu empfehlen, soll doch das allgemeine Ansteigen dieser Fläche in der endgültig reduzierten Karte zum Ausdruck kommen. Ein gewisser Betrag der Schwerezunahme soll also in der Karte belassen werden, und es stellt sich nun die Frage nach der Bestimmung dieses Anteils.

Da alle drei Ursachen im gleichen Sinne wirken, ist es nicht möglich, sie auf rein mathematischer Basis zu trennen. Hingegen kommen hier nun die bereits vorhandenen geologischen Unterlagen zu Hilfe. Aus der geologischen Karte geht hervor, dass – abgesehen von der Lägernaufwölbung – in der Nordwestecke des Messgebietes, nordwestlich der Linie Endingen–Kaiserstuhl, der Jura ansteht. Ferner gelingt es, aus den geologische Profilen (SENFTLEBEN, 1923, und NOTZ, 1924) ungefähr die Linie zu bestimmen, längs welcher die Juraoberfläche südlich der Lägern unter das Meeresniveau taucht. Die Dichtedifferenz Kalk–Molasse ist ebenfalls bekannt (vgl. Seite 188). Aus diesen Angaben ist die Abschätzung der durch das Auftauchen des Juras verursachten Schwerezunahme gegen NNW möglich.

Eine in der Nordwestecke unseres Messgebietes auf anstehendem Jura gelegene Station muss gegenüber einer Station, die senkrecht über der Linie liegt, auf welcher der Kalk unter das Meeresniveau taucht, eine grössere Schwere aufweisen. Diese Schweredifferenz wird verursacht durch die Tatsache, dass bei der einen Station

bis auf Meeresniveau hinunter die Molasse ansteht, während bei der andern diese durch die spezifisch schwereren jurassischen und triasischen Gesteine ersetzt ist. Wir rufen dabei die Bemerkung in der Einleitung in Erinnerung, wonach sich die mittlere Dichte der triasischen Gesteine kaum stark von der des Juras unterscheiden wird. Nimmt man nun noch an, dass der Kalk ziemlich flach unter das Meeresniveau tauche, dann kann man die Schweredifferenz, die zwischen zwei der oben genannten Stationen in der endgültig reduzierten Schwerekarte auftreten soll, unter der Annahme einer einfachen Platte (vgl. Seite 183) näherungsweise berechnen. Die Mächtigkeit dieser Platte beträgt 400 m, entsprechend der mittleren Meereshöhe des Geländes in der Nordwestecke, die Dichte 0,20 g/cm^3, gemäss der Dichtedifferenz Kalk–Molasse. Der auf diese Weise berechnete Gradient hat einen Betrag von 0,30 mgl/km. Die Grösse des zu entfernenden Restgradienten beträgt demnach 0,90 mgl/km.

Das hier durchgeführte Verfahren zur Eliminierung eines Teils des regionalen Gradienten mag dem Mathematiker auf den ersten Blick ungewohnt erscheinen, da es auf geologischen Grundlagen beruht, die eine gewisse Unsicherheit in sich schliessen. Will man sich aber über ein solches Vorgehen ein objektives Bild machen, so muss man sich doch wohl erst fragen, welches Ziel eigentlich mit der Ausmerzung des regionalen Gradienten erreicht werden soll. Die Antwort auf diese Frage kann nur lauten: Eine Klärung und bestmögliche Anpassung des gravimetrischen Kartenbildes an die geologischen Gegebenheiten. Ein Vergleich der «Bouguerkarte I» (Tafel XII) mit der «Bouguerkarte II» (Tafel XII), die man durch Subtraktion einer gegen N 30° W gerichteten Schwerezunahme von 0,09 mgl/km erhält, zeigt, dass dies ohne Zweifel erreicht worden ist, womit sich das Verfahren selbst rechtfertigt. Es sei in diesem Zusammenhang noch auf eine Publikation von Van Weelden (1953) hingewiesen, in der er sich sehr eingehend mit der Bearbeitung von Schweremessungen auseinandersetzt. Er rückt dabei von der rein mathematischen Richtung ab und befürwortet eine vermehrte Rücksichtnahme auf die jeweils bekannten geologischen Tatsachen, insbesondere da jede Schwerekarte rein mathematisch betrachtet unendlich viele Deutungen zulässt.

