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

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

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

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

Schweremessungen nordwestlich von Zürich und ihre geologische Interpretation

Mit 5 Textfiguren und 1 Tafel (XII)

Von **Peter Gretener**, Zürich

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort 174

Einleitung 175

I. Die Schweremessungen und ihre Reduktion 177

A. Kurze Beschreibung des Gravimeters 177

B. Anlage und Durchführung der Feldmessungen 180

C. Reduktion der Messwerte nach Bouguer 183

D. Die Bestimmung der Gesteinsdichten 188

II. Geologische Interpretation 191

A. Bestimmung des regionalen Gradienten 191

B. Die Fortsetzung der Lägern-Antiklinale gegen Osten 194

C. Weitere aus der Schwerekarte ableitbare geologische Erkenntnisse 196

D. Das Prinzip der «Molassekarte» 197

E. Konstruktion und Interpretation der «Quartärkarte» 199

F. Zusammenfassung der wichtigsten Resultate 200

III. Erfahrungen der Schweremessungen 1952 201

A. Allgemeines 201

B. Topographische Bestimmung der Stationen 201

C. Auswahl der Stationen nach geologischen Gesichtspunkten 202

D. Bemerkungen über die Stationsdichte 202

E. Probleme der Dichtebestimmung 202

F. Ausblick für die Aufnahme der anschliessenden Gebiete 203

IV. Absolute Schwerewerte und Tabellen der Messresultate 203

A. Absolute Schwerewerte 203

B. Bemerkungen zu den Tabellen der Messresultate 204

C. Tabellen der Messresultate 206

Summary 220

Literaturverzeichnis 221

VORWORT

Die vorliegende Arbeit wurde vom Herbst 1951 bis Sommer 1953 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. F. GASSMANN am Institut für Geophysik der ETH ausgeführt. Meinem verehrten Lehrer bin ich für das grosse Interesse, das er stets an dieser Arbeit nahm, sowie für zahlreiche Ratschläge und Anregungen zu grossem Dank verpflichtet. Als sich im Winter 1951/52 herausstellte, dass nur eine grossangelegte Vermessung zum Ziele führen konnte, war er es, der durch ein Kreditgesuch an den Jubiläumsfonds der ETH, das in der Folge auch bewilligt wurde, die Ausführung dieser Arbeit überhaupt ermöglichte. Für diese Unterstützung möchte ich ihm und auch der KOMMISSION DES JUBILÄUMSFONDS, die diesen Kredit wohlwollenderweise bewilligte, ganz besonders danken.

Herrn Prof. Dr. R. STAUB bin ich nicht allein für die Übernahme des Korreferates grossen Dank schuldig, sondern auch dafür, dass er mir in einer Aussprache Gelegenheit bot, die Arbeit mit ihm persönlich zu diskutieren.

Herr Prof. Dr. E. POLDINI überliess mir freundlicherweise für einige Tage sein Worden-Gravimeter. Dadurch war es mir möglich, den Skalenwert unseres Instrumentes zu kontrollieren. Ich möchte ihm für dieses Entgegenkommen bestens danken.

Herr Prof. Dr. H. SUTER stand mir mit Auskünften über die geologischen Verhältnisse des untersuchten Gebietes jederzeit bereitwilligst zu Verfügung. Ihm verdanke ich manche wertvolle Information.

Vom Mai bis September 1952 machte Herr K. ANTENEN, dipl. Phys., die Feldkampagne als zweiter Beobachter mit. Für seine Ausdauer bei der oft eintönigen und nicht immer angenehmen Arbeit bin ich ihm sehr dankbar.

Herr CH. ENZ, dipl. Phys., führte die Berechnung der neuen Nomogramme für die topographische Korrektion durch. Er entledigte sich seiner Aufgabe mit grossem Geschick, erwiesen sich doch seine Nomogramme als äusserst handlich im Gebrauch.

Bei den Herren FUCHS (Kant. Vermessungsamt Zürich) und BLOCH (Kant. Vermessungsamt Aarau) fand ich stets grösstes Entgegenkommen bei der Aufspürung der besonders schwer zu findenden Triangulationspunkte.

Meinem Studienkameraden N. PAVONI verdanke ich manche interessante Diskussion über die geologische Interpretation der vorliegenden Arbeit. Auch bei allen andern Kameraden vom Institut für Geophysik, vom Min.-Petr. Institut und vom Geol. Institut der ETH fand ich immer volle Unterstützung.

Frau M. MOECKLI half mir bei der langwierigen Ermittelung der topographischen Korrektionen, und Fräulein H. WIPF leistete mir wertvolle Hilfe beim Zusammenstellen der Tabellen.

Meinen lieben Eltern aber schulde ich den grössten Dank, dass sie mir dieses lange und schöne Studium überhaupt ermöglichten.

Zollikon, den 25. Juni 1953

Peter Gretener

EINLEITUNG

In den Jahren 1900—1918 beobachtete TH. NIETHAMMER (1921) im Auftrage der Schweizerischen Geodätischen Kommission die Schwere auf 231 Stationen in der ganzen Schweiz. Als Instrument stand ihm einer der damals gebräuchlichen Pendelapparate zur Verfügung. Diese Apparate lieferten eine Genauigkeit von ca. 1 Milligal (1 Milligal = 1 mgl = 10^{-3} Gal = 10^{-3} cm/sec^2). In Anbetracht der kleinen Stationsdichte von nur ca. 1 Station pro 180 km^2 und der grossen auftretenden Schweredifferenzen genügte diese Messgenauigkeit vollkommen. Auf Grund dieses Materials war die Schweizerische Geodätische Kommission 1921 in der Lage, die erste vollständige Schwerekarte der Schweiz zu publizieren (TH. NIETHAMMER, 1921).

Zufolge der oben genannten geringen Stationsdichte enthält die Karte keine Details, gibt aber sehr wertvolle Aufschlüsse über die gesamte Schwereverteilung in der Schweiz. So lässt sich auf ihr die grosse negative Schwereanomalie, verursacht durch das Massendefizit unter den Alpen, das seinerseits eine Folge der isostatischen Einsenkung darstellt, gut erkennen. Auch treten einige kräftige, kleinere Anomalien, so zum Beispiel bei Locarno, in Erscheinung. Dank dem Umstand, dass diese Karte das vom gravimetrischen Standpunkt aus äusserst interessante Gebiet der Alpen umfasst, fand sie auch im Ausland Beachtung und wurde insbesondere zur Abklärung von Fragen der Isostasie beigezogen.

Betrachtet man das schweizerische Mittelland auf der Karte von NIETHAMMER (1921), so stellt man fest, dass in diesem Gebiet ein sehr starker Gradient auftritt, der zudem über weite Strecken praktisch konstant ist, eine Erscheinung, die sich nicht durch das Massendefizit unter den Alpen allein erklären lässt. Wir werden später (Seite 191ff.) noch auf diese Frage zurückkommen.

Da seit der Aufnahme dieser Karte mehr als 40 Jahre vergangen sind, ist es selbstverständlich, dass diese in mancher Hinsicht den modernen Anforderungen nicht mehr genügt. Vor allem hat die Genauigkeit der Messapparate eine ganz gewaltige Steigerung erfahren. Mit einem modernen Gravimeter ist es ohne weiteres möglich, Schweremessungen auf wenige Hundertstel-Milligal genau auszuführen. Man muss dabei allerdings berücksichtigen, dass im Alpengebiet die topographische Korrektion (vgl. Seite 183–186) so grosse Beträge erreicht, dass ihre Unsicherheit die der reinen Messung bei weitem übersteigt. Immerhin ist zu bemerken, dass auch auf dem Gebiete der Korrektionen Fortschritte erzielt worden sind (NIETHAMMER, 1921, gibt für seine Stationen im Alpengebiet eine Unsicherheit bis zu 8 mgl an), so dass eine Neuaufnahme der gesamten Schweiz gerechtfertigt erscheint.

Bei einer solchen Neuaufnahme steht natürlich das schweizerische Mittelland im Vordergrund. Das Gelände ist daselbst für Schweremessungen relativ günstig, und zudem sind die geologischen Aufschlüsse infolge des wenig bewegten Reliefs und der starken Bewachsung verhältnismässig spärlich. So könnte die Gravimetrie in diesem Gebiet unter Umständen wertvolle Ergänzungen für die geologische Detailinterpretation liefern. Wie weit dies möglich sein würde, musste allerdings erst die Erfahrung zeigen.

Im Herbst 1949 war es dem Institut für Geophysik der ETH möglich, aus einem Kredit für Arbeitsbeschaffung ein Worden-Gravimeter zu erwerben. Damit stand eine erstklassige Ausrüstung für gravimetrische Aufnahmen zur Verfügung, gehört

doch das genannte Instrument zu den modernsten und genauesten dieser Art. Einige kleinere Feldarbeiten zeigten bald, dass die von der Herstellerin angegebene Messgenauigkeit von einigen Hunderstel-Milligal auch tatsächlich erreicht werden kann. Dieses vorteilhafte Resultat zeigte die Berechtigung, mit Hilfe dieses Instrumentes die Aussichten detaillierterer gravimetrischer Aufnahmen in der Schweiz abzuklären.

Auf Grund der vorhandenen geologischen Kenntnisse sowie der Schwerekarte von NIETHAMMER (1921) liess sich voraussagen, dass solche Schweremessungen in der Schweiz auf verschiedene Schwierigkeiten stossen. Der bereits genannte starke Gradient wird alle kleineren Anomalien beeinträchtigen, und seine einwandfreie Eliminierung bildet ein ernsthaftes Problem. Das für gravimetrische Begriffe zum Teil bereits recht bewegte Relief gestaltet die topographische Korrektur zum mindesten sehr mühevoll. Und last not least macht sich die Quartärbedeckung, welche jede geophysikalische und geologische Arbeit im Mittelland behindert – sofern sie nicht gerade das Studium dieser jüngsten Ablagerungen zum Ziele hat – störend bemerkbar.

Aus diesen Gründen schien es vorteilhaft, die Messungen in einem Gebiet zu beginnen, wo die geologische Situation eine klare Aufgabenstellung erlaubte. Als geeignetes Objekt wurde das bei Dielsdorf unter die Molasse tauchende Ostende der Lägern-Antiklinale ausgewählt. Da sich die jurassischen Schichten gegenüber den tertiären (Molasse) durch eine erhöhte Dichte auszeichnen, sollte es möglich sein, diese Antiklinale mit Hilfe von Schweremessungen weiter nach Osten zu verfolgen, sofern sie nicht sehr rasch ausflacht. Zu diesem Zwecke wurde im Herbst 1951 die unmittelbar östlich Dielsdorf gelegene Ebene gravimetrisch aufgenommen. Innerhalb von 4 Wochen konnte in einem Gebiet von ca. 10 km² die Schwere auf 62 Stationen bestimmt werden. Auf der «Bougerkarte I» (Tafel XII) ist das Gebiet an einer Häufung der Messpunkte deutlich erkennbar. Bei der Auswertung im folgenden Winter zeigte es sich aber sehr schnell, dass es völlig aussichtslos ist, eine solch kleinräumige Vermessung interpretieren zu wollen. Wegen der vielen oberflächennahen Störungen ist die Kenntnis der Schwere in einem viel grössern Gebiete erforderlich.

Dank den Bemühungen von Herrn Prof. Dr. F. GASSMANN gelang es noch im gleichen Winter, die Mittel für eine grössere Vermessung bereitzustellen. Es wurde beschlossen, die Lägern als Kernproblem beizubehalten, da sich diese isolierte Antiklinale für einen ersten Versuch doch besonders gut zu eignen schien. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache wurde das zu vermessende Gebiet wie folgt umgrenzt:

Zürich – Kloten – Embrach – Tössegg – Rhein – Zurzach – Döttingen – Aare – Brugg – Reuss – Niederwil – Urdorf – Zürich.

Es umfasst die folgenden Blätter des topographischen Atlasses der Schweiz 1:25000 (Siegfriedblätter) ganz oder teilweise: 22 Klingnau, 23 Zurzach, 26 Kaiserstuhl, 27 Eglisau, 36 Stilli, 37 Lengnau, 38 Brugg, 39 Baden, 40 Steinmaur, 41 Bülach, 42 Dielsdorf, 43 Kloten, 154 Lenzburg, 155 Rohrdorf, 158 Schlieren und 159 Schwamendingen.

Nach der Dichte lassen sich in diesem Gebiet die quartären, tertiären und jurassischen Ablagerungen voneinander unterscheiden. Das Quartär mit seinen spezifisch

leichten Materialien kommt vor allem als Störquelle in Frage. Ob sich auch die Quartärablagerungen gravimetrisch erfassen lassen, das heisst ob sie interpretierbare Schwereanomalien hervorrufen würden, musste die Erfahrung zeigen. Für die tertiären Ablagerungen wird im folgenden meist der Ausdruck Molasse verwendet, da die eozänen Siderolithbildungen für die Gravimetrie nicht von Bedeutung sind. Die jurassische Formation wird, sofern nur auf den Gesteinsinhalt Bezug genommen wird, im weiteren kurz als Kalk bezeichnet. Da dieses Gestein sehr wesentlichen Anteil nimmt am ganzen Aufbau der Formation, vor allem im Malm, dem obersten und damit für die Gravimetrie wichtigsten Teil, dürfte es in erster Linie dafür verantwortlich sein, dass die jurassische Formation gegenüber dem Quartär und Tertiär eine grössere Dichte aufweist. Was die tiefer liegenden Formationen anbelangt, so dürfte erst das Grundgebirge eine noch höhere Dichte aufweisen. Für die Trias kann man möglicherweise eine grössere Streuung der Dichtewerte annehmen; ihre mittlere Dichte dürfte sich aber von der des Juras nicht stark unterscheiden.

In dem oben umschriebenen Gebiet waren bereits vor der gravimetrischen Aufnahme die folgenden geologischen Strukturen bekannt:

1. Die Lägern-Antiklinale, die sich geologisch bis 2 km östlich Dielsdorf verfolgen lässt. (MÜHLBERG,1902; HEIM, 1919; SENFTLEBEN, 1923; NOTZ,1924.)
2. Die Neuenhofer-Antiklinale, geologisch bis in die Gegend östlich Würenlos bekannt. (OPPLIGER,1890; AMSLER, 1915; SENFTLEBEN, 1923.)
3. Die Endinger-Flexur, im Gebiete zwischen Endingen und Kaiserstuhl. (MÜHLBERG,1902; AMSLER, 1915; HEIM, 1919.) Ferner war bekannt, dass das Limmat- und Glattal zum Teil sehr mächtige Quartäraufüllungen enthalten.

Es war die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, die folgenden Fragen zu lösen:

1. Wie weit lassen sich die oben erwähnten geologischen Gegebenheiten im gravimetrischen Kartenbild erkennen; ist insbesondere eine Aussage über die Fortsetzung der Lägern-Antiklinale gegen Osten möglich?
2. Welche weiteren neuen Erkenntnisse über den geologischen Aufbau des Gebietes können anhand der Schwerekarte gewonnen werden?
3. Wie kann der regionale Gradient (generelle Schwerezunahme im Mittelland gegen NNW) befriedigend eliminiert werden?
4. Wie soll bei künftigen Schweremessungen im schweizerischen Mittelland vorgegangen werden? (Anlage des Stationsnetzes, evtl. unter besonderer Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse, der Topographie etc. Ferner, wie soll reduziert werden, und wie sind Dichtebestimmungen durchzuführen?)

Es sei schon hier auf die vier Karten der Tafel XII hingewiesen, die eine übersichtliche Zusammenfassung der Messresultate und ihrer Bearbeitung darstellen.

I. Die Schweremessungen und ihre Reduktion

A. Kurze Beschreibung des Gravimeters

Da die Eigenschaften des verwendeten Instrumentes in verschiedener Beziehung für die Messung von fundamentaler Bedeutung sind, ist es angebracht, hier kurz darauf einzugehen, um so mehr als bei diesen Präzisionsinstrumenten jedes einzelne Instrument als ein Individuum zu werten ist und Erfahrungen nur mit Vorsicht

auf andere Instrumente des gleichen Typs übertragen werden dürfen, was den Wert der bestehenden Literatur (MORELLI, 1951) einigermassen einschränkt.

Das Worden-Gravimeter wird von den Technical Laboratories in Houston, Texas, fabriziert. Es unterscheidet sich von den meisten andern Gravimetern durch sein ausserordentlich geringes Gewicht von nur 2,5 kg und entsprechend kleine Ausmasse, ein Umstand, dem bei den hiesigen Terrainverhältnissen grosse Bedeu-

Fig. 1. Das Worden-Gravimeter während der Messung auf einer Feldstation.

tung zukommt (Fig. 1). Die grosse Gewichtseinsparung gegenüber andern Marken rührt vor allem daher, dass dieses Instrument temperaturkompensiert gebaut und ausserdem in einem Dewargefäss installiert wurde, dafür aber auf einen Heizmantel mit Thermostat und den zur Speisung nötigen Akkumulatoren verzichtet wurde.

Das Instrument beruht auf dem Prinzip des astasierten Federpendels. Das ganze Gehänge ist aus Quarzglas gezogen, einerseits weil dieses Material am wenigsten zu sogenannten Sprüngen neigt, das heisst die plastische Verformung die bei andauernder Belastung eintritt, am regelmässigsten vor sich geht, und anderseits weil Quarz absolut unmagnetisch ist und damit keinerlei Störungen durch Magnetfelder zu befürchten sind. Für die Messungen wird das Instrument als Nullinstrument benützt, das heisst mit Hilfe von Federn, die durch Mikrometerschrauben betätigt werden können wird das Pendel jeweilen in die Nullage zurückgezogen. Zu diesem Zweck stehen zwei Mikrometerschrauben zur Verfügung, die eine mit einem Bereich von ca. 3000 mgl, die andere zur Feineinstellung mit einem Bereich von etwa 55 mgl. Die maximale Genauigkeit von wenigen Hundertstel-Milligal kann aber nur bei ausschliesslicher Verwendung des Feinbereiches erzielt werden. Bei geophysikalischen Messungen dient daher der Grobbereich lediglich zur Umstellung des Feinbereiches.

