Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 79 (1981)

Heft: 11

Artikel: Ausgleichungen der ersten Schweremessungen auf der Gravimetereichlinie Interlaken-Jungfraujoch

Autor: Fischer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-230688

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: 22.08.2025

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

Ausgleichungen der ersten Schweremessungen auf der Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch*

W. Fischer

Die ersten Schweremessungen auf der Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch waren mit drei verschiedenen LaCoste-Romberg-Gravimetern gleichzeitig durchgeführt worden. Sie wurden nun versuchsweise dem für die vermittelnde Ausgleichung des neuen nationalen Schwerenetzes der Schweiz entwickelten Computerprogramm unterworfen, welches kurz beschrieben wird. In mehreren Varianten wurden sowohl die Messungen der einzelnen Geräte für sich als auch die Gesamtheit aller Messungen behandelt. Dabei zeigte sich, dass die Genauigkeit der drei Gravimeter praktisch die gleiche ist. Hingegen ergaben sich deutliche Unterschiede im instrumentellen Massstab der drei Geräte.

Les premières mesures de pesanteur sur la ligne de calibration gravimétrique Interlaken–Jungfraujoch avaient été réalisées en utilisant simultanément trois différents gravimètres LaCoste-Romberg. Elles étaient alors soumises au programme d'ordinateur développé pour la compensation médiate du nouveau réseau gravimétrique national de la Suisse, qui est brièvement décrit ici. Dans plusieurs variantes on avait traîté séparément les mesures des différents gravimètres puis la totalité des mesures. La précision des trois instruments s'est montrée être pratiquement la même, alors que l'échelle instrumentale des trois gravimètres est sensiblement différente.

1. Einleitung

Seit mehreren Jahren ist in der Schweiz ein modernes nationales Schwerenetz im Aufbau begriffen. Nach Abschluss der Messungen besteht nun die Aufgabe, die unter Verwendung verschiedener Gravimeter erstellten Teilnetze durch eine strenge vermittelnde Ausgleichung zu einem einheitlichen System von Schwerestationen zu vereinigen. Eine erste Anwendungsmöglichkeit für das dafür entwickelte Computerprogramm stellte die Ausgleichung der ersten Schweremessungen auf der Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch [1] dar.

2. Das neue nationale Schwerenetz der Schweiz

Die ersten Schwerewerte in der Schweiz waren in den Jahren 1900 bis 1918 von Prof. Dr. Th. Niethammer [2] mittels eines Pendelapparates bestimmt worden. Die insgesamt 231 über das ganze Land verteilten Schwerestationen dienten als Grundlage für die Erstellung der ersten Schwerekarte der Schweiz, der sogenannten Niethammer-Karte [3].

Als Ausgangswerte für neuere Schweremessungen dienten dann die Schwerewerte von 123 Stationen des Schweregrundnetzes, von 549 Stationen einer sogenannten Testschleife über die Pässe Gotthard, Oberalp und San Bernardino sowie von 541 Stationen längs den Nivellementslinien des Réseau Européen Unifié de Nivellement (REUN). Die entsprechenden gravimetrischen Messungen waren in der kurzen Zeit von 1953 bis 1957 durchgeführt, anschliessend von Dr. E. Hunziker bearbeitet und 1959 publiziert worden [4]. Im Hinblick auf die geplante Erstellung einer neuen Schwerekarte der Schweiz waren die Stationen jedoch ungünstig verteilt, folgten sie doch ausnahmslos den Hauptlinien des Landesnivellements, also den Haupttälern.

In einer dritten Etappe wurde deshalb ein neues nationales Schwerenetz aufgebaut (Abb. 1). Bereits 1959 wurde die Erstellung eines Schwerenetzes 1. Ordnung in die Wege geleitet, dessen Stationen mit einer Dichte von einer Station auf eine Fläche von rund 200 km^2 möglichst gleichmässig über das ganze Land verteilt sein sollten [5]. Die vor allem bei der Überwindung der Alpenpässe sehr zeitraubenden Messungen mit dem Worden-Gravimeter Nr. 472 des Instituts für Geophysik der ETH Zürich erstreckten sich über mehrere Jahre (von 1962 bis 1966). Dabei zeigten sich schon bald unerwartete Widersprüche beim Anschluss an die bestehenden Schwerestationen. Als Ursache dafür fielen Spannungen im Grundlagenetz sowie temperaturbedingte Massstabsänderungen in der Messskala des Worden-Gravimeters in Betracht.