Werfen wir nun noch schnell einen Blick auf den Restgradienten von 0,90 mgl/km. Wie bereits erwähnt, wird dieser durch das Ansteigen des Grundgebirges gegen NNW und das Massendefizit unter den Alpen bedingt. Aus den Angaben über dieses Massendefizit in der Arbeit von Gassmann & Prosen (1948) lässt sich der reine Alpengradient angenähert berechnen. Es ergab sich ein Wert von ca. 0,4 mgl/km. Nur etwa die Hälfte des Restgradienten ist also eine direkte Folge des Massendefizites unter den Alpen. Der fehlende Betrag von ca. 0,5 mgl/km muss also dem Ansteigen des Grundgebirges zugeschrieben werden. Die Dichte des Grundgebirges kann man nach Angaben in der Literatur (Niggli, de Quervain, Winterhalter, 1930) mit ungefähr 2,75 g/cm^3 annehmen, das heisst die Dichtedifferenz Grundgebirge–Mesozoikum ist von der gleichen Grössenordnung wie diejenige zwischen Kalk und Molasse. Um den geforderten Betrag von 0,5 mgl/km zu erhalten, müsste man annehmen, dass das Grundgebirge steiler aufsteige als die Juraoberfläche, das heisst dass auch das Mesozoikum gegen Süden eine Mächtigkeitszunahme aufweise. Immerhin ist zu bemerken, dass natürlich sowohl die Bestimmung des Alpengradienten wie die Ermittlung des durch das Ansteigen des Juras bedingten Anteiles

eine gewisse Unsicherheit aufweisen. Es darf aber als erwiesen gelten, dass alle drei Ursachen Beiträge von der gleichen Grössenordnung liefern. Im Mittelland ausschliesslich von einem Alpengradienten zu sprechen, ist also nicht richtig.

Zum Schlusse sei nochmals zusammengefasst: Die «Bouguerkarte II» (Tafel XII) entstand aus der «Bouguerkarte I» (Tafel XII) durch Subtraktion einer konstanten, nach N 30° W gerichteten Schwerezunahme mit dem Betrag 0,90 mgl/km (NS-Komponente 0,78 mgl/km, EW-Komponente 0,45 mgl/km). Sie wurde auf Grund folgender Werte konstruiert:

$$u_2 = u_1 - 0{,}78\Delta X - 0{,}45\Delta Y - 4{,}00 \text{ mgl.}$$

ΔX und ΔY sind bezogen auf 250000 m bezw. 690000 m. Die Konstante 4,00 ist so gewählt, dass die Lägern-Antiklinale als positive Anomalie in negativer Umgebung erscheint.

Nachdem wir nun unsere Messresultate in geeigneter Weise bearbeitet haben, können wir zur eigentlichen Interpretation übergehen. In unserer Einleitung haben wir bereits festgestellt, dass in dem vermessenen Gebiet mehrere geologische Strukturen bekannt sind, und wir müssen uns nun fragen, welche davon wir in unserer «Bouguerkarte II» (Tafel XII) wieder finden können, und inwiefern uns dieselbe zu neuen geologischen Erkenntnissen verhelfen kann.

B. Die Fortsetzung der Lägern-Antiklinale nach Osten

Eines der wichtigsten Ziele unserer Arbeit war die Verfolgung der Lägern-Antiklinale nach Osten. Darum sei diesem Problem auch jetzt der Vorrang eingeräumt.

Bei Dielsdorf – in den bekannten Steinbrüchen – finden sich die östlichsten Aufschlüsse des Juras. Etwa 3 km weiter im Osten, am Eschenberg, konnte MÜHLBERG (1902) noch eine deutlich antiklinale Verbiegung der Molasseschichten feststellen. Über den weiteren Verlauf der Lägern-Antiklinale herrschte Unklarheit. Ein Aufschluss im sogenannten «Güh», ca. 3 km ENE des Eschenberges, war umtritten. SCHUPPLI (1952) schreibt dazu:

«Weiter östlich, im E-Hang des Glattales bei Winkel, und bis gegen Bülach ist in der hier zutage tretenden OMM nichts mehr von einem antiklinalen Umbiegen der Lagen zu beobachten. Entweder ist die Lägern-Antiklinale hier bereits verflacht oder sie biegt bei Niederglatt gegen NE ab. Das durch MÜHLBERG (1901) und A. WEBER (Geolog. Exkursionen in der Umgebung von Zürich, 1946, S. 138) erwähnte 20–25° SSW-Einfallen der burdigalen Muschelsandsteine bei «Güh» (2,5 km südlich von Bülach) kann, wie A. WEBER ausführt, auf ein solches Abbiegen weisen. Das relativ steile Einfallen und das Streichen der Lagen wollen allerdings nicht recht ins Bild passen. Es handelt sich aber um einige isolierte kleine, unter Moränenbedeckung ausstreichende Aufschlüsse und die Möglichkeit besteht, dass diese Messung durch Diagonalstruktur oder Verrutschung zur Zeit der diluvialen Durchtalung beeinflusst ist. Der Aufschluss wurde unter Führung von Dr. A. WEBER durch Prof. DE QUERVAIN und den Autor besucht. Dabei konnte etwa 200 m weiter nördlich, an einem allerdings nicht messbaren Aufschluss von marinem Sandstein, flach südsiches Einfallen beobachtet werden.»