Die Messgenauigkeit hängt im wesentlichen von den folgenden drei Faktoren ab:

1. Vom reinen Ablesefehler. Dieser wird von den Technical Laboratories mit $\pm$ 0,01 mgl angegeben. Es wurde festgestellt, dass er tatsächlich auch unter ungünstigen Bedingungen im Feld $\pm$ 0,02 mgl nicht übersteigt.

2. Von der Richtigkeit des Skalenwertes. Die Fabrik gab ihn, nach der Revision des Instrumentes im Sommer 1951, mit 0,6908 mgl/Skalenteil an. YARAMANCI (1953) prüfte diesen Wert auf dem Neigungsbalken des Geodätischen Institutes der ETH und konnte ihn bestätigen. Wir begnügten uns aber nicht damit, dieses Resultat zu übernehmen, sondern führten selbst noch eine Kontrolle durch. Im Oktober 1952 massen wir erneut die bereits im April desselben Jahres bestimmten Schweredifferenzen verschiedener Basisstationen (vgl. Seite 180 ff.) gegenüber der Hauptbasis. Dadurch konnten wir uns von der Konstanz des Skalenwertes während der ganzen Messperiode überzeugen. Im Januar 1953 stand uns sodann das Worden-Gravimeter Nr. 40 des Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne für einige Tage zur Verfügung. Zuerst eichten wir dieses Instrument ebenfalls auf dem Neigungsbalken. Danach wurde die Basisstation B V durch mehrfache Messung an die Hauptbasis B I angeschlossen. Mit dem Worden-Gravimeter Nr.26 des Instituts für Geophysik hatte sich diese Schweredifferenz im Frühjahr und Herbst 1952 zu 27,42 $\pm$ 0,02 mgl ergeben. Die neue Messung lieferte den Wert 27,44 $\pm$ 0,01 mgl, womit die Richtigkeit des Skalenwertes unseres Instrumentes eindeutig belegt war.

3. Vom zeitlichen Gang des Instrumentes. Dieser setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen. Als erstes muss das sogenannte Kriechen erwähnt werden, worunter man folgende, bei allen Gravimetern auftretende Erscheinung versteht: Infolge der Belastung der Feder oder des Torsionsdrahtes (viele dieser Präzisionsinstrumente können nicht arretiert werden) ändert sich die Nullpunktslage ständig. Das Kriechen ist abhängig von der Art des Transportes; besonders machen sich starke Stösse in der Form sogenannter Sprünge bemerkbar. Auch ist die Temperatur von Einfluss. Ferner gehen die Variationen der Nullpunktslage in den zeitlichen Gang des Instrumentes ein, die trotz der Temperaturkompensation von Temperaturänderungen herrühren. Es ist klar, dass diesen Tatsachen bei der Messung irgendwie Rechnung getragen werden muss. Für die Eliminierung des zeitlichen Ganges des Instrumentes sind deshalb verschiedene Methoden ausgearbeitet worden. Im vorliegenden Fall wurde nach dem Schleifenverfahren gearbeitet, das heisst, es wurden von einer Basisstation B aus verschiedene Stationen A_1 angeschlossen und danach wieder eine Messung auf der Basis B zwischengeschaltet. Es wurde also zum Beispiel in der Reihenfolge B A_1 A_2 A_3 B gemessen. Für die zwischen den beiden Messungen auf B liegende Zeit wurde linear interpoliert. Durch dieses Verfahren werden zugleich auch die periodischen Variationen des Schwerefeldes, hervorgerufen durch den Einfluss von Sonne und Mond (max. Effekt ca. 0,1 mgl), eliminiert. Es liegt auf der Hand, dass die Messgenauigkeit sehr wesentlich davon abhängt, ob die Nullpunktsverschiebung in der Zwischenzeit tatsächlich linear erfolgt. Selbstverständlich darf man die Dauer einer Schleife nicht zu lang bemessen, da man sonst auf alle Fälle die periodischen Schwankungen des Schwerefeldes speziell berücksichtigen müsste. Als obere Grenze für die Messdauer einer Schleife wurde daher in der vorliegenden Arbeit die Zeit von zwei Stunden festgelegt, die

auch, abgesehen von einigen Ausnahmefällen (Lägern, Heitersberg), eingehalten werden konnte. Beim Worden-Gravimeter Nr. 26 war der zeitliche Gang während der Messperiode im Sommer 1952 recht lästig. Das Instrument war offenbar im Sommer 1951 nicht mit der nötigen Sorgfalt revidiert worden, denn die Nullpunktsverschiebung war ständig positiv und betrug im Mittel 0,1-0,2 mgl/h, oft aber auch mehr. Bereits im Winter 1952/53 musste das Instrument erneut zur Revision eingeschickt werden, da es aus dem Bereich herausgekrochen war. Bei Nachmessungen im Frühjahr 1953 zeigte es sich dann, dass dieser Übelstand nunmehr behoben ist, beträgt doch die Nullpunktsverschiebung nur noch einige Hundertstel-mgl/h. Trotzdem sich das Instrument also während der Feldmessperiode 1952 nicht im optimalen Zustand befand, betrug der mittlere Fehler des Mittels aus zwei Beobachtungen durchschnittlich nur $\pm$ 0,03 mgl. Schleifen, bei denen alle Punkte an guten Autostrassen lagen, zeichneten sich im allgemeinen durch eine erhöhte Genauigkeit aus, da in diesem Fall meist die Messdauer eine geringe war und auch das Instrument beim Transport vor stärkeren Stössen bewahrt blieb.

Nebst den drei genannten Faktoren gibt es aber auch noch Störungen, welche die Genauigkeit der Messungen nachteilig beeinflussen können. So ist das Instrument vor allem auf Bodenbewegungen empfindlich. In der Nähe von Ortschaften ist man oft gezwungen, auf Stationen zu messen, bei denen in der Umgebung laufende Maschinen eine ziemlich regelmässige Bodenunruhe hervorrufen. Dies äussert sich in einem leichten Zittern des auf ein Fadenkreuz einzuspielenden Lichtstrahles. Messungen auf solchen Stationen wiesen jedoch nie eine anomale Streuung auf. Schlimmer sind allerdings die unregelmässigen Bodenbewegungen. Bei stärkerem Wind kann zum Beispiel in Wäldern überhaupt nicht mehr gemessen werden, da dort die Energie durch die Bäume auf den Boden übertragen wird und ein Windschutz infolgedessen illusorisch ist. An mikroseismisch sehr stark gestörten Tagen (besonders im Herbst) müssen die Messungen unter Umständen ganz eingestellt werden.

Als interessantes Phänomen sei hier noch die Beobachtung eines Fernbebens mit dem Gravimeter erwähnt. Am 23. Juli 1952 wurde in der Schweiz ein starkes Fernbeben registriert, dessen Epizentrum in Kalifornien lag. Die Registrierung auf der Erdbebenwarte in Zürich dauerte von 13 h bis ca. 16 h. Während der gleichen Zeit wurde auf allen Gravimeterstationen eine sehr starke Unruhe beobachtet. Die grössten Amplituden traten um 14 h auf und betrugen ca. 2 mgl. Die Anregung durch die einzelnen Stösse war oft deutlich erkennbar, und es wurde auch sofort im Feldbuch der Vermerk «Erdbeben?» eingetragen, eine Vermutung, die sich also nachher bestätigte.

B. Anlage und Durchführung der Feldmessungen

Eine erste und wichtige Frage, die sich bei der Planung der Messungen stellte, war die nach der Stationsdichte und der Stationsverteilung.

Was die Stationsverteilung anbelangt, so wurde entschieden, das Stationsnetz möglichst regelmässig anzulegen, und zwar aus folgendem Grund: Die auszuführende Vermessung stellte eine erste Untersuchung dieser Art im schweizerischen Mittelland dar und es war daher wünschenswert, dass sie wenn immer möglich über alle

auftretenden Schwerestörungen Auskunft gebe. Die Vermessung war also keineswegs von vornherein nur auf eine bestimmte Struktur ausgerichtet.

Bei der Festlegung der Stationsdichte waren die folgenden Überlegungen massgebend. Einerseits sollte mit den vorhandenen Mitteln ein möglichst grosses Gebiet vermessen werden, da kleinere Vermessungen, wie die Detailarbeit im Herbst 1951 zeigte, wenig Aussicht auf Erfolg versprachen, anderseits war es aber nötig, die Dichte der Messpunkte in einem vernünftigen Verhältnis zur Ausdehnung der zu erwartenden Schwerestörungen zu halten. Bezüglich dieser Schwereanomalien konnten die folgenden Annahmen getroffen werden: Die durch Verbiegungen der Juraoberfläche hervorgerufenen Anomalien müssen infolge der Tiefe dieser Grenzfläche (abgesehen vom NW-Teil des Gebietes) Halbwertsbreiten von ca. 1 km aufweisen. Die Quartärstörungen liegen zwar ganz oberflächlich, jedoch weisen hier die störenden Massen meist horizontale Ausdehnungen in der Grössenordnung 1 km auf. Daraus ergab sich, dass eine Stationsdichte von etwas mehr als einer Station pro km^2 für alle Zwecke genügen sollte.

Da die Gravimetermessungen auf etwa $\pm$ 0,03 mgl genau ausgeführt werden konnten, war es nötig, dass für jede Meßstation die Meereshöhe auf 0,1 m und die Koordinaten auf 5 m genau bekannt waren. Bei der angegebenen Stationsdichte war es nun glücklicherweise möglich, auf die Triangulationspunkte der Eidgenössischen Landestopographie zu greifen. Nur in Ausnahmefällen wurden auch Polygonpunkte verwendet, da deren Aufspürung bereits viel zeitraubender ist. Eigene topographische Vermessungen konnten wegen Zeitmangel keine durchgeführt werden. Auch so beanspruchte das blosse Rekognoszieren der Triangulationspunkte ca. $^1/_3$ der gesamten Feldarbeitszeit. Auf die Rekognoszierung konnte jedoch nicht verzichtet werden, da die Punkte oft trotz Detailskizze nicht leicht zu finden waren, die Schweremessungen jedoch im Hinblick auf eine möglichst kurze Messdauer für die einzelne Schleife flüssig vonstatten gehen mussten.

Das Vorgehen für die Schweremessungen selbst wurde weitgehend durch die Eigenschaften des Instrumentes diktiert. Wegen der Nullpunktsverschiebung musste, wie bereits erwähnt, in Schleifen gemessen werden. Um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen, sollte ferner die Messdauer für eine Schleife im allgemeinen zwei Stunden nicht überschreiten. Damit war eine erste Einschränkung gegeben. Eine zweite ergab sich aus dem relativ kleinen Umfang des Feinbereiches von nur 55 mgl. Aus diesen beiden Tatsachen folgte ohne weiteres die Unterteilung des Stationsnetzes in ein Basis- und ein Detailnetz.

Das Basisnetz umfasst 9 Punkte, von denen die Punkte B II bis B IX (siehe Tabellen der Messresultate) direkt an den Hauptbasispunkt B I in der ETH (siehe Seite 204) angeschlossen wurden. Die Basispunkte befinden sich an den verkehrstechnisch günstigsten Stellen des Messgebietes, das heisst in der Nähe von Knotenpunkten grosser Hauptstrassen. Dies ermöglichte einerseits trotz der relativ grossen Distanzen einen einwandfreien Anschluss an die Hauptbasis, und anderseits konnte von jedem solchen Punkte aus die Detailvermessung mühelos nach allen Seiten vorgetrieben werden. Von den verkehrsreichen Hauptstrassen wurde jedoch immer mindestens 50 m Abstand eingehalten, da auf Basisstationen, wo oft 5–10mal pro Tag gemessen werden muss, Störungen durch den Verkehr besonders unangenehm sind. Bei der Auswahl der Basisstationen wurde auch darauf geachtet, dass die

Schweredifferenz gegenüber dem Hauptbasispunkt 55 mgl, den Feinbereich des Instrumentes, nicht überschritt. Dadurch war es möglich, die Basisstationen direkt, das heisst ohne Zwischenstationen, an die Hauptbasis anzuschliessen. Der mittlere Abstand (Luftlinie) der Basispunkte beträgt ca. 8 km. Auf der «Bouguerkarte I» (Tafel XII) sind diese Punkte besonders hervorgehoben.

Für den Anschluss an den Hauptbasispunkt wurden jeweilen 3–5 Basisstationen in einer Schleife zusammengefasst. Da zufolge der relativ grossen Distanzen die Messdauer für eine Schleife verhältnismässig lang war und zudem eine besonders hohe Genauigkeit erzielt werden sollte, war es nötig, jede dieser Schleifen 6mal zu messen. Der mittlere Fehler des Mittels aus diesen 6 Messungen beträgt im Durchschnitt $\pm$ 0,02 mgl.

Das Basisnetz diente als Grundlage für die Detailmessung. Von jedem Basispunkt aus wurden 70–150 Detailpunkte eingemessen. Im allgemeinen erwies es sich als vorteilhaft, zuerst während ein oder zwei Tagen 40–60 Triangulationspunkte zu rekoggnoszieren, und hernach die Schweremessungen auf diesen Punkten durchzuführen. Meist bildeten 4–6 Stationen eine Schleife. Jede dieser Schleifen wurde an zwei verschiedenen Tagen je einmal gemessen. Betrug die Differenz der beiden Messungen für eine Station mehr als 0,1 mgl, was gelegentlich vorkommen konnte, so wurde die betreffende Station ein drittes Mal angeschlossen. Der mittlere Fehler des Mittels zweier Detailmessungen betrug im Durchschnitt $\pm$ 0,03 mgl.

Für den Anschluss einiger besonders hoch gelegener Stationen (Lägern, Heitersberg) reichte der Spielraum des Feinbereiches nicht aus. In diesen Fällen war es nötig, sogenannte «Umsetzstationen» einzuschalten, das heisst auf einer solchen Zwischenstation wurde der Feinbereich mit Hilfe des grossen Bereiches neu eingestellt. Durch Ablesen des Feinbereiches vor und nach der Umstellung wurde die Ungenauigkeit des grossen Bereiches eliminiert. In der Tat zeigte es sich, dass diese Messungen nicht schlechter waren als die normalen.

Die Feldmessungen wurden mit einem Personenwagen ausgeführt. Für den Transport wurde das Instrument, um es möglichst vor allzuheftigen Stössen zu schützen, auf dem Polster des Rücksitzes festgebunden. Ein fester Einbau kam nicht in Frage, da bei weitem nicht alle Stationen mit dem Auto erreichbar waren. In den Schleifen, die längere Märsche erforderten, erwies sich das geringe Gewicht des Instrumentes als äusserst vorteilhaft. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass die Messdauer pro Schleife auch in den ungünstigsten Fällen (Lägern) nie über 3 Stunden stieg.

Auch die relativ einfachen gravimetrischen Aufnahmen können nicht von einem Mann allein durchgeführt werden, müssen doch neben dem Instrument, das sehr sorgfältig transportiert werden muss, noch Stativ, Feldstuhl und eventuell ein Schirm mitgenommen werden. Ferner ist das Instrument während der Messung vor Sonne, Wind und Regen zu schützen, was der Beobachter selbst nicht tun kann. Als zweiter Beobachter nahm daher Herr K. Antenen, dipl. Phys., an den Feldmessungen teil.

Insgesamt wurden vom April bis Oktober 1952 während 116 Feldtagen 780 Stationen gemessen. Da jede Station mindestens zweimal bestimmt wurde und ausserdem die jeweilige Basisstation mehrmals am Tage aufgesucht werden musste, beträgt die effektive Zahl der Messungen ca. 2000. Einige der Messpunkte, die bereits

jenseits der Reuss liegen, fanden bei der Auswertung keine Berücksichtigung mehr, da in jenem Gebiet die Vermessung wegen des ausserordentlich schlechten Wetters im Herbst 1952 unvollständig geblieben ist.

C. Reduktion der Messwerte nach Bouguer

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die gemessenen Schwerewerte erst in geeigneter Weise reduziert werden müssen, bevor an eine Interpretation geschritten werden kann. Um einen ersten Überblick zu erhalten, wurde eine Reduktion nach Bouguer vorgenommen. Die weitere Bearbeitung der Resultate musste sich aus der auf Grund der so reduzierten Werte gezeichneten Karte («Bouguerkarte I») Tafel XII ergeben.

Die Herstellung einer nach Bouguer reduzierten Schwerekarte erfordert die Anbringung der folgenden Korrektionen an den gemessenen Schwerewerten:

1. Topographische Korrektion T
2. Plattenkorrektion P
3. Freiluftkorrektion F
4. Breitenkorrektion B

Für die Durchführung der Reduktion geht man folgendermassen vor:

Als erstes wählt man ein Bezugsniveau. Dann wird der Einfluss der Masse zwischen der Erdoberfläche und dem Bezugsniveau ausgeschaltet. Diese Operation wird in zwei Schritten vorgenommen. In einer ersten Etappe wird mit Hilfe der topographischen Korrektion der Einfluss der Geländeunebenheiten eliminiert und in einer zweiten Etappe die Platte zwischen dem Bezugsniveau und der Horizontalebene durch die Station weggerechnet (Plattenkorrektion). Ferner wird mit den Korrektionen 3 und 4 der normale vertikale und horizontale Schweregradient eliminiert.

Im folgenden seien die einzelnen Korrektionen kurz beschrieben:

1. Die topographische Korrektion

Wie erwähnt, wird durch diese Korrektion der Einfluss der Geländeunebenheiten ausgeschaltet. Man denkt sich zu diesem Zweck die Täler bis auf das Niveau der Station aufgefüllt und die Berge auf das gleiche Niveau abgetragen. Beide Vorgänge wirken gleichsinnig auf die Schwere in einer Station S. Wird ein Tal aufgefüllt, so nimmt die Schwere in der Station S um einen positiven Betrag $\triangle$ T zu. Dasselbe geschieht, wie man sich leicht überlegen kann, wenn ein Berg abgetragen wird. Ist g'_S die in der Station S gemessene Schwere und T_S die für diese Station berechnete topographische Korrektion, dann ist $g'_S + T_S$ die Schwere, die in S gemessen würde, wenn das Terrain auf das Niveau der Station S ausgeebnet wäre.