In der Folge wurde 1968 ein Kontrollnetz über 72 Hauptpunkte des Schwerenetzes 1. Ordnung gelegt, in das auch die noch nicht bestimmten zehn Stationen 1. Ordnung im Wallis sowie drei Gipfelpunkte* einbezogen wurden [6]. Für die Durchführung der Messungen wurden uns von verschiedenen Seiten die drei LaCoste-Romberg-Gravimeter G 24, G 54 und G 115 leihweise zur Verfügung gestellt.

Im Zusammenhang mit den Aufnahmen für die neue Schwerekarte wurde schliesslich 1976 ein weiteres übergeordnetes Netz gemessen, dessen 14 Stationen mit wenigen Ausnahmen mit bisherigen Kontrollnetzpunkten zusammenfielen [7]. Die Messung der 15 Dreiecks-Schleifen erfolgte unter gleichzeitigem Einsatz der beiden LaCoste-Romberg-Gravimeter G 317 und G 369 (Abb. 1).

Der Vergleich der verschiedenen Messungen zeigte auch hier, dass der geräteinterne Massstab der einzelnen Gravimeter einen wesentlichen Unsicherheitsfaktor darstellt. Aus diesem Grund sind die sieben absoluten Schwerewerte, die in den Jahren 1978 bis 1980 im Rahmen zweier Nationalfonds-Projekte bestimmt werden konnten, auch in dieser Beziehung von unschätzbarem Wert [8, 9]. Folgende Stationen sind in den drei Jahren bezogen worden (Abb. 1): 1978 Zürich und Chur, 1979 Interlaken, Jungfraujoch und Brig, 1980 Bäzberg und Guspisbach im Gotthard-Strassentunnel. Mit Hilfe dieser sieben absoluten Schwerewerte sollte es nun möglich sein, Lagerung und Massstab des nationalen Schwerenetzes der Schweiz erstmals eindeutig festzulegen.

Vorerst mussten jedoch die ‹absoluten› Stationen noch an benachbarte Stationen des Kontrollnetzes von 1968 angeschlossen werden (Abb. 1). Dies geschah 1980 und 1981 unter gleichzeitigem Einsatz der beiden LaCoste-Romberg-Gravimeter G 317 und G 514, wobei auch die ‹absoluten› Stationen selbst möglichst oft untereinander verbunden wurden.

3. Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch

Von den sieben absoluten Schwerestationen der Schweiz sind die beiden Stationen Interlaken und Jungfraujoch insofern von besonderer Bedeutung, als sie in kurzer Zeit und auf kleinem Raum erlauben, relative Schweremessungen über einen Bereich von 604,7 mGal

* Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata Nr. 21.