Dieser zweite Aufschluss wurde auch von uns während der gravimetrischen Aufnahmen besucht und daselbst ein schwaches Südfallen der Molasse erkannt. Trotz obiger Ausführungen lässt SCHUPPLI (1952) in seiner geologischen Übersichtskarte die Lägern-Antiklinale nach Osten auslaufen.

Aus den Schweremessungen geht nun aber deutlich hervor, dass die Lägern-Antiklinale in Übereinstimmung mit dem oben genannten Aufschluss nach NE ab-

biegt. Das Abbiegen erfolgt unmittelbar östlich des Eschenberges in einem ziemlich scharfen Knick. Die Lägern-Antiklinale zieht sodann über Bülach in die von BENDEL (1923) bereits vor 30 Jahren beschriebene Irchel-Antiklinale. Er bemerkt dazu folgendes:

«Aus diesen Tatsachen ergibt sich, dass die Molasse zwischen Tössegg und Dettenberg-Tunnel schwach gefaltet ist. Die Synklinale ist bei P. 348 sichtbar, der Antiklinal-Scheitel beim «o» des Wortes Krondel zu suchen. Die Gewölbeachse verläuft N 66° E. So drängt sich der Gedanke auf, dass die beschriebene Auffaltung entweder die Fortsetzung der Lägernaufwölbung ist oder ihr in nördlicher Lage parallel verläuft.

Das Alter der Aufwölbung ist ans Ende des Vindobons zu legen; denn

a) die geröllführenden Sande des Vindobons sind noch mitgewölbt, während

b) der zweite Mergelhorizont der Oehningerstufe sich beinahe in horizontaler Lage darüber erstreckt.

Auf der Nordseite des Irchels kann das Gewölbe nicht festgestellt werden, da der ganze Talkessel mit Moränenmaterial des Würmgletschers bedeckt ist. Die einzige Beobachtung in dieser Beziehung bietet die Entblössung der Molasse im Bachbett des Lozenbaches beim Schloss Eigental (Flaach).»

Sucht man die von BENDEL (1923) genannten Lokalitäten auf der Karte auf, so erkennt man, dass die auf der «Bouguerkarte II» (Tafel XII) ersichtliche Fortsetzung der Lägern-Antiklinale sehr schön in die von BENDEL genannte Struktur hineinzieht. Noch deutlicher ist dies auf der später zu besprechenden «Molassekarte» (Tafel XII) zu ersehen. Die einzige kleine Differenz bezieht sich auf das Achsenstreichen, das von BENDEL mit N 66° E angegeben wird, während in der Schwerekarte etwa N 55° E abzulesen sind. Dem kann aber keine allzugrosse Bedeutung beigemessen werden, da einmal eine weitere Änderung im Streichen im Tösstal nicht unmöglich ist, und ferner die Messungen von BENDEL doch etwas allzu einheitlich ein Streichen von genau N 66° E aufweisen.

Die starke Störung im Bau der Lägern-Antiklinale in der Umgebung von Dielsdorf, die sich bereits morphologisch und geologisch in dem brüsken Abtauchen der Lägern äussert, ist auch auf der «Bouguerkarte II» (Tafel XII) insofern ersichtlich, als nur wenig weiter östlich das sehr scharfe Abbiegen nach NE einsetzt (vgl. auch «Molassekarte», Tafel XII). Die im Gebiet von Dielsdorf–Regensberg vorhandenen Brüche lassen sich in der Schwerekarte nicht erkennen. Dabei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass Brüche in gravimetrischen Karten allgemein nur dann erkannt werden können, wenn bedeutende vertikale oder horizontale Verstellungen stattgefunden haben, wobei im zweiten Falle erst noch Antiklinalen oder andere Strukturen überlagert sein müssen, um die horizontale Verschiebung überhaupt sichtbar werden zu lassen. Ob nun die Lägern-Antiklinale einfach gegen NE abbiegt, oder ob sie durch eine Reihe von Brüchen mit relativ kleinem Verschiebungsbetrag treppenförmig nach NE verschoben ist, kann anhand der gravimetrischen Karte nicht entschieden werden. Der Aufschluss beim «Güh» und die Beobachtungen von BENDEL sprechen aber für den ersten Fall.

Aus der Schwerekarte geht ferner hervor, dass das Abtauchen der Antiklinale von Dielsdorf gegen Osten nur noch sehr schwach ist, ja, es ist nicht einmal sicher, ob nicht im Gebiet des Glattales eine flache Achsendepression vorliegt und anschliessend in der Gegend des Dettenberges (östlich Bülach) eine schwache Kulmination folgt. Wegen der starken Quartärbedeckung im Glattal lässt sich diese Frage nicht eindeutig entscheiden. Auf alle Fälle ist auch in bezug auf das Absinken gegen

Osten in der Gegend von Dielsdorf eine deutliche Änderung wahrnehmbar. Auch wenn man einen Teil des kräftigen Abtauchens westlich Dielsdorf (vgl. «Bouguerkarte II», Tafel XII) als durch erosive Abtragung des Kalkes bedingt annimmt, bleibt doch eine eindeutige Änderung gegenüber der flachen Fortsetzung nach Osten bestehen.