Es ist einleuchtend, dass dieser Korrektion bei Schweremessungen in der Schweiz grosse Bedeutung zukommt, da selbst im Mittelland das Gelände ein ziemlich bewegtes Relief aufweist.

Für die praktische Ausführung dieser Korrektur bestehen bereits seit langer Zeit graphische Verfahren. Gut bekannt sind die Nomogramme von SCHLEUSENER (1940), die auf einem Prinzip beruhen, das bereits von HELMERT verwendet wurde. Nach diesem wird das Gelände auf der Karte in Kreisringsektoren eingeteilt. Zu diesem Zweck zeichnet man die Einteilung der Kreisringsektoren auf Pauspapier

und legt dieses so auf die Karte, dass sich das Zentrum des Netzes mit der Station deckt, für welche die topographische Korrektion bestimmt werden soll. Nun wird die mittlere Meereshöhe jedes einzelnen Sektors geschätzt und durch Differenzbildung mit der Meereshöhe der Station die wirksame Höhe für jeden Sektor ermittelt. Die Werte in Milligal, die zu den verschiedenen Sektoren gehören, sind in Funktion der wirksamen Sektorhöhe dargestellt. Das Verfahren bedeutet insofern eine Näherung, als in jedem Sektor die Geländeoberfläche ausgeebnet, das heisst, durch eine horizontale Oberfläche in mittlerer Höhe ersetzt gedacht wird.

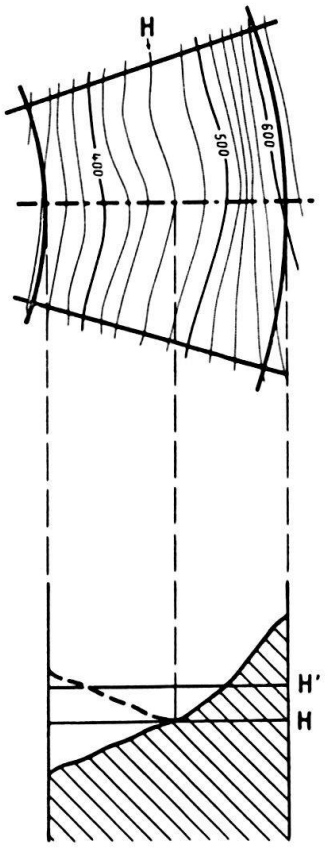


Fig. 2. Ermittlung der für die topographische Korrektion wirksamen Höhendifferenz bei einem Sektor mit positiven und negativen Höhendifferenzen gegenüber der Station, für welche die Korrektion bestimmt werden soll.

Die meisten Verfahren zur Berechnung dieser Korrektion beruhen auf derselben mathematischen Grundlage, nämlich der Einteilung des Geländes um die Station in Kreisringsektoren. Es sind jedoch auch andere Verfahren im Gebrauch. So hat zum Beispiel Baranov (1953) vor kurzem eine auf anderer Grundlage beruhende Methode publiziert. Genauigkeit und Arbeitsaufwand dürften aber überall ungefähr gleich sein.

Da in der Schweiz das Gelände für Schweremessungen besonders ungünstig ist, erwies es sich als notwendig, die Nomogramme von Schleusener (1940) in zweifacher Hinsicht zu modifizieren.

Die Änderungen wurden von mir vorgeschlagen und von Herrn Ch. Enz, dipl. Phys., berechnet. Als erstes musste die Ringeinteilung verfeinert werden, da die re-

lativ grobe Einteilung von SCHLEUSENER (1940) dem stark bewegten Gelände nicht gerecht zu werden vermochte. Ferner wurden die zugehörigen Diagramme so berechnet, dass sich die Korrektionen mühelos bis auf 0,0005 mgl hinunter ablesen lassen. Dies war notwendig, weil die Vernachlässigung der kleinen Höhendifferenzen einen systematischen Fehler ergibt, da sich ja, wie bereits erwähnt, Berge und Täler in ihrer Wirkung gegenseitig nicht aufheben. Diese Tatsache führt auch dazu, dass Sektoren, die gegenüber der Station sowohl positive wie negative Höhendifferenzen aufweisen, gesondert behandelt werden müssen. Würde man in Fig. 2 einfach die mittlere Meereshöhe des Sektors schätzen, und wäre diese beispielsweise gerade gleich der Stationshöhe H, so wäre der Beitrag des Sektors damit gleich Null. Man erhält die massgebende mittlere Höhe H′, indem man sich den einen Teil des Sektors an der Horizontalebene in der Höhe H gespiegelt denkt, wobei man sich die Höhenkurve H als Bach oder Berggrat vorstellt. Die wirksame Höhendifferenz beträgt demnach für den in Fig. 2 dargestellten Fall H′ – H. Dieser Kunstgriff hat jedoch nur dann eine Bedeutung, wenn die Neigung des Geländes sehr gross ist (Alpen, Jura).

Der zweite Punkt, dem wir unsere Aufmerksamkeit schenkten, betraf die Berücksichtigung des Geländes in der unmittelbaren Umgebung der Station, also je nach Kartenmaßstab einen Kreis von 10–100 m Radius. SCHLEUSENER (1940) führt seine Einteilung in Kreisringsektoren bis auf 2 m an die Station heran. Dies hat

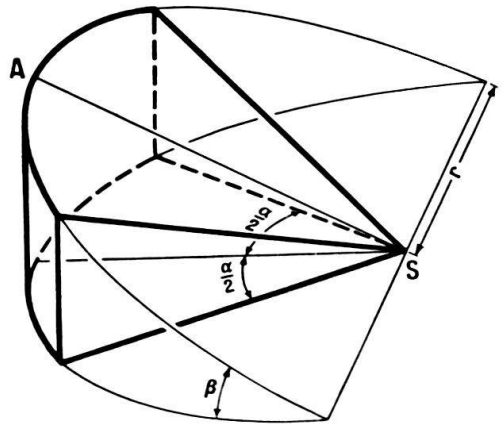


Fig. 3a. Zylinderhufsektor, wird anstelle der bisher üblichen Kreiszylindersektoren für die Berechnung der topographischen Korrektion von 0–10 m (100 m) benützt.

aber den Nachteil, dass man auf grossmaßstäbliche Detailpläne angewiesen ist. Wo solche nicht existieren, muss die nächste Umgebung vernachlässigt werden. Da in dem zu vermessenden Gebiet die Siegfriedkarte 1:25000 und Vergrösserungen dieser Blätter auf 1:10000 die einzige durchgehend vorhandene Kartengrundlage waren, musste diesem Übelstand unbedingt abgeholfen werden. Das Problem wurde auf folgende Art gelöst: Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung der Station wird in Zylinderhufsektoren wie in Fig. 3a eingeteilt. S ist die Station, in A wird die Höhe abgelesen, woraus sich der Winkel β ergibt. Für die praktische Bestimmung geht man so vor, dass man auf Pauspapier einen Kreis mit dem Radius r zeichnet. Auf dem Kreis markiert man die 8 Punkte A im Abstand von 45°. Dieses

Diagramm legt man so auf die Karte, dass sich die Station S, für welche die Korrektion bestimmt werden soll, wiederum im Zentrum befindet. In jedem der Punkte A liest man die Meereshöhe ab, subtrahiert davon die Stationshöhe und dividiert durch r, was direkt tgβ ergibt. In Fig. 3b sind die Werte für einen Sektor mit dem Öffnungswinkel 45° in Funktion von tgβ aufgetragen, und zwar in mgl/m, das heisst,

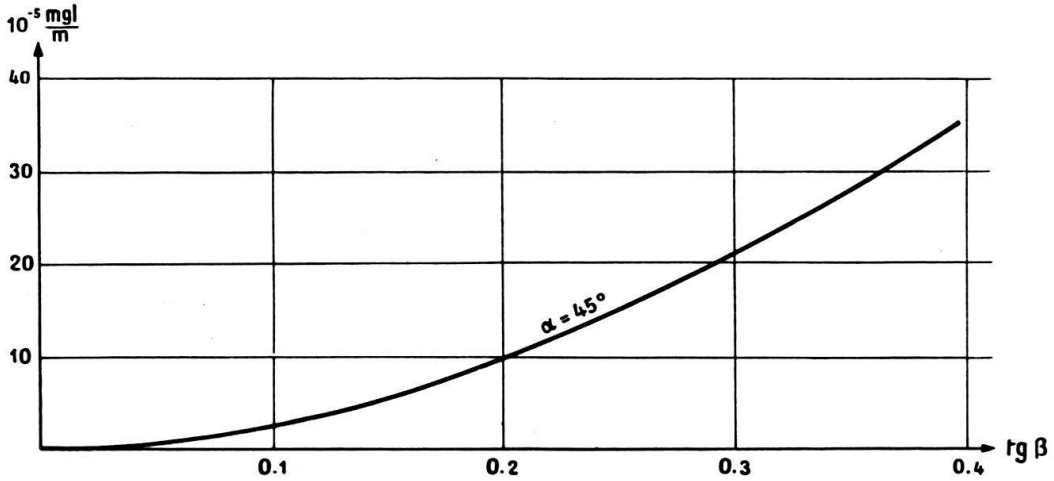


Fig. 3b. Beitrag eines Zylinderhufsektors mit dem Öffnungswinkel $\alpha = 45°$ in Funktion von tg β.

die abgelesenen Werte müssen noch mit dem Radius r multipliziert werden. Für r = 100 m und tgβ = 0,25 ergibt sich der Wert 0,015 mgl, wobei noch anzufügen ist, dass die Kurve für die Dichte 1,00 gr/cm³ des Sektors gilt. Die Kurve in Fig.3b beruht auf der folgenden Formel:

$$\triangle T = 2\, k_0\, r\, \varrho \left(\frac{\alpha}{2} - J \cos\beta\right); \quad \varrho = 1,$$

$$\text{wobei } J = \int_0^{\alpha/2} \frac{du}{\sqrt{1 - \sin^2\beta \sin^2 u}}, \quad k_0 = 6{,}67 \cdot 10^{-8}\, \frac{\text{cm}^3}{\text{g/sec}^2}\,.$$

Um die topographische Korrektion endgültig anbringen zu können, ist es noch nötig, die aus den Diagrammen erhaltenen Werte mit der Gesteinsdichte zu multiplizieren. Im vorliegenden Fall wurde die bereits früher von Yaramanci (1953) bestimmte Molassedichte von 2,40 g/cm³ eingesetzt.

Entsprechend den wechselnden topographischen Verhältnissen variiert der Betrag der topographischen Korrektion im untersuchten Gebiet sehr stark. Im allgemeinen liegt er unter einem Milligal, für sehr exponierte Stationen (Lägern) erreicht er jedoch bis zu 12 mgl. In den Normalfällen liegt der Fehler dieser Korrektion ebenfalls in der Grössenordnung von einigen Hundertstel-Milligal. Bei den Extremwerten übersteigt er 0,2 mgl nicht, wie aus Vergleichsbestimmungen hervorging. Eine eventuelle Kartenungenauigkeit ist in diesen Zahlen allerdings nicht inbegriffen.

2. Die Plattenkorrektion

Mit Hilfe dieser Korrektion wird der Einfluss der zwischen der Horizontalebene durch die Station und dem Bezugsniveau gelegenen Gesteinsplatte eliminiert. Die

Erdkrümmung wird dabei vernachlässigt und der Berechnung eine unendliche, planparallele Platte, im weiteren kurz Platte genannt, zugrunde gelegt.

Bevor diese Korrektion bestimmt werden kann, muss das Bezugsniveau festgelegt werden, ferner muss wiederum die Dichte der in Frage kommenden Gesteine bekannt sein. Für die «Bouguerkarte I» (Tafel XII) wurden alle Schwerewerte mit der Molassedichte 2,40 g/cm³ auf Meeresniveau reduziert. Die unter Meeresniveau gelegenen Störungen werden durch diese Reduktion auf alle Fälle nicht berührt. Bei diesen Störungen handelt es sich vor allem um die tiefliegende, durch die isostatische Einsenkung der Alpen bedingte negative Massenstörung, sowie die Störung, die durch das gegen den Schwarzwald aufsteigende Grundgebirge verursacht wird. Auch die gegen NNW ansteigende Juraformation ist im südlichen Teil des Arbeitsgebietes unter dem Meeresniveau zu suchen. Für die Schichten zwischen Meeresniveau und Erdoberfläche gilt folgendes: Ist eine Station bis auf Meeresniveau hinunter von Molasse unterlagert, dann wird sie bei der oben genannten Art der Reduktion nur dann eine anomale Schwere aufweisen, wenn sie sich im Bereich einer unter Meeresniveau liegenden Massenstörung befindet. Ist jedoch die Station auf Quartär gelegen, oder befindet sich die Juraoberfläche unterhalb dieser Station über Meeresniveau, dann wird diese Station eine zusätzliche Schwerestörung zeigen, da wir mit einer teilweise falschen Dichte reduzierten. Da es aber gerade diese Störungen sind, die wir im folgenden auswerten wollen, so ist dieses Verfahren nicht nur statthaft, sondern sogar das einzig richtige. Die Höhe des Bezugsniveaus ist in diesem Fall absolut nebensächlich. Das Meeresniveau wurde gewählt, weil dieses am ehesten eine Garantie zur Vermeidung von Rechenfehlern bei der Reduktion bietet. Auch wird es vermutlich als einheitliches Bezugsniveau für die weiteren in nächster Zeit zur Ausführung gelangenden Schweremessungen in der Schweiz dienen.

Die Formel für die Plattenkorrektion lautet:

$$P = 0{,}04196 \cdot \varrho \cdot H \text{ mgl.}$$

ϱ ist die Dichte in g/cm³, H ist die Höhendifferenz zwischen der zu reduzierenden Station und dem Bezugsniveau in Metern, in unserm Falle also die Meereshöhe der betreffenden Station.

3. Die Freiluftkorrektion

Durch diese Korrektion wird der normale vertikale Gradient eliminiert, das heisst die normale Zunahme der Schwere gegen den Erdmittelpunkt berücksichtigt.

Die Formel für die Freiluftkorrektion lautet:

$$F = 0{,}3086 \cdot H \cdot \text{mgl.}$$

4. Die Breitenkorrektion

Eine Karte der Bougueranomalien herstellen, heisst für jede Station die Differenz $g - \gamma_0$ bilden, wobei $g = g' + T - P + F$ die nach Bouguer auf Meeresniveau reduzierte Schwere und γ_0 die Normalschwere bedeuten. Die Normalschwere ist eine Funktion der geographischen Breite; Näheres siehe Seiten 203–205.

Für ein kleines Gebiet wie das bearbeitete kann man die Zunahme der Normalschwere gegen Norden als konstant annehmen. Sie beträgt im vorliegenden Fall

0,81 mgl/km. Die Breitenkorrektion wurde auf die X-Koordinate 250000 m (φ_0) bezogen. Die Formel für die Normalschwere lässt sich dann schreiben:

$$\gamma_0 = \gamma_1 + \triangle X \cdot 0{,}81 \text{ mgl}$$
$$B = \triangle X \cdot 0{,}81 \text{ mgl}$$

φ ist die geographische Breite der zu reduzierenden Station, γ_1 ist die Normalschwere für X = 250000 m (φ_0), $\triangle X = \varphi - \varphi_0$ ist die Differenz der geographischen Breite in Kilometer.

Die «Bouguerkarte I» (Tafel XII) enthält folgende Werte:

$$u_1 = g - B - 980752{,}00 \text{ mgl}$$

Die Konstante 980752,00 wurde so gewählt, dass möglichst kleine und ausschliesslich positive Werte in der «Bouguerkarte I» auftreten. u_1 unterscheidet sich von der Bougueranomalie $g - \gamma_0$ um eine Konstante, das heisst $u_1 = g - \gamma_0 + 80{,}77$ mgl.

D. Die Bestimmung der Gesteinsdichten

Sowohl für die Reduktion wie die Interpretation von Schweremessungen ist die genaue Kenntnis der auftretenden Gesteinsdichten von grosser Bedeutung. Ihre Bestimmung ist daher ein erstes und grundlegendes Problem, das sich bei jeder Vermessung dieser Art stellt.

Um jegliches Missverständnis auszuschliessen, sei hier noch bemerkt, dass unter Gesteinsdichte in der Gravimetrik stets die Bruttodichte der Gesteine im natürlichen Zustand zu verstehen ist.

Im vorliegenden Fall treten, wie bereits erwähnt, vor allem drei geologische Formationen auf, die sich voneinander durch verschiedene Dichte unterscheiden. In der Reihenfolge zunehmender Dichte sind dies:

1. Das Quartär, umfassend die jüngsten, am wenigsten verfestigten und damit spezifisch leichtesten Materialien. Diese Formation zeichnet sich durch starke Inhomogenität aus. Rasche Dichtewechsel in vertikaler und horizontaler Richtung sind besonders in den Talauffüllungen häufig. In der Gravimetrie kommen daher, sofern das Quartär überhaupt eine Mächtigkeit erreicht die eine Auswertung gestattet, nur Mittelwerte der Dichten in Frage. Für die Eliminierung des Quartärs als Störquelle ist die Kenntnis seiner Dichte glücklicherweise nicht notwendig (siehe Seiten 197–199).

2. Die Molasse, deren Dichte, soweit dies bis jetzt beurteilt werden kann, über grössere Distanzen ziemlich konstante Werte aufzuweisen scheint.

3. Die Juraformation, mit mächtigen Kalkbänken in ihren obersten Partien, dem Malm. Die Trias befindet sich beinahe überall im Untersuchungsgebiet in grösserer Tiefe, so dass deren eventuelle Dichteinhomogenität für die Interpretation kaum in Betracht fällt.