* Säntis, Weissfluh, M. Generoso

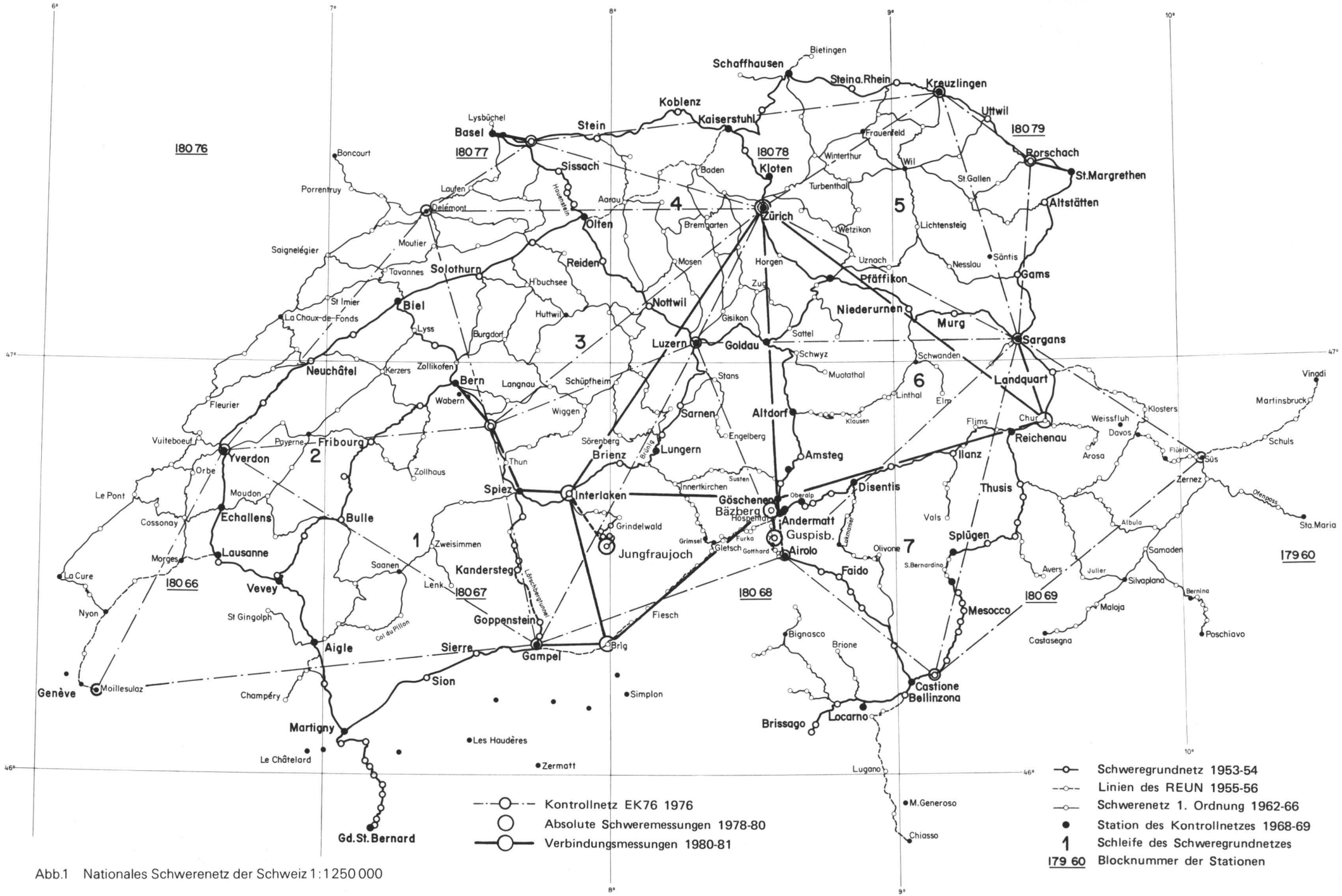

Abb.1 Nationales Schwerenetz der Schweiz 1:1 250 000

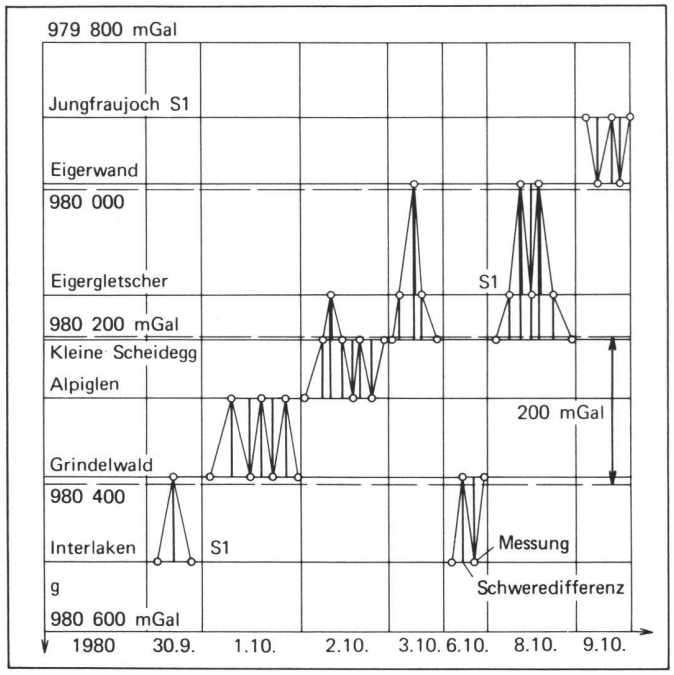

Abb. 2 Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch, Ablauf der Messungen und Ableitung der einzelnen Schweredifferenzen