C. Weitere aus der Schwerekarte ableitbare geologische Erkenntnisse

In unserer Einleitung haben wir als zweite sicher bekannte geologische Struktur die Neuenhofer–Antiklinale erwähnt. Aus den bisherigen Messungen kann einzig gesagt werden, dass sich diese Antiklinale gravimetrisch nicht weiter nach Osten verfolgen lässt, als dies bereits mit Hilfe der rein geologischen Methoden möglich war, nämlich bis in die Gegend östlich von Würenlos (SE von Baden). Ein gewisses Abbiegen der Kurven nach Süden in dieser Gegend (besonders gut sichtbar in der «Molassekarte», Tafel XII) muss vermutlich dem Einfluss dieser Struktur zugeschrieben werden. Erst eine Fortsetzung der Messungen nach Westen könnte hier Gewissheit bringen. Durch Einbeziehung des Kestenberges in die Messungen dürfte auch die alte Streitfrage zu lösen sein, ob die Neuenhofer-Antiklinale die Fortsetzung der Kestenberg-Antiklinale darstellt, oder ob sie sich von der Lägern-Antiklinale abspaltet.

Die in der Einleitung an dritter Stelle genannte Endinger-Flexur lässt sich in keiner der Schwerekarten eindeutig erkennen. Nach einer persönlichen Mitteilung von v.Braun ist diese Struktur allerdings nicht so einfach gebaut, wie früher angenommen wurde. Nach seinen Untersuchungen entwickelt sich aus ihr eine kleine, in Richtung Siglistorf verlaufende Antiklinale. Ob sich eine gewisse Parallelisation zwischen diesen neuen Aufnahmen und der «Bouguerkarte II» (Tafel XII) herstellen lässt, muss vorläufig noch dahingestellt bleiben. Die Schwierigkeiten für die Schweremessungen steigen natürlich im Jura sehr stark an, nicht zuletzt, weil die topographische Korrektion recht beträchtliche Beträge erreicht.

Auf die quartären Ablagerungen im Limmat-, Glatt- und Furttal kommen wir später noch zurück.

Ein weiterer Punkt, über den sich anhand der vorliegenden Schwerekarte gewisse Aussagen machen lassen, betrifft die Molassemächtigkeit im Raume von Zürich. Genaue Angaben können natürlich nicht erwartet werden, da gerade dieses Resultat sehr wesentlich von der Interpretation des regionalen Gradienten abhängt. Bei der eingehenden Diskussion jenes Problems haben wir gesehen, dass dabei gewisse subjektive Überlegungen massgebend sind, die nun hier ebenfalls wieder zum Ausdruck kommen müssen. Aus diesem Grunde kann nur eine Abschätzung der Grössenordnung erfolgen. Wanner (1934) hat seinerzeit mit Hilfe von Nahbebenauswertungen die Molassemächtigkeit unter der Erdbebenwarte Zürich zu ca. 2,2 km bestimmt. Auf Grund der gravimetrischen Resultate kommt man zum Schluss, dass diese Mächtigkeit im Raume von Zürich nur ca. 1–1,5 km betragen kann. Eine gewisse Bestätigung erfährt diese Auffassung durch die Bohrung von Altishofen, wo die Molassemächtigkeit mit 1,3 km wesentlich geringer ist, als nach der geologischen Prognose vermutet wurde. Ein genaues Resultat kann erst durch reflexionsseismische Untersuchungen geliefert werden.

D. Das Prinzip der «Molassekarte» (Tafel XII)

Wenn man die «Bouguerkarte II» (Tafel XII) betrachtet und dabei bedenkt, dass die Sondierung der Oberfläche des Mesozoikums eines der wichtigsten Ziele gravimetrischer Aufnahmen im schweizerischen Mittelland bilden wird, dann erscheint einem diese Karte noch nicht unbedingt befriedigend. Wohl lässt sich die Lägern-Antiklinale gut gegen Osten verfolgen, aber ihr Kurvenbild ist durch kleinere, oberflächliche Störungen stark verwischt, und es frägt sich, wie weit sich die Antiklinale noch als solche erkennen lassen würde, wäre nicht der gute Anschluss nach Westen vorhanden. Aus diesem Grunde erscheint es wünschenswert, zu versuchen, ob sich diese oberflächlichen Störungen nicht auf irgendeine Weise aus dem Kartenbild entfernen lassen.