Zur Bestimmung der Gesteinsdichte stehen prinzipiell zwei Wege offen: einerseits die Messung an Gesteinsproben im Labor, anderseits die Ermittlung durch Schweremessungen im Feld.

Die erste Art der Bestimmung ist insofern unbefriedigend, als in der Gravimetrie nur grössere Gesteinskomplexe eine Rolle spielen, die durch eine Probe von bestenfalls einigen dm^3 nur schlecht repräsentiert werden. Ferner ist eine saubere

Probeentnahme ohne Störung des natürlichen Zustandes bei vielen Gesteinen – besonders bei Lockermaterialien – praktisch unmöglich. Die zweite Methode der direkten Bestimmung durch Schweremessungen im Feld ist daher wo immer möglich vorzuziehen. Labormessungen können selbstverständlich wertvolle Ergänzungen liefern.

Ein Verfahren zur Bestimmung der Gesteinsdichte mit Hilfe von Schweremessungen wurde 1939 von NETTLETON publiziert. Man geht dabei folgendermassen vor: Über eine Geländeerhebung wird ein gravimetrisches Profil gelegt. Die Messtwerte werden sodann nach Bouguer auf das Niveau der tiefsten Station reduziert und dabei in der topographischen und der Plattenkorrektion die Dichte solange variiert, bis zwischen dem topographischen Verlauf des Profiles und den reduzierten Schwerewerten keine Korrelation mehr besteht, das heisst, bis alle Punkte des Schwereprofils auf einer Geraden liegen. Die auf diese Weise ermittelte Dichte ϱ entspricht einem Mittelwert der Dichte der Gesteine, aus denen der Hügel besteht. Das Verfahren muss natürlich dann versagen, wenn das Profil in der Einflusszone einer Massenstörung liegt, oder wenn der betreffende Hügel starke Dichteinhomogenitäten aufweist. In diesem Falle gelingt es nicht, die Punkte des Schwereprofils so zu reduzieren, dass sie alle auf eine Gerade zu liegen kommen. Aus diesem Grunde ist es auch notwendig, dass vorgängig der Profilmessungen für Dichtebestimmungen eine Schwerekarte erstellt wird, um aus ihr die günstigen, das heisst ungestörten Stellen zu entnehmen.

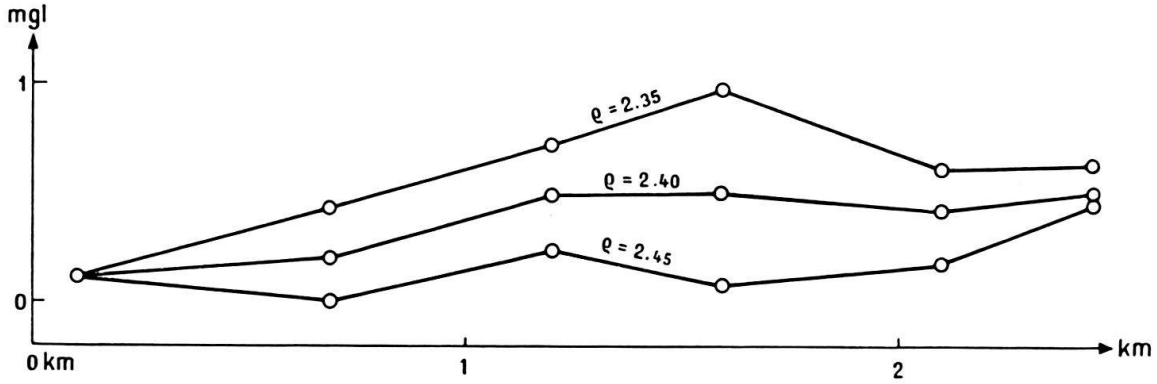


Fig. 4. Dichtebestimmung über den Altberg zwischen Limmat- und Furttal nach NETTLETON (1939). Resultat der Bestimmung: ϱ = 2,42 g/cm³.

Das Verfahren von NETTLETON (1939) wurde inzwischen von verschiedenen Autoren diskutiert und verbessert, so auch letztes Jahr von YARAMANCI (1953). Er konnte die Genauigkeit der Bestimmung wesentlich verbessern, indem er auch Tunnelstationen verwendete. Seine theoretischen Ergebnisse hat er am Dettenberg bei Bülach praktisch erprobt. Die von ihm aus Tunnel- und Oberflächenmessungen ermittelte Molassedichte beträgt 2,40 $\pm$ 0,02 g/cm³.

Um einen Anhaltspunkt über den Gültigkeitsbereich dieses Wertes zu haben, wurden im Messgebiet verschiedene Kontrollbestimmungen nach NETTLETON (1939) durchgeführt. Eines der Profile über den Altberg zwischen Limmat- und Furttal zeigt Fig. 4. Das Mittel aller Bestimmungen liegt ganz unwesentlich über 2,40 g/cm³ (ca. 2,43 g/cm³), so dass die von YARAMANCI (1953) auf Grund detaillierter Messungen ermittelte Dichte unbedenklich übernommen werden darf. Die Kontroll-

messungen weisen auch nicht auf eine systematische Änderung der Dichte nach irgendeiner Richtung innerhalb des bearbeiteten Gebietes. Die Frage einer eventuellen Dichtezunahme nach der Tiefe ist allerdings noch offen, da in dem bearbeiteten Gebiet die untere Süsswassermolasse nirgends für die gravimetrische Dichtebestimmung geeignete Hügel aufbaut. Nach den von NIETHAMMER (1916) publizierten Zusammenstellungen von Gesteinsdichten im Mittelland, und den in der Literatur angegebenen Werten für Mergel und Sandstein, ist eine solche Zunahme nicht sehr wahrscheinlich.

Bei der Ausführung der oben genannten Kontrollbestimmungen zeigte es sich, dass im schweizerischen Mittelland solche Bestimmungen auf verschiedene Hindernisse stossen. Es sind vor allem zwei Tatsachen, die sich dabei besonders unangenehm bemerkbar machen. Einerseits ist es schwierig, überhaupt Erhebungen mit genügender Höhendifferenz (ca. 50 m) zu finden, die keine oder doch nur geringe Quartärbedeckung aufweisen, und anderseits kommen die Endstationen der Profile meist schon in den Einflussbereich der diluvialen und alluvialen Talauffüllungen zu liegen. Ersteres äussert sich in einer relativ starken Streuung der reduzierten Punkte um die angestrebte Gerade, während letzteres dazu führt, dass die bestimmte Dichte zu hoch ausfällt.

Die Dichtebestimmung für den Kalk gestaltete sich noch unvergleichlich schwieriger. An einer einzigen Stelle, zwischen Döttingen und Zurzach, war es möglich, die Kalkdichte nach dem geschilderten Verfahren zu bestimmen. Es ergab sich dabei ein Wert von 2,60 $\pm$ 0,05 g/cm^3. Diese einzige Bestimmung konnte selbstverständlich nicht genügen, und so wurden zwischen Baden und Dielsdorf mehrere Profile über die Lägern gelegt. Der mesozoische Störkörper der Lägern-Antiklinale konnte aus den Profilen von SENFTLEBEN (1923) und NOTZ (1924) einigermassen konstruiert werden. Mit Hilfe der Auszähldiagramme für zweidimensionale Massenstörungen (GASSMANN, 1950) konnte die Wirkung für jeden Punkt der verschiedenen Profile bestimmt werden. Durch Variation der Dichtedifferenz Kalk-Molasse und durch Anpassung der Form des Störkörpers, der durch die geologischen Profile nur grosso modo gegeben ist (zum Beispiel besteht eine Differenz zwischen dem Profil von NOTZ (1924) und der von LETSCH (1899) genannten Bohrung in den «Langhagwiesen» südwestlich Schöfflisdorf), gelang es, alle Profile befriedigend zu reduzieren. Die Dichtedifferenz Kalk-Molasse ergab sich dabei zu 0,20 $\pm$ 0,05 g/cm^3, was für den Kalk wiederum die Dichte 2,60 $\pm$ 0,05 g/cm^3 ergibt. Bereits früher war im Laufe einer Diplomarbeit (Institut für Geophysik ETH 1950) von FÜLSCHER an der Lägern eine Dichtebestimmung durchgeführt worden. Die damals bestimmte Dichtedifferenz zwischen Kalk und Molasse betrug 0,4 g/cm^3. Da er aber den Störkörper der Lägern nur bis auf das Niveau 400 m berücksichtigte, ist es nicht erstaunlich, dass er eine zu grosse Dichtedifferenz erhielt.

Der neue Wert für Kalk 2,60 g/cm^3 stimmt auch gut überein mit dem von NIETHAMMER (1911) angegebenen Wert von 2,61 g/cm^3 für Lägernkalk.

Die Dichte des Quartärs wurde nicht bestimmt. Eine Bestimmung an Proben kommt aus naheliegenden Gründen nicht in Frage, und eine Bestimmung nach NETTLETON (1939) wäre nur möglich, sofern in einem genügend stark aufgefüllten Tal (mind. ca. 50 m) die Grenzfläche Quartär-Molasse durch seismische oder geo-

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-

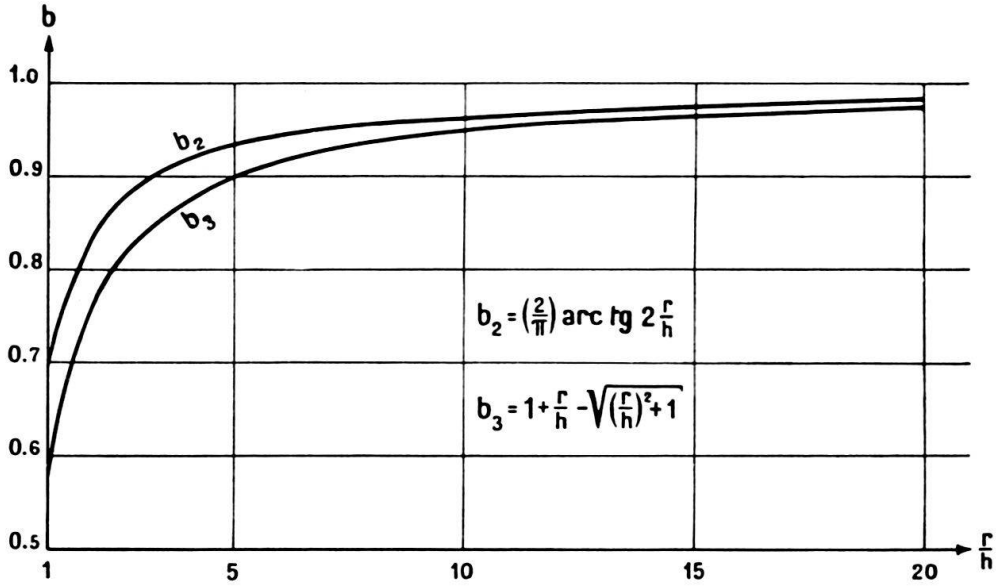


Fig. 5. Darstellung der Faktoren b_2 und b_3 in Funktion von r/h.

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

Teil dieser Punkte für gravimetrische Zwecke recht ungünstig liegt. Der Topograph bevorzugt naturgemäss für diese Punkte Orte mit guten Sichtverhältnissen, wie Bahndämme, Böschungskanten etc. Gerade diese Orte sind aber wegen des grossen Betrages der topographischen Korrektion als gravimetrische Stationen schlecht geeignet. Es ist deshalb empfehlenswert, diese Punkte in Zukunft durch Ausweichen auf Polygonpunkte oder durch eigene Bestimmung von Hilfspunkten zu umgehen. Dabei wird aber der Arbeitsaufwand für die topographische Vermessung sofort stark ansteigen, und diese bald mehr Zeit beanspruchen als die eigentliche gravimetrische Aufnahme. Ein Teil des Arbeitsaufwandes wird sich dadurch kompensieren lassen, dass man gewisse Stationen in die unmittelbare Nähe von Strassen legt, so dass bei der Schweremessung bis an die Station herangefahren werden kann.

C. Auswahl der Stationen nach geologischen Gesichtspunkten

Ein weiterer Punkt, dem bei zukünftigen Messungen grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden muss, ist die Auswahl der Stationen nach geologischen Überlegungen. Aus den Ausführungen auf Seite 197–199 geht deutlich hervor, dass das Zeichnen einer «Molassekarte»(Tafel XII) in vielen Fällen – besonders, wenn einmal ein grösseres zusammenhängendes Gebiet vermessen ist – sehr zu empfehlen ist. Um für eine solche Karte noch eine genügende Punktdichte zu erreichen, ist es aber notwendig, alle Orte, an denen die Molasse ansteht, sorgfältig auszunützen. Da ausserdem auch Meßstationen verwendet werden müssen, die nicht unmittelbar auf Molasse liegen, bei denen aber die Gewissheit besteht, dass die quartäre Unterlage sehr wenig mächtig ist, wird es oft vorteilhaft sein, wenn gewisse geologische Feldbegehungen parallel den Schweremessungen gemacht werden, besonders in Gebieten, wo moderne geologische Karten fehlen.

Dieses Problem wird besonders akut werden in Gegenden mit sehr starker quartärer Bedeckung, wie zum Beispiel in der Fortsetzung des untertauchenden Kestenberges im Gebiet von Mellingen.

D. Bemerkungen über die Stationsdichte

Die Stationsdichte von ca. 1,5 Stationen pro km^2 hat sich generell bewährt. Solange nicht bewusst auf die Erfassung gewisser Störungen verzichtet wird, darf sie nicht unterschritten werden. Anderseits führt eine weitere Steigerung zu einer noch grösseren Beunruhigung der Kurven (dies zeigt die Detailvermessung), die aber insofern unerwünscht ist, als viele dieser kleinsten Details nicht interpretiert werden können (bei sehr grosser Stationsdichte sind sie ohnehin nur noch eine Folge der Mess- und Korrektionsungenauigkeiten) und so nur dazu beitragen, das Bild der tiefer liegenden, interessierenden Störungen zu verwischen.

E. Probleme der Dichtebestimmung

Bezüglich der Dichtebestimmung hat es sich gezeigt, dass das vorliegende Netz eine für diesen Zweck ungenügende Punktdichte aufweist. Für Dichtebestimmungen nach NETTLETON (1939) oder YARAMANCI (1953) sind unbedingt Spezialmessungen nötig. Es wird in Zukunft von Vorteil sein, die Dichtebestimmung überhaupt gänzlich von der allgemeinen gravimetrischen Aufnahme des schweizerischen Mittellandes zu trennen und diese Arbeit, die recht heikel ist und einigen Aufwand erfordert, auf gesonderter Basis durchzuführen. Dabei darf nicht unerwähnt bleiben,

dass die Dichtebestimmung selbstverständlich der allgemeinen Vermessung nachfolgen muss, da durch diese erst die gravimetrisch ungestörten Gebiete – wo solche Bestimmungen allein möglich sind – ermittelt werden.

Für Dichtebestimmungen nach NETTLETON (1939) dürften Profile mit ca. 6 Punkten, gemessen über Molasse- bzw. Kalkberge mit hinreichender Höhendifferenz (ca. 50 m), genügen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Profilpunkte durch spezielle topographische Vermessungen genau in eine Linie gelegt werden, da sich sonst der starke regionale Gradient störend bemerkbar macht. Ferner dürfen die tiefstgelegenen Punkte nicht in die Einflusszone der quartären Talauffüllungen geraten, und selbstverständlich darf der in Frage kommende Berg keine oder nur ganz unbedeutende Quartärbedeckung aufweisen.

Für die Molasse und die jurassischen Gesteine können Labormessungen an Proben wertvolle Ergänzungen bedeuten, besonders da auch die gravimetrische Dichtebestimmung, wie aus dem oben Erwähnten hervorgeht, selten mit idealen Verhältnissen rechnen kann.

F. Ausblick für die Aufnahme der anschliessenden Gebiete

Was die weitere Ausdehnung der Messungen anbelangt, so hat diese vor allem nach Osten, Süden und Westen zu erfolgen. Im Osten ist die Frage abzuklären, wie weit sich die Lägern- bzw. Irchel-Antiklinale über die Töss hinaus verfolgen lässt. Im Süden erscheint die Fortsetzung der « Quartärkarte » besonders interessant. Durch eine Weiterführung der Messungen nach Westen wäre die Frage zu entscheiden, ob das Abbiegen der Kurven in der «Molassekarte», im Raume südöstlich Baden, mit der Neuenhofer- oder eventuell Kestenberg-Antiklinale im Zusammenhang steht. Eine Ausdehnung der Messungen auf der gegenwärtigen Basis nach Norden, in den Jura, scheint wenig aussichtsreich. Jedenfalls sind dort erhebliche Schwierigkeiten zu erwarten, insbesondere erreicht auch die topographische Korrektion sehr hohe Beträge.

Der Anschluss an den Jurarand aber hat sich gerade im Falle der Lägern sehr gut bewährt. Die Idee, sich von diesem Rande aus gegen das Molassebecken vorzutasten, ist um so mehr zu befürworten, als die flachen Anomalien, hervorgerufen durch die Verbiegungen in der Grenzfläche Jura–Molasse, durch die oberflächennahen Störungen meist stark verwischt werden.

Was die Feldmesstechnik anbelangt, so muss diese von Fall zu Fall den Gegebenheiten angepasst werden. Gegen Süden, das heisst sobald man den Jurarand endgültig hinter sich hat, ist insofern eine Erleichterung der Feldarbeit zu erwarten, als dort praktisch alle Stationen mit dem Auto erreichbar sind.

IV. Absolute Schwerewerte und Tabellen der Messresultate

A. Absolute Schwerewerte

Für die geologisch-geophysikalische Interpretation ist die Kenntnis der Absolutwerte nicht unbedingt notwendig. Um die gemessenen Werte einer möglichst vielseitigen Verwendung – besonders auch im geodätischen Sinne – zugänglich zu machen, ist es jedoch angezeigt, wo immer möglich das ganze Netz an Punkte anzuschliessen, deren absolute Schwere bekannt ist.

Im vorliegenden Fall war es gegeben, die Werte der Messpunkte auf die Referenzstation in der Eidgenössischen Sternwarte in Zürich zu beziehen. Die Schwere an dieser Station, bezogen auf Potsdam international ausgeglichen (981 261,3 mgl), beträgt 980 653,3 mgl. Die Genauigkeit wird mit ca. ± 1 mgl angegeben (vgl. NIETHAMMER, 1910–1921).

Der Hauptbasispunkt B I (siehe Seite 181) liegt im Hauptgebäude der ETH neben dem Zimmer 19c. Er hat die Koordinaten X = 247 813, Y = 683 760 und die Höhe 460,8 m. Die Schweredifferenz zwischen dem Hauptbasispunkt B I und der Referenzstation in der Eidgenössischen Sternwarte wurde im Dezember 1952 mit dem Worden-Gravimeter Nr. 26 durch mehrfache Messungen zu – 0,31 ± 0,03 mgl bestimmt. Im Januar 1953 wurde diese Schweredifferenz mit dem Worden-Gravimeter Nr. 40 wiederum gemessen, mit dem Ergebnis: Schwere B I minus Sternwarte gleich – 0,28 ± 0,02 mgl. Auf Grund der Ergebnisse dieser beiden Meßserien wurde die absolute Schwere auf dem Hauptbasispunkt B I zu

980 653 mgl

angenommen.

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass heute die Schweremessungen in der Schweiz nicht mehr an die NIETHAMMER'schen Referenzstationen, sondern an den neuen Fundamentalpunkt des schweizerischen Schwerenetzes im Geodätischen Institut der ETH angeschlossen werden. Anlässlich der oben erwähnten Messungen wurde auch die Schweredifferenz Eidgenössische Sternwarte–Fundamentalpunkt Geodätisches Institut ETH ein erstes Mal im Dezember 1952 mit dem Worden-Gravimeter Nr. 26 gemessen. Hauptsächlich um diese Messung zu sichern, wiederholte man die ganze Bestimmung im Januar 1953 mit dem Worden-Gravimeter Nr. 40. Die Schweredifferenz Fundamentalstation im Geodätischen Institut minus Hauptbasispunkt B I beträgt 2,77 ± 0,05 mgl.

B. Bemerkungen zu den Tabellen der Messresultate

Für die Berechnung der Normalschwere wurde folgende Formel benützt:

$$\gamma_0 = 978036{,}3\,(1 + 0{,}0052884\,\sin^2\varphi - 0{,}0000059\,\sin^2 2\varphi)$$

Der erste Faktor dieser Formel entspricht nicht mehr dem der internationalen Schwereformel von 1930, da in neuester Zeit von verschiedener Seite darauf aufmerksam gemacht wurde, dass der Absolutwert für Potsdam zu hoch sein muss. BERROTH (1949) hat die Korrektion zu – 12,7 mgl bestimmt. Der neue Wert Potsdam international ausgeglichen beträgt danach 981 261,3 ± 1,0 mgl gegenüber dem früheren Wert von 981 274 ± 3 mgl. Behält man den alten Wert für Potsdam bei, so hat man als ersten Faktor in der Formel der Normalschwere den Wert 978 049 einzusetzen. Für die Bougueranomalien in dem untersuchten Gebiet spielt es keine Rolle, ob man die alten oder die neuen Werte benützt, da sie praktisch nicht verändert werden. Für die Station X = 258 225, Y = 665 420, H = 348,5 m (Baden) ergeben sich zum Beispiel folgende Werte:

Bougueranomalie nach neuen Werten: – 56,92 mgl
Bougueranomalie nach alten Werten: – 56,96 mgl

Die in den Tabellen gegebenen Bougueranomalien sind um ca. 20 mgl grösser als die von NIETHAMMER (1921) in seiner Schwerekarte angeführten. Dies ist darauf

zurückzuführen, dass er mit einem Absolutwert von 980675 mgl für Zürich rechnete, während der neue Wert 980653,3 mgl beträgt. Die Differenz wird einerseits erklärt durch die Herabsetzung des Potsdamer Wertes, anderseits dadurch, dass der Wert für Karlsruhe, über welche Station sowohl Basel wie Zürich an Potsdam angeschlossen wurden, zu hoch war.

Die von NIETHAMMER (1921) benützte Formel der Normalschwere

$$\gamma_0\,(1901) = 978030\,(1 + 0{,}005302\,\sin^2\varphi - 0{,}000007\,\sin^2 2\varphi)$$

liefert für die in Frage kommende Breite praktisch die gleichen Werte wie die neueste Formel dieser Art. Die X-Koordinate 250000 m entspricht im Raume westlich von Zürich der geographischen Breite 47°23′48″. Die Abweichung innerhalb des Untersuchungsgebietes kann vernachlässigt werden.

Für diese Breite ergibt sich folgende Normalschwere:

Nach neuester Formel (1930 modifiziert) : 980832,77 mgl
Nach Formel 1901 (von NIETHAMMER benützt) : 980832,58 mgl

Diese Differenz liegt weit innerhalb der Streuung, die dadurch verursacht wird, dass die NIETHAMMER- und die neuen Werte mit verschiedenen Dichten reduziert wurden. NIETHAMMER (1921) reduzierte seine Werte einmal mit der konstanten Dichte 2,70 g/cm³ und einmal mit einer variierenden, den vorkommenden Gesteinen angepassten Dichte. Nimmt man die ersten Werte, die ja für einen Vergleich mit den neuen Messungen einzig in Frage kommen, so ergibt sich für eine Meereshöhe von 400 m allein aus der Verschiedenheit der zur Reduktion benützten Dichten eine Differenz von rund 5 mgl.

NIETHAMMER (1921) gibt für Baden (die einzige Niethammerstation in dem vermessenen Gebiet) eine Bougueranomalie von – 39 mgl an. Um auf den neuen Wert zu kommen, ist einerseits diese Zahl entsprechend der Herabsetzung des Zürcher Absolutwertes um 21,7 mgl zu vergrössern, anderseits jedoch in Berücksichtigung der verschiedenen zur Reduktion verwendeten Dichten um 4,5 mgl zu verkleinern. Man erhält so:

NIETHAMMER (1921) korrigiert: 56,2 mgl
Messungen 1952 : 56,9 mgl

Bedenkt man, dass die Meßstationen nicht absolut identisch sind, und ferner, dass NIETHAMMER überhaupt nur mit einer Genauigkeit von ca. ± 1 mgl messen konnte, so muss die Übereinstimmung als sehr gut bezeichnet werden.

Durch die obigen Ausführungen ist die Verbindung zwischen den in der letzten Kolonne der Tabellen (γ_0 – g) enthaltenen Bougueranomalien der neuen Vermessung und den von NIETHAMMER (1921) angegebenen hergestellt. Es sei noch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die letzte Kolonne die Werte γ_0 – g, also die Bougueranomalien mit umgekehrtem Vorzeichen, enthält. Die Kolonnen X und Y geben die Koordinaten der Stationen in Metern, auf 5 m auf- oder abgerundet. B II, B III usw. sind die Basisstationen. Die Kolonne H enthält die Meereshöhen der Stationen (R.P.N. 373,60 m ü. M.) auf Dezimeter genau. Dabei wurde immer die wirkliche Messhöhe angegeben, die gelegentlich um einige Dezimeter von der des betreffenden Triangulationspunktes abweichen kann.

In der Kolonne T sind die topographischen Korrektionen, berechnet für die Dichte 2,40 g/cm³, aufgeführt. Die Kolonne g′ enthält die auf den Stationen gemessenen absoluten Schwerewerte.

C. Tabellen der Messresultate

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
247 685	677 430	611,6	980 625,37	1,55	76,71
48 050	67 330	376,6	682,24	1,32	69,26
48 070	77 025	585,4	632,07	1,18	76,14
48 085	70 560	653,5	623,98	1,46	69,79
48 125	75 590	513,9	648,78	0,52	75,01
48 135	69 625	690,8	616,25	2,43	68,82
48 145	81 000	410,4	664,59	0,17	81,11
48 195	71 990	499,3	654,35	0,96	72,10
48 195	79 995	412,7	665,67	0,24	79,52
48 295	65 305	377,7	683,70	0,30	68,79
48 335	68 055	502,9	656,91	1,12	68,74
48 340	64 385	413,3	679,40	0,37	65,64
48 365	78 125	464,4	656,87	0,59	77,35
48 375	74 300	416,1	670,00	0,42	74,44
48 405	68 640	596,0	637,38	1,69	68,38
48 415	78 915	414,8	666,42	0,31	78,44
48 420	75 075	493,8	653,63	0,56	75,01
48 490	71 560	542,0	646,98	1,25	70,53
48 510	73 755	435,1	666,72	0,73	73,57
48 570	66 365	374,9	684,70	0,64	68,07
48 685	69 800	781,8	595,82	5,43	67,86
48 705	67 495	458,8	666,99	1,13	68,12
48 765	72 125	431,7	669,53	0,90	71,50
48 915	77 820	445,6	662,06	0,38	76,72
48 915	78 650	410,9	668,54	0,30	77,54
48 960	64 655	380,8	686,23	0,33	66,13
48 965	71 120	594,2	636,42	1,93	69,93
49 030	68 790	639,1	629,58	1,79	67,61
49 050	80 160	401,3	668,33	0,19	79,97
49 110	74 050	408,4	673,12	0,34	73,60
49 150	74 940	444,0	665,19	0,43	74,06
49 305	80 995	401,1	667,34	0,24	81,16
49 325	64 170	409,5	681,79	0,51	64,70
49 340	70 205	680,1	619,37	2,87	68,46
49 445	76 785	462,2	660,69	0,33	75,12
49 450	73 355	451,9	665,88	0,50	71,91
49 460	66 850	426,8	675,50	0,58	67,43
49 560	67 935	563,5	646,74	1,53	66,88
49 635	77 760	450,2	662,06	0,64	76,08
49 690	65 495	371,1	687,63	0,50	67,16
49 695	79 720	398,3	669,60	0,29	79,74
49 730	73 855	402,6	675,75	0,28	72,74
49 745	69 515	769,6	600,09	4,63	67,69
49 755	68 785	687,9	620,22	2,45	66,75
49 790	74 765	413,1	672,31	0,23	74,06
49 815	74 290	378,5	688,63	0,35	64,87
49 835	71 760	457,3	666,86	0,70	69,92
49 980	76 020	396,6	675,11	0,34	74,77
50 000	73 170	405,9	676,02	0,43	71,85
50 020	70 635	592,1	639,44	1,99	68,10
50 030	78 700	396,8	671,47	0,23	78,52
50 055	65 995	433,6	674,85	0,90	66,83
50 175	75 090	389,8	676,99	0,27	74,53

	X	Y	H	g'	T	γ_0-g
	250 190	66 940	427,0	980 677,30	1,10	65,67
	50 270	80 965	511,8	648,39	1,45	76,64
	50 320	677 900	395,4	672,84	0,24	77,67
	50 360	67 550	556,9	649,98	1,32	65,87
	50 365	72 340	410,4	676,51	0,55	70,60
	50 405	74 675	387,9	678,31	0,27	73,80
	50 420	79 775	408,2	670,58	0,61	76,97
	50 435	64 055	378,2	689,84	0,41	64,17
	50 450	73 670	387,6	679,28	0,31	72,88
	50 505	71 330	465,6	666,62	0,85	68,82
	50 520	76 250	391,4	676,25	0,25	75,24
	50 545	70 095	615,1	635,83	1,97	67,41
	50 655	69 395	721,1	612,73	3,48	67,03
	50 655	72 655	392,3	680,32	0,35	70,99
	50 660	80 855	551,1	641,64	1,34	75,64
	50 705	75 220	389,7	678,39	0,20	73,65
	50 760	64 985	399,1	685,01	0,35	64,98
	50 770	68 570	697,1	620,49	2,18	65,65
	50 830	67 140	544,5	653,64	1,46	65,03
	50 915	65 740	401,5	684,09	0,38	65,49
	50 925	76 960	393,4	676,50	0,26	74,89
	50 985	78 495	426,4	669,21	0,54	75,09
	51 010	68 115	653,4	630,76	1,74	65,12
	51 040	64 250	376,1	691,23	0,29	63,82
	51 040	72 360	390,9	681,55	0,33	70,38
	51 110	80 235	526,5	648,64	0,62	74,85
	51 195	70 460	432,7	674,50	1,68	67,52
	51 320	76 155	392,4	678,82	0,24	73,12
	51 385	81 930	503,6	652,97	0,50	75,62
	51 385	66 255	435,8	677,97	0,76	64,47
	51 400	74 630	407,6	677,51	0,15	71,42
	51 415	67 840	644,3	633,58	1,69	64,57
	51 425	79 435	518,0	651,61	0,60	73,91
	51 425	69 450	621,0	636,39	2,19	66,11
	51 500	73 350	385,1	686,87	0,34	70,09
	51 535	68 740	657,9	630,08	2,25	64,77
	51 545	77 460	429,1	670,96	0,33	73,37
	51 560	80 800	527,5	649,24	0,41	74,61
	51 570	75 600	418,1	674,59	0,22	72,22
	51 595	65 725	428,0	680,14	0,47	64,38
	51 665	71 390	393,3	683,53	0,50	68,24
B IX	51 700	66 650	518,5	661,43	1,08	63,74
	51 780	76 695	426,2	672,48	0,53	72,51
	51 780	70 085	441,5	674,08	1,70	66,55
	51 945	72 310	385,9	684,44	0,28	69,31
	51 965	64 415	412,9	685,01	0,46	62,97
	51 995	80 590	509,9	654,10	0,29	73,89
	52 035	67 070	582,0	648,44	1,20	63,67
	52 105	74 655	404,6	679,90	0,26	70,11
	52 135	70 755	403,5	682,87	0,29	67,15
	52 140	69 705	461,0	671,26	0,46	65,90
	52 185	68 485	645,9	634,01	1,80	64,32
	52 235	81 430	461,1	663,68	0,09	74,86
	52 245	66 790	561,9	653,17	1,08	63,41
	52 275	78 825	520,0	653,87	0,34	72,19

X	Y	H	g'	T	γ_0–g
252 325	675 585	411,9	980 677,74	0,44	70,75
52 345	63 320	356,4	698,89	0,42	61,19
52 365	65 880	486,2	969,94	0,87	62,69
52 375	73 610	400,4	681,78	0,43	69,16
52 395	77 840	518,9	654,59	0,67	71,47
52 415	68 910	610,2	640,88	2,15	64,71
52 445	82 025	447,7	666,31	0,05	75,22
52 470	65 105	439,2	679,89	0,36	63,12
52 495	63 740	422,7	684,59	0,50	61,74
52 535	71 765	389,0	686,00	0,30	67,57
52 540	80 965	470,7	662,65	0,14	74,09
52 580	76 465	574,7	642,94	2,25	70,07
52 640	79 810	498,1	658,13	0,41	72,72
52 810	82 555	468,0	662,29	0,12	75,25
52 840	72 710	382,1	687,43	0,64	67,48
52 920	64 170	423,2	684,72	0,15	62,19
52 940	70 070	400,9	685,15	0,52	66,05
52 950	67 510	701,7	622,47	3,64	63,03
52 980	75 795	528,4	654,70	1,04	69,48
52 980	62 995	412,4	688,14	0,89	60,33
52 985	78 420	507,1	657,96	0,60	71,15
53 030	83 125	449,8	666,49	0,03	75,11
53 050	66 375	560,8	654,75	1,27	62,52
53 070	68 430	557,6	653,20	2,31	63,71
53 185	80 255	451,2	668,41	0,12	72,93
53 195	70 670	398,1	685,73	0,43	66,36
53 230	72 070	382,0	688,70	0,60	66,60
53 265	69 480	410,7	684,53	0,72	64,69
53 270	74 700	468,7	668,48	0,87	68,53
53 310	66 840	656,9	634,05	2,38	62,32
53 315	73 255	479,6	667,51	0,76	67,39
53 325	77 255	511,3	658,07	0,80	70,19
53 360	80 950	445,4	669,28	0,05	73,47
53 395	65 750	520,0	664,64	1,02	61,65
53 455	79 815	448,3	669,65	0,07	72,56
53 475	76 385	535,7	654,20	0,82	69,11
53 500	82 040	437,0	670,94	0,04	73,69
53 560	65 015	453,0	679,97	0,32	61,09
53 580	67 625	628,8	637,86	4,29	62,67
53 605	78 725	471,1	665,46	1,04	71,15
53 655	84 040	447,8	667,66	0,08	74,80
53 685	75 215	606,3	638,50	2,91	68,17
53 730	66 400	626,5	641,67	1,92	61,83
53 780	84 805	436,9	669,54	0,05	75,32
53 780	80 350	456,5	668,08	0,10	72,65
53 785	69 610	392,3	688,46	0,53	65,21
53 795	73 700	497,6	664,36	0,71	67,22
53 795	68 365	446,1	678,42	0,90	63,69
53 815	63 660	449,5	680,57	0,67	61,08
53 850	64 320	419,9	687,06	0,19	61,26
53 860	72 650	500,5	664,74	0,84	66,17
53 990	63 150	411,0	689,95	0,07	60,45
54 010	82 965	474,2	663,61	0,35	73,38
54 020	71 630	451,4	675,85	0,85	65,39
54 035	81 785	452,4	669,44	0,06	72,40