Vom geologischen Standpunkt aus müssen wir diese kleinräumigen Störungen hauptsächlich als eine Folge der quartären Bedeckung annehmen. Die beiden nachstehenden Formeln gestatten, die Störwirkung der Quartärbedeckung abzuschätzen. S_2 gibt die Wirkung für Stationen, die ungefähr über der Achse einer langestreckten (zweidimensionalen) Störung liegen, zum Beispiel Stationen auf Nieder- und Mittelterrassenschotter in den Tälern. S_3 gilt für dreidimensionale Störkörper, zum Beispiel für Deckenschotter auf isolierten Hügeln, Moränenreste etc.

$$S_2 = 0{,}042 \ \Delta\varrho \ h \ b_2 \ \text{mgl}$$

$$S_3 = 0{,}042 \ \Delta\varrho \ h \ b_3 \ \frac{\text{arc}\,\alpha}{2\,\pi} \ \text{mgl}$$

Es bedeuten:

$\Delta\varrho$ = Dichtedifferenz Molasse–Quartär in g/cm³,
h = mittlere Mächtigkeit des Quartärs in Metern.
b_2 und b_3 sind in Fig. 5 in Funktion von r/h aufgezeichnet, wobei r dem mitt-

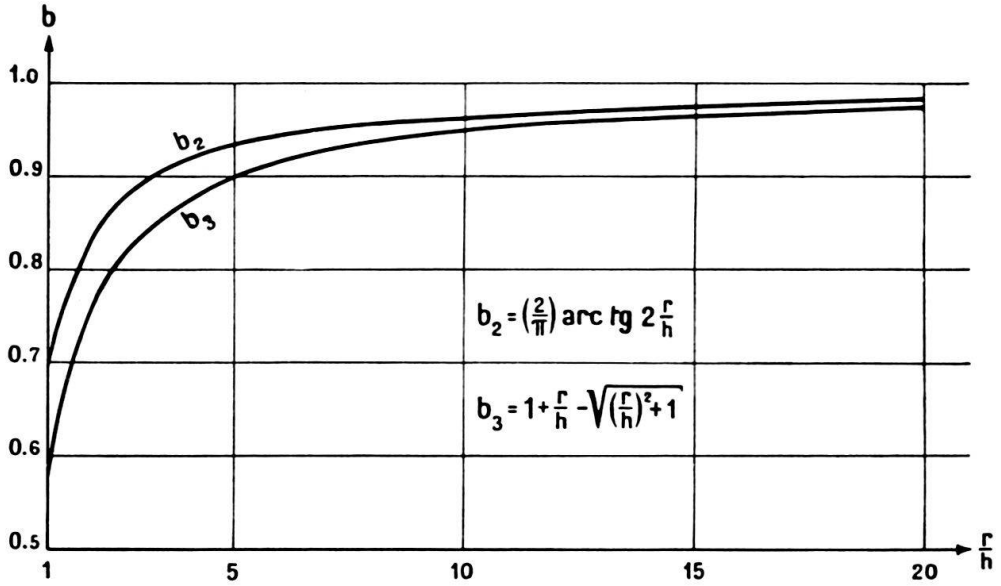

Fig. 5. Darstellung der Faktoren b_2 und b_3 in Funktion von r/h.

leren Radius der Quartärbedeckung entspricht, bezw. im zweidimensionalen Fall der halben Breite. Das randliche Auskeilen des Quartärs kann dadurch kompensiert werden, dass r etwas kleiner angenommen wird als in der geologischen Karte

angegeben. Für $r \to \infty$ gilt S_3 und $S_2 \to 0{,}042 \triangle \varrho h$ = Anziehung einer Platte von der Dicke h.

Bei einem Verhältnis von $r/h = 10$ beträgt die Abweichung von der Anziehung der Platte im Maximum noch 5%, ein Betrag, der für eine Schätzung meist nicht mehr in Betracht fällt. In der Mehrzahl aller Fälle genügt es daher, die Abschätzung mit Hilfe der Formel für die Anziehung der Platte vorzunehmen, und nur für Werte von $r/h < 10$ erlangen die Faktoren b_2 und b_3 praktische Bedeutung. Der Faktor arc $\alpha/2\pi$ tritt nur bei randlich gelegenen Stationen in Erscheinung. Es wird dann an Stelle des Vollzylinders ein Zylindersektor berechnet, dessen Öffnungswinkel α durch die Form der quartären Bedeckung bestimmt wird. Für eine am Rande eines zweidimensionalen Störkörpers gelegene Station verwendet man die Formel für S_3, wobei für r die gesamte Breite des Störkörpers einzusetzen ist. Da in diesem Falle meist $r/h > 10$ ist, ist $b_3 \cong 1$, arc $\alpha = \pi$, und die Störung entspricht somit gerade der Anziehung einer halben Platte.