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
254 040	677 120	440,3	980 674,70	0,19	69,52
54 045	67 285	633,0	637,14	4,98	62,20
54 165	85 280	427,6	671,91	0,03	75,22
54 190	79 180	459,5	669,00	0,22	71,33
54 195	70 680	420,0	683,44	1,31	64,02
54 195	73 820	627,6	635,43	3,42	66,72
54 200	80 190	446,7	671,76	0,12	71,33
54 255	64 065	420,1	687,92	0,13	60,75
54 285	66 410	671,0	631,88	3,37	61,35
54 295	68 355	407,3	687,01	0,67	63,85
54 305	62 105	412,5	691,58	0,14	58,70
54 325	81 155	455,0	669,86	0,08	71,64
54 335	75 380	484,7	666,85	0,69	67,87
54 355	69 595	429,8	682,37	0,51	63,98
54 375	73 065	631,4	635,15	3,86	65,91
54 405	63 575	411,8	689,83	0,10	60,71
54 455	77 850	447,6	673,78	0,06	69,39
54 475	61 655	381,8	697,82	0,13	59,00
54 510	65 150	468,1	677,66	0,89	60,46
54 515	74 565	485,7	667,33	0,75	67,28
54 610	83 460	439,0	672,06	0,03	73,05
54 665	70 445	476,0	673,15	0,83	63,51
54 670	67 565	423,2	685,39	1,03	62,06
54 700	76 495	433,8	677,77	0,12	68,42
54 730	68 535	397,4	690,37	0,49	63,04
54 790	71 270	519,8	663,32	1,04	64,12
54 825	84 945	432,5	672,26	0,24	74,18
54 895	80 265	472,1	668,66	0,11	69,72
54 900	79 155	453,3	673,11	0,10	69,19
54 905	82 145	490,2	663,27	0,25	71,21
54 925	62 010	389,7	696,50	0,15	59,01
54 965	77 335	436,2	677,15	0,06	68,81
54 990	66 140	637,6	640,70	3,08	60,35
55 010	69 375	424,5	685,52	0,23	62,74
55 080	63 150	413,3	691,11	0,08	59,69
55 100	74 600	434,0	679,37	0,36	66,85
55 135	72 790	481,3	670,61	0,72	65,44
55 145	64 425	445,7	685,56	0,28	59,35
55 170	75 450	427,9	680,36	0,19	67,35
55 175	72 005	468,0	674,26	0,87	64,44
55 180	85 580	465,0	665,77	0,30	74,13
55 185	66 945	447,6	681,78	1,15	60,89
55 310	65 580	614,1	646,64	2,74	59,90
55 325	83 045	436,2	674,78	0,02	71,51
55 330	81 940	487,8	664,82	0,20	70,56
55 330	67 760	384,3	694,73	0,55	61,84
55 350	78 100	438,7	677,61	0,08	68,12
55 420	69 525	420,4	686,84	0,33	62,50
55 435	73 495	438,0	679,76	0,45	65,81
55 435	70 290	422,0	685,57	0,29	63,49
55 460	79 375	497,5	664,76	0,44	68,46
55 500	71 175	429,6	683,40	0,25	64,18
55 515	63 510	448,4	684,60	0,46	58,87
55 530	62 635	404,3	694,01	0,09	59,02
55 640	76 430	429,1	680,29	0,09	67,66

	X	Y	H	g'	T	γ_0-g
	255 650	666 265	478,8	980 677,12	0,97	59,62
	55 730	72 160	442,5	680,23	0,28	64,82
	55 750	68 720	418,4	688,16	0,24	60,96
	55 770	64 210	447,2	685,74	0,20	58,45
	55 835	75 395	424,8	681,42	0,15	67,53
	55 895	81 465	486,4	666,36	0,28	69,69
	55 905	85 895	480,7	662,67	0,41	74,44
	55 930	84 155	419,9	677,26	0,02	72,91
	55 945	61 885	394,6	696,29	0,64	58,53
	56 005	67 395	384,9	695,73	0,46	61,34
B V	56 055	77 285	433,2	680,42	0,15	66,97
	56 060	78 980	503,5	665,26	0,25	67,39
	56 155	82 180	453,2	673,53	0,06	69,86
	56 180	62 455	395,3	697,62	0,24	57,65
	56 235	69 835	481,0	674,96	0,48	62,28
	56 250	67 900	409,0	691,20	0,26	61,26
	56 345	68 600	417,5	689,40	0,29	61,34
	56 345	71 355	427,2	684,32	0,19	64,50
	56 360	76 315	432,8	681,43	0,28	66,14
B VII	56 360	66 660	385,8	696,76	0,49	60,88
	56 425	81 005	476,4	670,45	0,08	68,31
	56 440	73 960	424,6	683,98	0,37	65,28
	56 470	63 520	449,2	687,14	0,23	57,16
	56 475	64 075	429,3	690,57	0,42	57,68
	56 485	70 350	440,3	683,65	0,26	62,48
	56 525	61 800	391,2	699,11	0,40	57,07
	56 550	72 660	421,9	685,60	0,43	64,25
	56 560	84 675	426,7	676,49	0,04	72,75
	56 575	79 890	467,4	673,46	0,19	67,18
	56 585	65 715	397,6	695,23	0,79	59,34
	56 600	85 805	434,1	674,32	0,07	73,41
	56 605	75 335	429,3	682,94	0,34	65,49
	56 630	82 115	452,0	674,63	0,15	69,31
	56 630	77 870	488,5	670,13	0,15	66,20
	56 660	67 195	389,0	693,90	0,47	60,98
	56 675	83 110	419,6	680,35	0,02	70,49
	56 685	71 875	448,2	680,35	0,37	64,19
	56 825	68 805	449,5	683,22	0,65	60,89
	56 850	69 770	450,5	682,44	0,45	61,68
	56 890	73 445	458,7	678,33	0,63	63,93
	56 905	62 640	472,1	683,52	0,62	55,98
	56 915	60 600	367,7	705,06	0,44	56,35
	56 965	71 035	436,9	684,56	0,34	62,59
	57 000	67 940	412,8	691,46	0,42	60,66
	57 105	79 100	474,6	673,55	0,09	66,12
	57 105	81 350	449,9	676,62	0,25	68 03
	57 175	59 885	366,5	704,28	0,47	57,56
	57 190	80 045	451,3	677,77	0,12	66,78
	57 210	76 345	515,7	665,91	0,50	64,88
	57 225	63 145	499,9	678,37	0,89	55,33
	57 230	84 070	422,7	678,93	0,04	71,70
	57 235	65 455	404,4	695,70	0,80	57,97
	57 265	73 950	495,2	671,34	0,61	63,65
	57 335	66 395	392,6	697,14	0,31	59,56
	57 355	70 185	461,2	680,89	0,55	61,31

	X	Y	H	g'	T	γ_0–g
	257 375	664 860	519,2	890 671,03	1,73	57,93
	57 415	62 020	559,6	664,77	2,87	54,69
	57 435	74 765	532,1	663,50	0,95	63,61
	57 475	68 625	526,2	667,97	1,20	60,16
	57 490	86 210	461,0	671,55	0,17	71,20
	57 500	67 120	401,2	695,10	0,40	59,86
	57 615	82 050	420,1	683,28	0,02	68,23
	57 620	71 290	485,8	675,86	0,59	61,40
	57 640	63 920	466,9	684,95	0,83	56,02
	57 665	69 710	569,6	657,52	2,72	60,27
	57 685	61 475	500,8	678,16	1,46	55,15
	57 700	80 870	456,0	677,24	0,15	66,73
	57 750	72 665	566,2	657,87	1,34	62,01
	57 755	78 750	478,0	673,79	0,32	65,47
	57 765	79 440	435,9	682,56	0,07	65,72
	57 770	83 620	419,7	680,86	0,04	70,82
	57 800	85 155	439,4	677,44	0,13	70,09
	57 815	77 240	485,9	673,18	0,38	64,42
	57 840	60 000	364,8	705,55	0,59	57,07
	57 925	66 285	388,8	699,52	0,47	58,29
	58 000	60 970	474,0	684,66	0,69	55,26
	58 015	85 620	490,2	666,93	0,67	69,65
	58 020	68 020	458,9	683,87	0,91	58,99
	58 025	73 455	582,6	655,12	1,02	61,89
	58 030	72 240	505,0	672,55	0,68	60,96
	58 035	75 620	584,2	653,67	1,06	62,98
	58 045	63 445	568,3	665,09	1,19	54,75
	58 085	86 445	515,3	661,57	0,45	70,08
	58 130	69 115	458,0	684,38	0,92	58,75
	58 150	70 045	544,4	665,30	1,30	59,48
	58 220	67 220	457,7	685,18	1,55	57,45
	58 225	65 420	384,5	701,91	0,59	56,92
	58 260	64 505	538,6	669,09	2,65	55,64
	58 275	83 020	418,7	682,64	0,04	69,66
	58 325	70 570	589,5	655,77	1,84	59,23
	58 370	78 410	462,8	679,02	0,21	64,01
	58 400	60 905	485,2	682,74	0,95	54,97
	58 460	67 555	573,7	661,05	2,89	56,29
	58 480	81 905	417,7	685,82	0,02	66,89
	58 485	65 905	433,6	690,39	2,26	56,76
	58 495	62 245	537,8	671,72	0,84	55,21
	58 505	68 750	506,6	675,48	1,66	57,10
B VIII	58 525	59 810	354,2	708,71	0,57	56,69
	58 525	87 015	517,8	661,81	0,18	69,94
	58 530	79 870	455,7	680,12	0,22	64,51
	58 550	71 090	530,7	669,01	1,34	58,91
	58 550	76 720	471,4	678,41	0,29	62,90
	58 580	78 335	439,3	684,70	0,06	62,18
	58 585	64 865	476,5	683,05	1,26	56,25
	58 615	74 510	636,9	644,91	1,32	60,98
	58 620	72 220	564,8	661,03	1,82	59,37
	58 620	60 220	433,2	692,71	0,82	56,07
	58 655	81 130	422,0	686,25	0,02	65,69
	58 695	66 700	610,6	650,07	6,26	56,41
	58 705	77 180	474,5	677,98	0,34	62,76

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
258 755	672 990	568,2	980 660,87	1,47	59,28
58 760	86 530	538,2	658,54	0,30	69,03
58 765	84 335	441,8	679,38	0,21	68,35
58 855	63 730	517,4	675,25	1,33	55,69
58 870	65 250	386,6	701,79	0,51	57,20
58 890	78 805	421,0	688,93	0,04	63,39
58 925	77 655	421,1	689,55	0,20	62,62
58 935	66 235	409,0	696,53	1,50	56,87
58 960	59 515	443,5	711,51	0,36	56,68
58 975	78 060	421,8	689,33	0,11	62,82
58 995	81 460	431,1	684,95	0,02	65,38
59 020	67 990	750,9	618,64	9,57	55,61
59 035	75 520	591,0	655,50	1,00	60,67
59 065	62 520	543,9	669,27	2,17	55,48
59 075	76 635	455,4	683,05	0,38	61,92
59 120	85 185	516,0	664,30	0,46	68,06
59 125	61 265	510,9	675,25	1,75	56,84
59 240	80 775	439,9	684,72	0,03	63,96
59 250	64 720	497,7	676,17	4,35	56,17
59 270	63 855	409,9	697,32	1,20	56,46
59 285	66 945	461,1	685,85	1,45	57,04
59 295	77 665	418,2	691,06	0,13	62,08
59 300	77 105	425,8	690,14	0,17	61,38
59 310	69 705	859,4	593,59	12,72	55,16
59 315	78 055	417,9	691,16	0,10	62,10
59 325	86 465	542,8	658,61	0,31	68,46
59 360	63 170	380,4	702,71	1,59	56,89
59 365	74 755	662,4	641,89	2,29	58,33
59 385	70 445	853,4	596,79	10,84	55,15
59 390	73 500	794,2	611,43	6,52	57,16
59 390	78 530	415,0	691,78	0,06	62,18
59 405	79 605	436,9	687,00	0,04	62,43
59 415	72 505	855,0	595,90	10,96	55,61
59 425	71 370	853,9	596,40	10,48	55,72
59 440	60 505	349,3	595,78	0,80	56,71
59 465	65 715	362,2	705,96	1,87	57,24
59 470	68 405	642,7	648,31	2,73	55,65
59 495	79 155	421,2	689,78	0,02	63,01
59 520	82 390	438,7	682,51	0,03	66,65
59 560	61 745	495,4	678,21	2,04	57,18
59 610	62 555	372,4	704,48	1,44	57,14
59 615	77 085	424,1	691,26	0,18	60,86
59 630	78 020	412,0	693,06	0,09	61,68
59 635	64 945	375,4	703,83	1,15	57,47
59 660	83 510	422,5	685,45	0,16	67,07
59 675	84 910	518,0	665,58	0,41	66,82
59 695	77 630	413,9	693,07	0,12	61,30
59 715	78 470	412,3	693,20	0,06	61,58
59 720	75 840	546,7	666,74	1,44	58,69
59 725	78 880	418,9	691,22	0,04	62,22
59 730	67 645	519,7	674,90	0,80	56,80
59 750	84 355	498,5	669,85	0,55	66,54
59 755	65 740	474,4	684,71	1,26	55,98
59 790	69 020	595,3	658,46	1,99	56,37
59 810	63 110	376,0	704,35	0,56	57,56

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
259 830	669 700	694,5	980 637,83	2,66	55,71
59 830	63 820	377,2	703,75	0,89	57,59
59 840	73 170	674,6	640,27	3,10	56,99
59 845	76 810	431,6	690,77	0,24	59,91
59 845	72 040	713,7	632,65	3,51	56,06
59 855	74 345	596,6	656,60	1,84	58,16
59 865	70 505	699,9	636,89	2,52	55,70
59 880	87 020	501,1	667,57	0,54	68,38
59 880	61 065	513,8	671,61	5,24	57,00
59 885	79 415	422,0	690,69	0,10	62,71
59 935	77 460	413,7	693,49	0,14	61,10
59 945	66 895	550,9	668,59	1,08	56,52
59 970	80 840	439,7	685,89	0,24	63,22
59 990	78 230	411,2	694,20	0,07	61,02
59 995	79 150	416,6	691,80	0,04	62,34
60 000	77 835	411,4	694,01	0,10	61,15
60 025	75 370	510,7	674,63	0,83	59,15
60 030	81 805	443,3	683,83	0,07	64,75
60 035	78 660	412,3	693,72	0,04	61,34
60 070	67 115	465,6	683,97	0,43	59,64
60 075	71 015	688,4	638,88	2,70	56,09
60 085	64 505	388,6	701,73	0,87	57,47
60 100	76 705	425,1	692,53	0,28	59,68
60 120	78 285	411,0	694,45	0,07	60,92
60 125	77 140	418,5	692,85	0,18	60,85
60 125	61 275	379,7	704,28	0,97	56,70
60 130	86 165	541,2	660,76	0,32	67,30
60 135	78 860	416,2	692,58	0,04	61,75
60 220	82 950	430,4	686,34	0,07	65,09
60 225	68 935	589,4	659,69	1,83	56,88
60 235	79 630	453,4	685,04	0,18	61,49
60 275	83 815	493,9	672,30	0,51	65,51
60 280	66 205	508,0	677,60	0,63	57,16
60 285	72 165	588,9	659,44	1,67	57,44
60 300	60 325	356,1	709,12	0,86	57,03
60 315	85 425	565,6	656,51	0,53	66,41
60 315	74 295	492,7	678,41	1,10	59,08
60 320	73 030	549,8	666,92	1,52	58,32
60 325	76 335	434,3	689,90	0,33	60,52
60 330	77 815	412,0	694,82	0,11	60,47
60 375	65 410	582,1	659,95	2,60	57,48
60 405	67 780	483,7	683,39	0,41	56,74
60 445	63 435	376,3	704,57	0,71	57,64
60 465	61 785	338,0	713,26	0,71	56,94
60 480	79 235	419,7	692,25	0,06	61,61
60 500	78 755	410,9	694,35	0,05	61,37
60 500	77 435	413,2	694,98	0,16	60,15
60 510	76 780	420,0	693,26	0,19	60,43
60 615	87 195	451,8	678,98	0,35	68,02
60 625	76 450	424,6	692,25	0,26	60,51
60 640	70 015	572,7	663,53	0,96	57,72
60 655	84 530	507,0	669,95	0,48	65,48
60 660	64 005	442,8	690,67	1,14	57,45
60 680	64 715	486,8	681,55	0,99	57,58
60 680	78 500	410,2	694,80	0,05	61,21

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
260 680	675 055	469,9	980 682,18	0,36	61,09
60 685	77 975	415,1	694,63	0,09	60,32
60 755	76 020	433,8	690,29	0,35	59,87
60 760	83 885	444,4	683,79	0,21	65,00
60 800	79 260	418,9	692,91	0,08	61,36
60 815	73 895	470,9	682,35	0,61	60,58
60 815	77 780	417,7	694,63	0,09	60,32
60 815	67 215	525,4	674,21	0,54	57,44
60 830	62 420	372,6	706,11	0,68	57,21
60 840	82 865	448,5	683,78	0,17	64,27
60 845	80 835	427,1	690,22	0,01	62,46
60 845	81 555	440,2	686,09	0,03	63,82
60 865	78 800	409,7	694,64	0,04	61,63
60 880	77 345	429,0	691,91	0,16	60,24
60 900	68 490	499,3	679,61	0,47	57,62
60 960	76 890	432,9	691,30	0,19	60,07
60 965	86 090	562,3	658,18	0,64	65,82
60 985	70 620	544,0	669,69	0,75	58,02
60 985	65 730	618,2	653,96	1,50	57,56
61 005	62 865	384,5	703,65	1,00	57,02
61 010	71 345	539,0	670,07	1,02	58,43
61 010	87 960	442,8	680,86	0,46	68,23
61 070	78 185	409,8	695,34	0,09	61,03
61 080	72 660	465,2	684,60	0,70	59,63
61 085	61 655	370,8	707,51	0,91	56,17
61 095	79 575	411,5	694,94	0,03	61,16
61 110	79 175	411,8	694,74	0,03	61,30
61 125	81 940	440,9	685,74	0,01	64,29
61 185	78 605	410,1	694,85	0,05	61,59
61 200	76 430	454,2	687,00	0,20	60,12
61 220	77 555	461,3	685,47	0,30	60,09
61 225	79 950	422,8	692,66	0,03	61,19
61 230	67 820	469,9	686,57	0,19	57,32
61 240	64 315	519,5	675,21	1,25	57,31
61 265	80 695	427,4	690,81	0,07	62,07
61 300	73 965	468,4	683,97	0,53	59,95
61 305	86 445	531,3	664,88	0,59	65,91
61 315	77 830	426,0	692,72	0,15	60,42
61 345	60 840	367,6	709,24	0,84	55,38
61 355	77 900	461,2	685,76	0,15	60,08
61 370	78 160	411,5	695,38	0,13	60,84
61 375	78 730	409,8	695,13	0,05	61,52
61 405	71 785	465,3	685,60	0,56	59,02
61 410	84 790	537,6	665,11	0,49	64,55
61 460	78 930	409,1	695,13	0,06	61,73
61 460	63 715	541,9	670,61	1,50	57,17
61 510	78 395	409,5	695,74	0,09	61,04
61 535	75 240	483,9	681,05	0,28	60,08
61 550	79 200	409,8	695,43	0,03	61,35
B II 61 550	83 280	427,8	688,60	0,23	64,28
61 555	87 495	432,5	684,59	0,33	67,22
61 580	77 990	422,2	693,67	0,13	60,49
61 650	62 640	495,7	681,52	1,14	56,39
61 675	76 230	482,9	681,47	0,16	60,11
61 695	70 030	538,7	671,90	0,73	57,51

	X	Y	H	g'	T	γ_0-g
	261 700	672 445	460,9	980 686,18	0,60	59,56
	61 745	69 125	503,7	679,68	0,46	57,32
	61 775	63 315	572,3	664,04	1,86	57,31
	61 780	85 765	585,7	654,92	0,89	64,63
	61 780	65 030	598,8	659,84	0,76	57,10
	61 800	79 945	416,7	694,54	0,08	61,01
	61 835	76 855	484,7	681,23	0,17	60,09
	61 845	73 975	538,7	669,76	0,91	59,60
	61 885	66 635	498,5	680,97	0,42	57,27
	61 900	81 190	430,5	690,96	0,05	61,83
	61 910	60 335	352,9	714,02	0,61	54,35
	61 950	78 080	444,4	689,36	0,20	60,41
	61 965	71 935	457,8	687,56	0,96	58,67
	61 995	84 210	488,3	676,68	0,53	63,65
	62 015	72 730	501,5	678,72	0,74	58,68
	62 090	82 555	422,3	691,87	0,06	62,76
	62 135	68 540	447,6	691,79	0,39	57,27
	62 135	62 015	497,2	683,03	0,95	55,15
	62 190	61 415	466,0	690,18	1,08	54,42
	62 195	79 545	439,5	690,62	0,13	60,44
	62 225	85 005	555,6	662,99	0,51	63,59
	62 250	67 385	480,7	685,44	0,34	56,88
	62 315	87 085	425,2	688,05	0,34	65,89
	62 320	74 990	562,2	665,51	0,56	59,69
	62 330	78 565	410,5	696,22	0,07	61,04
	62 360	70 600	449,0	690,67	0,62	58,05
B IV	62 370	70 070	453,3	690,28	0,35	57,84
	62 380	60 570	455,9	691,29	3,31	53,33
	62 425	66 155	549,8	670,87	0,95	56,60
	62 445	76 175	517,5	675,23	0,19	59,74
	62 490	77 530	485,4	681,73	0,31	59,84
	62 525	64 280	582,2	665,48	0,64	55,64
	62 525	76 810	531,8	672,17	0,45	59,63
	62 585	83 320	416,2	692,54	0,28	63,54
	62 615	73 200	652,2	647,17	1,68	58,42
	62 620	86 410	448,7	684,00	0,98	64,65
	62 640	72 300	625,1	652,75	1,38	58,80
	62 660	80 370	406,8	697,22	0,03	61,11
	62 675	69 045	460,9	689,83	0,22	57,08
	62 710	79 445	472,2	684,11	0,48	60,22
	62 790	82 125	418,8	693,12	0,04	62,83
	62 795	83 935	534,8	668,45	1,17	62,23
	62 800	81 565	419,6	693,64	0.02	62,17
	62 805	71 345	618,6	653,45	1,99	58,97
	62 815	60 315	353,3	715,50	0,84	53,28
	62 865	85 670	558,0	662,74	0,95	63,40
	62 880	80 915	410,6	696,59	0,06	61,10
	62 905	78 985	417,2	695,17	0,11	61,12
	62 975	77 805	440,7	691,60	0,23	59,74
	63 070	84 710	520,2	671,97	0,59	62,57
	63 090	67 270	443,4	694,91	0,33	55,86
	63 110	65 340	577,8	667,04	1,14	54,97
	63 120	77 395	521,7	674,53	0,87	59,43
	63 165	71 030	599,2	659,12	1,17	58,45
	63 215	68 105	471,2	688,98	0,17	56,26

X	Y	H	g'	T	γ_0–g
263 225	662 710	514,1	980 683,57	0,54	52,39
63 270	69 600	486,3	685,13	0,20	56,99
63 350	86 195	446,6	686,28	0,76	63,62
63 350	80 605	414,1	696,56	0,02	60,83
63 395	87 145	427,8	689,88	0,25	64,48
63 480	61 680	449,4	697,33	0,66	52,18
63 480	74 505	561,8	667,34	0,55	58,89
63 490	66 525	489,3	686,83	0,42	55,04
63 500	59 945	347,5	718,10	0,90	52,40
63 520	83 430	426,2	693,03	0,17	61,83
63 520	76 575	527,9	674,50	0,43	58,93
63 530	67 125	428,8	698,72	0,38	55,40
63 540	81 390	431,0	692,54	0,15	61,37
63 570	82 435	424,1	693,63	0,30	61,58
63 575	65 180	522,4	680,34	0,78	53,93
63 625	60 570	355,7	716,50	0,73	52,56
63 680	79 520	467,5	685,95	0,69	59,92
63 680	85 425	551,3	665,91	0,89	62,34
63 680	75 760	510,0	678,81	0,18	58,73
63 710	70 525	545,5	672,01	0,86	57,49
63 760	84 065	443,3	689,43	0,74	61,51
63 790	65 775	479,4	689,61	0,46	54,11
63 845	78 165	425,8	695,21	0,11	60,16
63 905	83 355	426,5	493,50	0,23	61,56
63 930	80 235	429,1	694,72	0,03	60,00
63 955	64 740	549,1	674,80	1,40	53,60
63 985	68 625	576,8	666,39	1,63	56,05
64 000	84 915	549,9	667,12	0,88	61,68
64 085	86 220	419,1	693,37	0,43	63,17
64 120	81 535	402,8	698,33	0,22	61,85
64 130	67 450	485,0	687,76	0,49	55,04
64 150	81 200	399,2	699,42	0,09	61,65
64 165	69 465	544,6	673,54	0,81	56,56
64 180	63 230	475,8	692,54	0,72	52,29
64 195	66 305	438,2	698,49	0,46	54,13
64 230	74 075	595,6	659,04	2,15	59,17
64 245	76 865	488,6	683,15	0,48	59,00
64 255	78 725	423,8	696,16	0,06	59,90
64 270	75 385	466,6	687,93	0,37	58,96
64 300	59 600	330,9	723,44	0,56	51,49
64 345	77 895	421,9	696,55	0,15	59,89
64 405	65 490	440,3	699,08	0,42	53,31
64 435	84 140	521,9	674,37	0,68	60,82
64 515	63 745	477,1	692,53	0,80	51,92
64 520	70 525	546,9	672,74	0,73	57,25
64 570	85 925	389,6	700,29	0,94	62,28
64 595	62 435	438,2	700,65	0,39	52,36
64 625	82 305	431,4	693,42	0,10	61,34
64 635	80 490	438,3	692,43	0,11	59,87
64 640	60 815	358,1	718,14	0,38	51,59
64 765	86 570	399,8	698,46	1,12	61,96
64 785	64 500	438,8	700,67	0,72	52,05
64 790	72 270	591,3	662,65	1,12	57,93
64 800	61 700	369,9	715,23	0,66	51,91
64 805	65 225	417,0	704,81	0,53	52,64

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
264 845	673 675	594,2	980 660,12	2,05	58,98
64 865	59 385	327,1	725,80	0,62	50,32
64 870	68 175	588,1	666,66	0,87	54,90
64 875	79 185	438,0	693,70	0,30	59,67
64 880	62 975	424,0	703,69	0,24	52,66
64 895	77 625	432,0	695,02	0,18	59,74
64 905	71 515	526,9	677,31	0,67	57,21
64 925	66 680	486,8	689,77	0,39	53,40
64 935	64 095	452,6	698,36	0,62	51,70
64 935	74 830	480,5	685,48	0,62	58,78
64 955	84 850	519,3	675,04	0,87	60,92
64 955	83 420	454,9	689,37	0,27	60,59
B VI 64 995	65 605	407,7	707,12	0,15	52,81
65 065	75 425	533,1	674,21	0,68	59,14
65 155	60 655	359,0	719,28	0,27	50,78
65 240	70 570	534,4	677,22	0,73	55,95
65 245	80 760	430,6	695,32	0,04	60,15
65 315	81 820	440,4	692,44	0,53	60,56
65 325	67 485	559,9	674,13	0,86	53,67
65 395	83 365	437,8	693,73	0,17	60,24
65 435	64 135	386,1	712,37	0,68	51,87
65 455	78 440	417,1	698,70	0,12	59,67
65 460	69 640	560,2	672,78	0,59	55,34
65 480	63 180	482,2	693,75	0,73	50,48
65 490	73 260	500,8	681,68	1,22	58,20
65 505	84 270	544,9	669,79	1,71	60,45
65 530	64 700	471,3	695,29	0,67	51,31
65 545	75 935	621,2	655,01	1,50	59,58
65 550	71 145	543,2	675,29	0,84	56,20
65 575	65 040	494,4	690,30	0,72	51,48
65 595	65 585	499,2	689,25	0,67	51,60
65 620	66 225	466,1	695,93	0,54	51,95
65 635	76 780	622,4	651,50	4,61	59,80
65 640	85 065	402,1	700,05	0,86	60,86
65 675	68 760	576,5	670,88	0,47	54,15
65 720	77 775	416,0	699,21	0,21	59,51
65 780	79 620	470,7	687,22	0,18	60,20
65 820	62 170	426,6	706,44	0,44	49,93
65 860	82 845	435,7	694,54	0,06	60,36
65 870	74 110	506,3	681,42	0,82	58,02
65 890	59 590	331,3	727,29	0,58	48,83
65 910	61 160	357,2	721,23	0,26	49,84
65 945	71 635	509,4	682,63	0,98	56,07
65 980	64 410	464,2	697,06	1,75	50,30
66 040	80 210	453,0	691,66	0,06	59,77
66 065	62 705	427,9	706,31	0,16	50,26
66 070	60 730	356,4	722,11	0,23	49,28
66 070	83 835	518,2	676,74	0,95	60,26
66 100	63 660	411,7	709,03	0,24	50,87
B III 66 125	77 320	427,2	697,53	0,49	58,93
66 205	84 490	419,2	697,20	0,74	60,73
66 215	66 315	574,4	673,59	1,17	51,62
66 230	74 590	574,2	665,74	1,60	59,09
66 260	78 325	411,3	701,16	0,11	59,08
66 275	72 470	519,8	680,33	0,94	56,51

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
266 355	670 880	465,8	980 693,00	0,53	55,56
66 440	75 785	603,2	658,24	2,39	59,92
66 455	72 895	418,7	700,72	1,48	56,77
66 465	81 125	432,2	695,49	0,54	60,14
66 480	66 610	580,7	672,84	0,84	51,60
66 480	82 680	429,4	696,55	0,06	60,14
66 590	61 545	401,6	713,01	0,67	48,96
66 625	80 580	439,4	694,99	0,23	59,58
66 640	79 855	448,1	693,58	0,11	59,31
66 680	78 920	452,6	692,87	0,21	59,01
66 680	83 230	446,9	692,79	0,19	60,30
66 685	60 795	355,9	723,34	0,22	48,67
66 695	77 045	465,4	690,29	0,77	58,38
66 715	68 790	537,2	680,06	0,86	53,60
66 720	64 120	385,9	715,00	0,64	50,36
66 725	63 045	415,6	709,64	0,10	50,09
66 765	59 445	331,0	729,15	1,61	46,71
66 770	67 975	561,4	676,23	0,84	52,36
66 815	73 285	543,1	673,08	3,55	56,74
66 820	70 235	570,2	670,92	2,35	54,46
66 855	83 815	470,8	686,91	0,96	60,59
66 930	62 415	412,6	711,12	0,13	49,37
66 940	64 580	514,3	687,76	2,14	49,56
66 940	74 680	425,9	699,88	1,14	56,84
66 940	69 100	560,7	674,92	1,50	53,39
66 960	71 620	573,9	670,61	1,66	54,81
66 970	66 975	524,5	685,92	0,71	50,74
67 015	61 655	378,2	718,88	0,38	48,59
67 045	82 135	421,5	698,43	0,06	60,39
67 145	69 635	494,6	689,51	0,76	53,46
67 175	65 845	571,5	676,81	0,88	50,06
67 275	72 480	499,7	686,38	0,77	55,62
67 315	63 980	407,9	711,75	0,56	49,60
67 315	59 340	322,5	732,27	0,73	46,69
67 320	78 100	402,5	705,03	0,12	57,89
67 390	65 100	539,5	684,80	0,93	48,86
67 420	75 665	408,7	703,95	0,86	57,02
67 420	77 035	476,7	689,65	0,48	57,55
67 450	66 695	488,2	694,42	0,69	50,20
67 500	61 075	351,4	725,94	0,27	47,60
67 510	79 570	452,0	693,55	1,02	58,32
67 520	80 880	403,8	703,66	0,38	58,89
67 535	67 800	514,5	687,44	1,03	51,43
67 590	82 055	417,4	700,36	0,12	59,68
67 590	62 280	412,8	712,29	0,24	48,59
67 620	69 485	429,0	703,99	0,80	52,98
67 630	70 925	516,0	684,37	1,07	54,23
67 655	64 080	367,5	720,56	0,88	49,15
67 660	73 525	452,3	696,84	0,49	55,62
67 670	63 375	405,0	713,77	0,19	48,84
67 675	60 130	338,7	729,41	0,54	46,66
67 685	65 625	566,8	679,02	1,21	48,92
67 695	81 495	422,9	700,17	0,12	48,81
67 770	68 560	542,8	680,69	1,30	52,21
67 790	83 615	371,3	708,40	1,59	59,94

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
267 840	673 030	386,0	980 710,97	1,02	54,90
67 850	67 435	530,4	684,80	1,35	50,70
67 890	70 250	505,1	686,80	1,12	54,23
67 905	75 045	377,3	712,09	0,62	56,04
67 960	60 960	340,3	729,13	0,56	46,81
67 985	78 520	395,8	707,67	0,10	57,20
68 080	71 990	474,8	693,13	0,76	54,71
68 120	66 385	408,1	710,60	2,22	49,70
68 125	64 530	474,5	699,67	1,08	47,96
68 145	82 585	558,3	669,22	2,56	59,53
68 205	66 005	500,9	693,79	0,95	48,56
68 255	79 395	356,4	715,82	0,47	57,09
68 270	76 925	501,6	683,73	3,31	56,15
68 300	63 615	381,5	719,67	0,06	48,47
68 310	80 710	442,0	697,50	0,57	57,65
86 360	68 905	449,0	701,75	0,72	51,73
66 390	62 130	393,1	717,86	0,54	47,47
88 400	65 275	521,2	690,87	0,84	47,50
68 450	74 510	367,8	715,82	0,44	54,91
68 540	69 490	436,4	407,27	0,71	52,00
68 570	76 465	369,1	714,75	0,74	55,51
68 640	72 050	455,1	698,32	0,45	54,39
68 645	67 720	458,4	699,85	2,18	50,38
68 650	62 445	357,6	725,90	0,52	47,05
68 680	70 445	358,6	719,54	1,23	52,51
68 730	64 590	420,9	712,08	0,53	47,74
68 735	73 765	367,3	717,36	0,39	53,76
68 745	61 625	364,0	725,21	0,79	46,21
68 760	72 650	449,0	699,56	0,99	53,97
68 785	63 645	417,0	713,68	0,34	47,19
68 785	81 875	395,4	707,47	0,30	57,95
68 805	62 875	439,7	708,47	1,45	46,58
68 835	75 275	365,4	717,07	0,51	54,41
68 840	71 460	366,1	717,33	1,05	53,46
68 850	66 660	501,7	690,09	5,30	48,25
68 935	81 170	536,0	675,96	3,25	57,36
68 950	77 745	374,1	714,71	0,21	55,35
69 020	69 550	351,4	721,86	1,20	51,99
69 085	68 570	346,0	724,16	1,06	51,01
69 100	67 605	343,0	725,66	1,13	50,07
69 110	83 100	383,3	709,66	1,14	57,69
69 110	65 490	432,6	709,50	0,95	47,78
69 190	64 140	455,1	706,04	0,75	46,81
69 205	62 360	472,8	701,85	2,20	45,89
69 215	78 260	346,5	720,77	0,51	54,94
69 260	79 680	490,1	689,75	1,14	55,49
69 265	61 525	328,6	733,68	0,47	45,84
69 345	76 240	366,2	717,74	0,67	53,82
69 395	73 015	365,2	718,72	0,62	53,14
69 445	81 840	388,0	710,93	0,23	56,63
69 465	77 330	368,0	717,29	0,67	54,00
69 570	63 805	511,9	694,02	1,57	46,50
69 610	66 330	335,1	729,85	0,61	48,47
69 620	65 645	352,8	726,20	1,35	47,69
69 730	62 840	514,1	695,03	1,57	45,17

X	Y	H	g'	T	γ_0-g
69 760	72 230	365,8	719,36	0,81	52,49
69 820	80 655	389,3	712,26	0,72	54,83
269 945	666 025	334,1	980 731,00	0,57	47,83
70 135	78 295	355,4	721,67	0,67	52,78
70 185	79 210	350,3	722,09	0,84	53,29
70 385	64 805	359,5	726,79	1,05	46,63
70 400	63 680	393,3	720,45	1,16	45,83
70 610	64 250	369,3	725,52	0,83	46,26
70 745	65 270	321,8	735,25	0,54	46,82
71 285	64 525	338,3	732,98	0,84	45,79

SUMMARY

The present paper contains the results of a detailed gravity survey carried out on the Swiss Plateau during the summer of 1952 with a Worden gravity meter. 780 stations have been established in an area of 250 square miles situated NW of Zurich. As this was the first modern gravity survey in this region some problems of general character had to be solved beside the geological interpretation.