Um einen Begriff über die Grössenordnung dieser Störungen zu geben, sei folgendes Beispiel erwähnt. Die Quartärauffüllungen im Limmattal werden von berufener Seite stellenweise auf über 50 m geschätzt (oberhalb Wettingen besteht eine Grundwasserbohrung, die sogar in 60 m Tiefe die Molasse nicht erreicht hat). Da das Tal über 1 km breit ist, darf mit der Formel für die Anziehung einer Platte gerechnet werden. Für die Dichtedifferenz Molasse–Quartär kann man ca. 0,5 g/cm³ annehmen. Eine ungefähr in der Talmitte gelegene Station wird dann, sofern es sich bei den angegebenen Tiefen nicht nur um isolierte Rinnen handelt, um den folgenden Betrag gestört:

$$S = 0{,}042 \cdot 0{,}5 \cdot 50 = 1 \text{ mgl.}$$

Da sich die gesuchten Anomalien, hervorgerufen durch Verbiegungen in der Grenzfläche Molasse–Mesozoikum, in der gleichen Grössenordnung bewegen, muss dem Einfluss des Quartärs bei der Reduktion und Interpretation von Schweremessungen grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Eine Möglichkeit, den Einfluss der quartären Bedeckung auszuschalten, besteht darin, dass man eine neue Karte zeichnet, in der nur die Meßstationen Verwendung finden, die auf anstehender Molasse bzw. Jura gelegen sind. Man sieht sehr schnell, dass, wollte man diese Regel mit aller Schärfe anwenden, man nicht mehr auf eine genügende Stationsdichte für die neue Karte käme. Man ist infolgedessen gezwungen, auch Meßstationen zu berücksichtigen, bei denen man sicher ist, dass die quartäre Unterlage nur wenig mächtig ist (je nach Material <5–10 m). Da die meisten der für diese Karte verwendeten Stationen auf Molasse liegen, wird die Karte im folgenden kurz als «Molassekarte» (Tafel XII) bezeichnet. In dieser Karte gelangten die Werte u_3 zur Darstellung. In Gebieten, in denen die Molasse bzw. die Juraformation ansteht, sind sie identisch mit den Werten u_2 der «Bouguerkarte II», Tafel XII). In den zwischenliegenden Regionen wurden die Kurven der neuen Karte durch Interpolation gewonnen, so dass dort Differenzen gegenüber den Werten u_2 auftreten.

Man sieht sofort, dass die Lägern-Antiklinale in dieser neuen Karte noch wesentlich besser zum Ausdruck kommt. Der wirkliche Wert dieser Konstruktion wird jedoch erst zur Geltung kommen, wenn einmal ein grösseres Stück des schweizeri-

schen Mittellandes vermessen ist. Da der Jura gegen Süden rasch absinkt, werden die entsprechenden Anomalien ebenfalls ausgedehnter und flacher werden. Gerade in diesem Falle aber wird sich die Methode der «Molassekarte» (Tafel XII) bewähren. Die grosse räumliche Ausdehnung der Anomalien verlangt keine sehr grosse Stationsdichte mehr, und zudem werden diese Anomalien wegen der kleinen Maximalwerte erst recht von der durch das Quartär bedingten Unruhe beeinträchtigt.

Es lohnt sich, nochmals auf einige Details der nunmehr von der quartären Bedeckung unbeeinflussten Karte einzugehen. Wie bereits erwähnt, ist hier die Fortsetzung der Lägern-Antiklinale besonders deutlich erkennbar. An unserm Kartenostrand, wo dieselbe in die Irchel-Antiklinale hineinzieht, nimmt SCHUPPLI (1952) für die Kalkoberfläche eine Tiefe von 500–600 m an. Nach der gravimetrischen Karte erscheint dieser Wert etwas zu gross. Genaue Tiefenangaben können aber anhand der Schwerekarte auch nicht gegeben werden. Dazu sei nur auf folgende Tatsache hingewiesen: Bei Eglisau, wo der Kalk in 225 m Tiefe erbohrt wurde (LETSCH, 1899), geht unsere + 1-mgl-Kurve durch, während bei Kaiserstuhl, wo der Kalk auftaucht, der Wert 0 abgelesen wird. Ob hier bereits Inhomogenitäten bzw. Unregelmässigkeiten in der Oberfläche des Grundgebirges sich bemerkbar machen, kann vorläufig nicht entschieden werden, da die genannten Lokalitäten sich ganz am Rande des Untersuchungsgebietes befinden. Fest steht jedenfalls, dass die «Molassekarte» (Tafel XII) nicht unmittelbar eine Isohypsenkarte der Juraoberfläche bildet, zumindest nicht im nördlichsten Teil des Messgebietes. Eine quantitative Auswertung des Schwereprofils östlich von Bülach mit Hilfe der Auszähldiagramme für zweidimensionale Störungen (GASSMANN, 1950) scheitert an der schlecht definierten Südflanke.

Die «Schwelle» in der im Nordwesten an die Lägern anschliessenden gravimetrischen Mulde könnte eine Folge der von AMSLER (1915) beschriebenen Siggentaler Antiklinale sein. Die westlich an die genannte «Schwelle» anschliessende negative Anomalie lässt sich ziemlich gut mit der vom gleichen Autor erwähnten Mulde von Turgi parallelisieren.

Im allgemeinen muss man feststellen, dass in diesem nordwestlichsten Teil die Stationsdichte ungenügend ist, um die zum Teil sehr kleinräumigen und oft komplizierten Strukturen des Juras zu erfassen. Ob es aber sinnvoll ist, hier noch detailliertere Messungen anzusetzen, bleibe vorläufig dahingestellt, da das Mittelland vorerst lohnendere Ziele für Schweremessungen bietet.

E. Konstruktion und Interpretation der «Quartärkarte» (Tafel XII)

Hat man die «Molassekarte» konstruiert, so liegt der Gedanke nahe, durch Subtraktion dieser Karte von der «Bouguerkarte II» eine «Quartärkarte» herzustellen. In dieser sind die Werte $u_4 = u_2 - u_3$ aufgetragen.

Betrachten wir zunächst den südlichen Teil dieser Karte, soweit die Kurven ausgezogen sind. Es lassen sich deutlich das Limmat-, Glatt- und Furttal erkennen. Alle drei Täler erscheinen etwas breiter als in Wirklichkeit. Dies rührt davon her, dass einmal die Punktdichte für diese Karte etwas knapp ist, die Hänge der Täler oft bis in beträchtliche Höhe quartäre Bedeckung aufweisen und ausserdem jede Massenstörung eben einen gewissen Einflussbereich hat.

Alle drei Täler zeigen auch eine gegen Süden zunehmende Tiefe. Besonders deutlich ist dies beim Limmattal. Nach der «Quartärkarte» (Tafel XII) zu schlies-

sen, müsste sich die Übertiefung des Zürichseetales, die durch die Bohrung bei Tuggen (SCHUPPLI, 1952) und die grosse Tiefe des Zürichsees bei Herrliberg belegt ist, in reduziertem Masse bis in die Gegend von Dietikon fortsetzen. Genaue Tiefenangaben können natürlich von der Gravimetrik nicht erwartet werden, besonders auch da unsere Kenntnisse über die Dichte des Quartärs vorläufig viel zu unsicher sind. Nimmt man aber den Maximaleffekt in der Gegend Schlieren–Altstetten mit –2,0 mgl an und setzt man ferner für die Dichtedifferenz Molasse–Quartär den plausiblen Wert 0,5 g/cm³ ein, so lässt sich wenigstens eine Abschätzung der Quartärmächtigkeit durchführen. Für die genannte Gegend kommt man so auf den beachtlichen Betrag von ca. 100 m. Dieses Resultat ist aus folgendem Grund mit einer gewissen Vorsicht aufzunehmen: Sowohl im Glatt- wie im Furttal sind ebenfalls am südlichen Kartenrand gravimetrische Minima angeschnitten. Im Glattal liegt dieses Randminimum im Gebiet des Flughafens Kloten, im Furttal in der Umgebung des Katzensees. In beiden Fällen befinden sich diese negativen Schwereanomalien in Gebieten ehemaliger stehender Gewässer, und es ist nicht ausgeschlossen, dass dort spezifisch besonders leichte Materialien zur Ablagerung gelangten. Die Vermutung, dass diese negativen Anomalien zum Teil auf lithologische Wechsel innerhalb des Quartärs und nicht ausschliesslich auf eine Übertiefung der betreffenden Stellen zurückzuführen sind, ist also nicht von der Hand zu weisen. Es wäre nun Aufgabe der Seismik oder Elektrik, an den von der Gravimetrie als interessant erkannten Stellen genauere Resultate zu liefern.

Es bleibt noch nachzutragen, dass auf der «Quartärkarte» (Tafel XII) das Furttal sehr breit in das Limmattal einzumünden scheint. Dazu ist zu sagen, dass auf dem das Furttal absperrenden Pfaffenbühl kein Molassepunkt gemessen wurde, wodurch die Nullkurve in jener Gegend etwas unsicher wird.

Der nördliche Teil dieser Karte, in dem die Kurven nurmehr dünn ausgezogen sind, soll die Tatsache illustrieren, dass eine «Quartärkarte» (Tafel XII) nur in besonders günstigen Fällen konstruiert und interpretiert werden kann. Die Gründe, die eine «Quartärkarte» im nördlichen Teil des Messgebietes unklar werden lassen, sind folgende:

1. Die Quartärstörungen erreichen dort fast durchwegs Beträge kleiner als ein Milligal. Da die zur Konstruktion benützten Karten nur ganze Milligalkurven aufweisen, ist es klar, dass die durch Subtraktion gebildeten Kurven in dem etwas komplizierteren Gebiet sehr unsicher werden.