The first part of the paper deals with some of these problems. In particular the topographic correction, the distribution of stations and the rock densities are discussed. The last question needs still further investigations.

In the second part the geological interpretation is given. The elimination of the regional gradient is described and the continuation of the «Laegern-Anticline» and other geological structures are discussed. The construction af a «Molasse Map» and a « Quarternary Map» is probably of special interest. The «Molasse Map» is based entirely on stations which are situated on either Tertiary (Molasse) or Mesozoic. The « Quarternary Map» was constructed by subtracting the «Molasse Map» from the «Bouguer Map II». The latter was drawn utilizing all the gravity data available, thus including stations situated on Quarternary deposits. The regional gradient is removed in all these maps and is only contained in the «Bouguer Map I».

The third part summarizes experiences of general value which will be useful for future comprehensive gravimetric research on the Swiss Plateau. The fourth part – including the tables – gives the numerical data for each station.

The following conclusions were drawn:

1. The «Laegern-Anticline» continues in NE-direction and joins the «Irchel-Anticline».
2. The thickness of Quarternary deposits in the Limmat-, Glatt- and Furt-Valley is considerable and increases towards the south.
3. The thickness of Tertiary (Molasse) sediments in the region of Zurich is about $^2/_3$ – 1 mile.
4. It proved useful to draw a «Molasse Map» (Plate XII).
5. The same can be said in special cases for the « Quarternary Map» (Plate XII).
6. The regional gradient in this area (N 30° W, 1,9 mgl/mi) is a consequence of the following facts:
   a) The mass deficiency under the Alps.
   b) The ascending surface of the «Grundgebirge» (old crystalline rocks) towards the Black Forest.
   c) The ascending surface of the Mesozoic rocks towards NNW.

LITERATURVERZEICHNIS

A) Geologie

AMSLER, A. (1915): *Tektonik des Staffelegg-Gebietes.* Diss. Univ. Zürich. Eclogae geol. Helv., *13*, 4.

BADER, F. (1925): *Beitrag zur Geologie des nordöstlichen Tafeljuras zwischen Aare und Rhein.* Diss. Univ. Zürich.

BENDEL, L. (1923): *Geologie und Hydrologie des Irchels.* Diss. ETH Zürich.

BRANDENBERGER, E. (1925): *Zur Stratigraphie und Tektonik der Molasse des östlichen Aargaus.* Eclogae geol. Helv., *19*, 3.

Geologische Exkursionen in der Umgebung von Zürich (1946). Herausgegeben von der Geologischen Gesellschaft in Zürich.

HEIM, ALB. (1919): *Geologie der Schweiz*, Band I.

HUG, J., & BEILICK, A. (1934): *Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich.* Beitr. z. Geol. Schweiz, Geotechn. S., Hydrologie, Nr. 1.

LETSCH, E. (1899): *Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss.* Beitr. z. Geol. Schweiz, Geotechn. S., Lfg. 1.

MÜHLBERG, F. (1901): *Geologische Karte der Lägernkette, 1:25000, mit Erläuterungen.* Beitr. Geol. K. Schweiz, Nr. 25.

– (1905): *Erläuterungen zur geol. Karte des untern Aare-, Reuss- und Limmattales.* Eclogae geol. Helv., *8*, 5.

NIGGLI, P., DE QUERVAIN, F., & WINTERHALTER, R. U. (1930): *Chemismus schweizerischer Gesteine.* Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. S., Lfg. 14.

NOTZ, R. (1924): *Geologische Untersuchungen an der östlichen Lägern.* Diss. Univ. Zürich.

OPPLIGER, F. (1891): *Dislokationen und Erosionen im Limmattal.* Jb. über das Aarg. Lehrerseminar Wettingen.

SCHUPPLI, H. (1952): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, IV. Teil.* Geotechn. S., Lfg. 26, Teil 4.

SENFTLEBEN, G. (1923): *Beiträge zur geologischen Erkenntnis der Westlägern und ihrer Umgebung.* Mit geol. Karte 1:10000. Diss. Univ. Zürich.

SUTER, H. (1939): *Geologie von Zürich, einschliesslich seines Exkursionsgebietes.* Mit geol. Karte 1:150000. (Zürich.)

– (1944): *Glazialgeologische Studien im Gebiet zwischen Limmat, Glatt und Rhein.* Eclogae geol. Helv., *37*, 1.

WEBER, A. (1930): *Die Glazialgeologie des Tösstales und ihre Beziehung zur Diluvialgeschichte der Nordostschweiz.* Mitt. Naturw. Ges. Winterthur, H. 17/18.

– (1934): *Zur Glazialgeologie des Glattales.* Eclogae geol. Helv., *27*, 1.

B) Geophysik

BARANOV, V. (1953): *Sur le calcul de l'influence gravimetrique des structures définies par les isobathes.* Geophysical Prospecting *1*, No. 1.

– (1953): *Calcul du Gradient vertical du Champ de Gravité et du Champ Magnétique mesuré à la Surface du Sol.* Hektogr. Mitt. EAEG.

BAESCHLIN, C. F. (1948): *Lehrbuch der Geodäsie.* (Zürich.)

BERROTH, A. (1949): *Das Fundamentalsystem der Schwere im Lichte neuer Reversionspendelmessungen.* Bull. géodés. N° 12.

BIRCH, F., SCHAIRER, J., & SPICER, C. (1942): *Handbook of Physical Constants.* Geol. Soc. America, Special Papers, No. 36.

ELKINS, T. A. (1951): *The Second Derivative Method of Gravity Interpretation.* Geophysics *16*, No. 1.

FÜLSCHER, P. (1949): *Schweremessungen am Ostende der Lägern.* Diplomarbeit ETH (Manuskript).

GASSMANN, F. (1950): *Recent Geophysical Research-Work.* Bull. Ass. Suisse des Géol. et Ing. du Pétrole, 17, N° 53.

– (1950): *Tabellen zur Geophysik. 1. Teil.* Institut für Geophysik ETH, Zürich.

– (1951): *The Evaluation of the Anomalies of Gravity and of the Magnetic Field, Caused by Three-Dimensional Bodies.* Proceedings of the Third World Petroleum Congress, Sect. I (The Hague).

GASSMANN, F., & PROSEN, D. (1948): *Zur Interpretation des Schweredefizites in den Schweizer Alpen.* Eclogae geol. Helv., *41*, 1.

GASSMANN, F., & WEBER, M. (1953): *Grundzüge der angewandten Geophysik.* (Bern.)

GUTENBERG, B. (1929): *Lehrbuch der Geophysik.* (Berlin.)

– (1931): *Handbuch der Geophysik, Bd. I.* (Berlin.)

MORELLI, C. (1951): *Studio del gravimetro Worden n. 50 e sua applicazione.....* Ann. Geofisica, *4*, N° 2.

NETTLETON, L. L. (1939): *Determination of Density for Reduction of Gravimeter Observations.* Geophysics, *4*.

NIETHAMMER, TH. (1910, 1911, 1916 und 1921): *Schwerebestimmungen in der Schweiz.* Astron.-geodät. Arb. Schweiz, *12*, *13*, *15* und *16*.

ROSENBACH, O. (1952): *A Contribution to the Computation of the "Second Derivative" from Gravity Data.* Hektogr. Mitt. EAEG.

SCHLEUSENER, A. (1940): *Nomogramme für die Geländeverbesserung von Gravimetermessungen der angewandten Geophysik.* Beitr. angew. Geophysik, *8*.

WANNER, E. (1934): *Über die Mächtigkeit der Molasseschichten.* Vjschr. Naturf. Ges. Zürich, *79*.

WEELDEN VAN, A. (1953): *On the Interpretation of Gravity Data.* Geophys. Prosp., *1*, No. 2.

YARAMANCI, A. (1953): *Eine allgemeine Methode zur gravimetrischen Gesteinsdichtebestimmung.* Diss. ETH Zürich.

C) Geologische Karten

BADER, F. (1925): *Geologische Karte des Tafeljuras zwischen Aare und Rhein, 1:25000.* Diss. Univ. Zürich.

HUG, J. (1905): *Geologische Karte, Blatt Kaiserstuhl, 1:25000.* Beitr. geol. Karte Schweiz, Nr. 36.

KAUFMANN, J., & MOESCH, C. (1913): *Dufour Bl. VIII, Aarau, Luzern, Zug, Zürich, 1:100000.* 2. Aufl.

MÜHLBERG, F. (1901): *Geologische Karte der Lägernkette, 1:25000.* Beitr. geol. Karte Schweiz, Nr. 25.

– (1904): *Geologische Karte des untern Aare-, Reuss- und Limmattales, 1:25000.* Beitr. geol. Karte Schweiz, Nr. 31.

NOTZ, R. (1924): *Geologische Karte der Ost-Lägern, 1:25000.* Diss. Univ. Zürich.

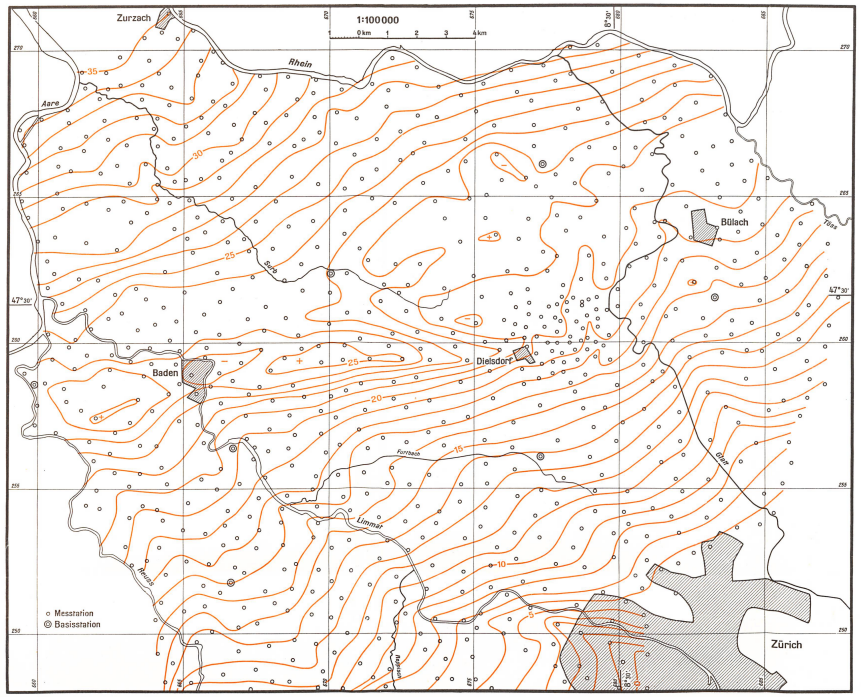
SENFTLEBEN, G. (1923): *Geologische Karte der West-Lägern, 1:10000.* Diss. Univ. Zürich.

SUTER, H. (1939): *Geologische Karte des Kantons Zürich und der Nachbargebiete, 1:150000.* Beil. Geol. Zürich, einschl. seines Exkursionsgebietes.

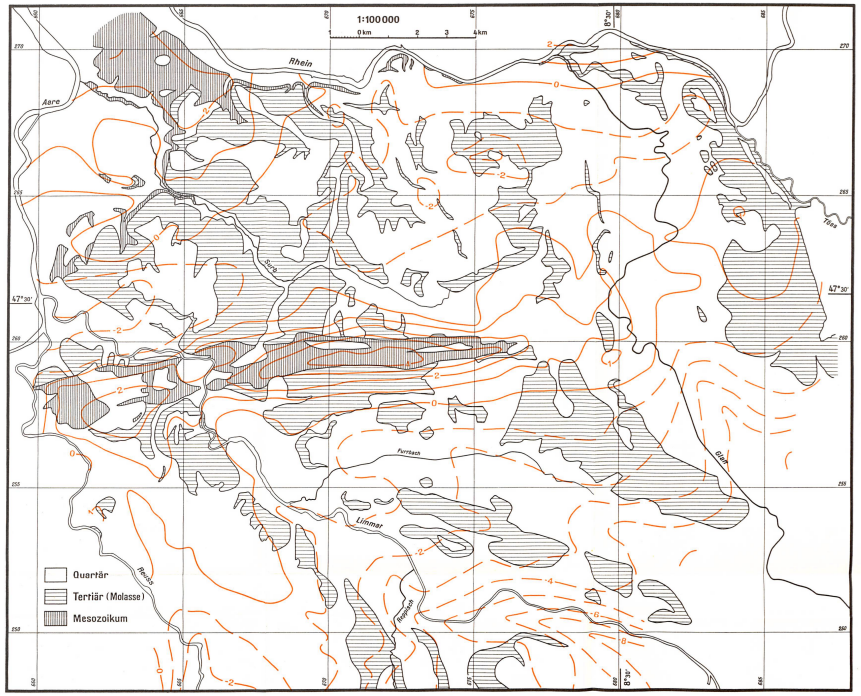
– (1944): *Glaziale Schotter zwischen Limmat, Glatt und Rhein, 1:75000.* Eclogae geol. Helv., *37*, 1.

WEBER, A. (1930): *Geologische Karte des untern Tösstales und untern Glattales, 1:25000.* Beil. H. 17/18 Mitt. Naturw. Ges. Winterthur.

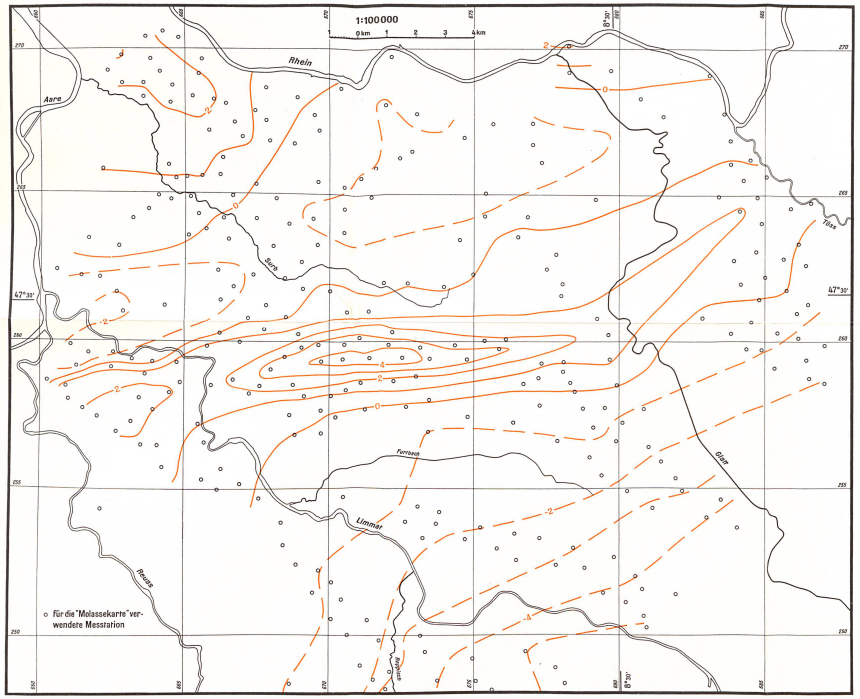
WETTSTEIN, A. (1885): *Geol. Karte von Zürich und Umgebung, 1:40000.*



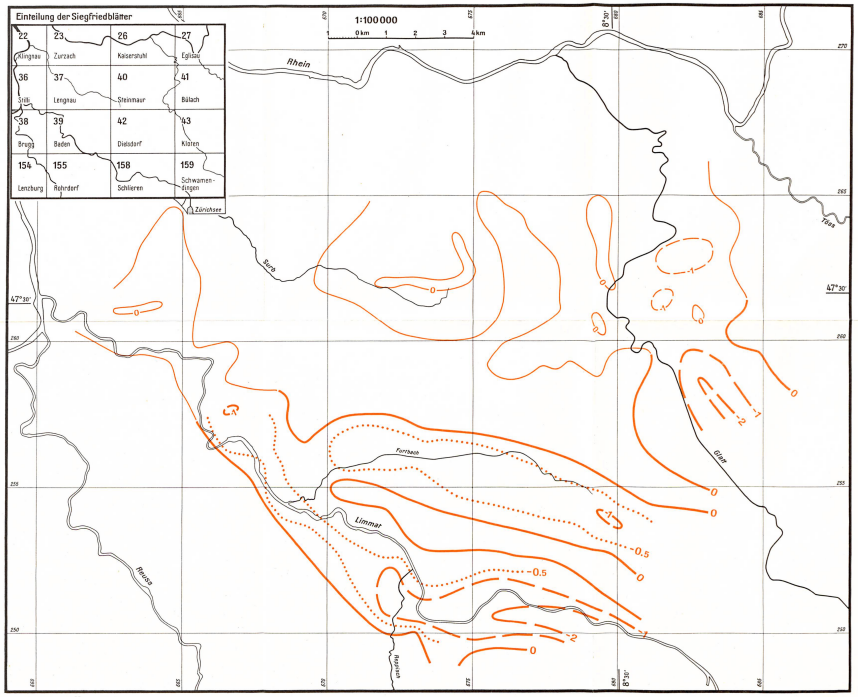
«BOUGUERKARTE I» Kurven gleicher Werte von u_1 in mgl.



«BOUGUERKARTE II» Kurven gleicher Werte von u_2 in mgl.



«MOLASSEKARTE» Kurven gleicher Werte von u_3 in mgl.



«QUARTÄRKARTE» Kurven gleicher Werte von u_4 in mgl.

Art. Institut Orell Füssli AG Zürich