2. Als quartäre Ablagerungen haben wir in diesem Gebiet vor allem die jungen Terrassenschotter in den Tälern und die Deckenschotter auf den Hügeln. Dazwischen ist die Molasse oft nur in relativ schmalen Streifen aufgeschlossen. Dies führt dazu, dass in Ermangelung einer genügenden Punktdichte in der «Molassekarte» (Tafel XII) die beiden Erscheinungen in der «Quartärkarte» (Tafel XII) miteinander vermengt werden, indem die gravimetrischen Täler zum Teil auch die mit einer Deckenschotterkappe versehenen Hügel umfassen.

F. Zusammenfassung der wichtigsten Resultate

1. Die Lägern-Antiklinale biegt östlich Dielsdorf gegen NE ab und zieht in die Irchel-Antiklinale hinein.

2. Die Quartäraufführungen im Limmat-, Furt- und Glattal nehmen offenbar gegen Süden an Mächtigkeit zu.

3. Die Molassemächtigkeit im Gebiete von Zürich kann nach den Schweremessungen auf 1–1,5 km geschätzt werden.

4. Das Zeichnen einer «Molassekarte» (Tafel XII) hat sich bewährt und kann bei grösseren Vermessungen im Mittelland empfohlen werden.

5. In gewissen Fällen kann die Konstruktion einer «Quartärkarte» (Tafel XII) interessante Aufschlüsse geben.

6. Der schon aus der Karte von NIETHAMMER (1921) zu entnehmende regionale Gradient im Raume nordwestlich von Zürich, mit der Richtung N 30° W und dem Betrag 1,2 mgl/km, lässt sich auf drei Ursachen zurückführen:

a) Das Massendefizit unter den Alpen.

b) Das Ansteigen der Oberfläche des Grundgebirges gegen den Schwarzwald.

c) Das Ansteigen der Oberfläche des Mesozoikums gegen NNW.

III. Erfahrungen der Schweremessungen 1952

A. Allgemeines

Im folgenden sollen, auf Grund der Erfahrungen der vorliegenden Vermessung, einige Vorschläge zur Verbesserung der Anlage und Durchführung weiterer gravimetrischer Aufnahmen im schweizerischen Mittelland gemacht werden. Es darf jedoch von allem Anfang an darauf hingewiesen werden, dass die Messungen 1952 entsprechend den damaligen Gegebenheiten richtig geplant und durchgeführt wurden. Dabei muss man sich vor Augen halten, dass die Voraussetzungen für jede weitere Arbeit dieser Art insofern grundlegend anders sind, als nunmehr die Möglichkeit besteht, diese an die bereits bestehende Aufnahme anzuschliessen.

Bei Beginn der vorliegenden Messungen war die Schweiz – abgesehen von der Schwerekarte von NIETHAMMER (1921) – in gravimetrischer Beziehung Neuland. Die zu erwartenden zahlreichen oberflächennahen Störungen, bestätigt durch die bereits ausgeführte Detailvermessung, verlangten die Aufnahme eines möglichst grossen Gebietes. Um dies mit den vorhandenen Mitteln ausführen zu können, war es unvermeidlich, gewisse Kompromisse zu schliessen.

Aus der nunmehr durchgeführten Arbeit geht eindeutig hervor, dass eine Auswertung nur möglich ist, sofern das vermessene Gebiet mindestens 4–6 Siegfriedblätter (200–300 km^2) umfasst. Für weitere Aufnahmen, welche an die bereits bestehende anschliessen, fällt diese Bedingung natürlich weg. Dadurch wird es möglich, der Auswahl der Stationen in Zukunft vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken, ganz besonders auch weil die vorliegenden Messungen wertvolle Hinweise lieferten, in welcher Richtung diese Auswahl getroffen werden muss.

B. Topographische Bestimmung der Stationen

Auf Seite 180 wurde bereits erwähnt, dass sich die Messungen im wesentlichen auf Triangulationspunkte der Eidgenössischen Landestopographie stützen. Dies ist wohl der wichtigste Kompromiss, der im Hinblick auf eine rasche und grossräumige gravimetrische Aufnahme geschlossen werden musste. Durch die beinahe ausschliessliche Verwendung der erwähnten Triangulationspunkte war es möglich, den Aufwand für die topographische Vermessung auf ein Minimum zu reduzieren.

Im Prinzip wird es vorteilhaft sein, diese Triangulationspunkte als Basis der topographischen Vermessung beizubehalten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass ein