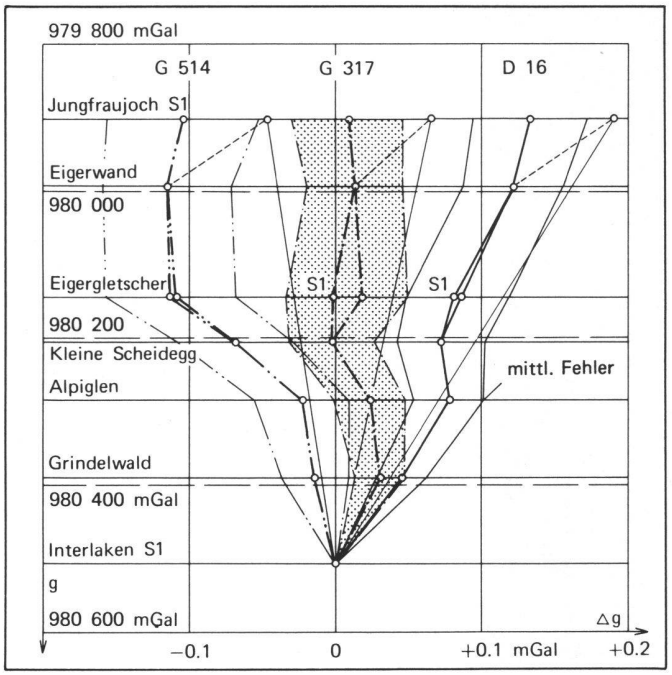

Abb. 3 Abweichungen der Schwerewerte aus den drei Ausgleichungen mit festem Massstab für die Gravimeter D 16, G 317 und G 514

(das sind $604{,}7 \cdot 10^{-5}$ ms^{-2}) zur Eichung von Gravimetern durchzuführen. Erste Vergleichsmessungen erfolgten bereits im Herbst 1980 mit den drei LaCoste-Romberg-Gravimetern D 16, G 317 und G 514. Durchführung und erste Resultate derselben sind in [1] dargestellt.

Diese Kalibrierungsmessungen erwiesen sich nun in verschiedener Hinsicht als besonders geeignet, erste Erfahrungen mit dem für die vermittelnde Ausgleichung des Schwerenetzes entwickelten Computerprogramm zu sammeln. Erstens handelt es sich um drei verschiedene Gravimeter, die gleichzeitig eingesetzt worden waren. Sodann war die Messanordnung so gewählt worden, dass die instrumentelle Drift möglichst gut erfasst werden kann. Und schliesslich liegen an den beiden Streckenendpunkten absolute Schwerewerte vor, die eine direkte Ableitung des instrumentellen Massstabs erlauben.

Das Ergebnis dieser ersten Kalibrierungsmessungen liegt in Form von abgeleiteten Schweredifferenzen vor [1, Tab. 2]; diese beziehen sich mehrheitlich auf benachbarte Stationspunkte, umfassen aber zudem noch die beiden Differenzen Alpiglen–Eigergletscher und Kleine Scheidegg–Eigerwand. Für die Ableitung der einzelnen Schweredifferenzen wurden die aufeinanderfolgenden Originalmessungen A, B, A zweier Stationen aus einer (meist) längeren Messreihe benützt, die zusammen als Zyklus bezeichnet wurden. Die instrumentelle Drift wurde durch zeitliche lineare Interpolation der Messungen in A beseitigt. Die Ergebnisse aus drei oder fünf Zyklen (nur zwei Schweredifferenzen gingen aus nur einem Zyklus hervor) wurden hierauf für jedes Instrument gesondert gemittelt, und schliesslich wurden auch noch die Schweredifferenzen der drei Gravimeter gemittelt.

In Abb. 2 sind die einzelnen Messungen in ihrer zeitlichen Anordnung und die aus ihnen abgeleiteten Schweredifferenzen graphisch dargestellt, wobei (wie auch in den nachfolgenden Darstellungen) die positive Schwereskala nach unten gerichtet ist, damit zur besseren Übereinstimmung mit den örtlichen Verhältnissen die höchste Station Jungfraujoch S1 (mit dem kleinsten Schwerewert) zuoberst ist. Aus dem Diagramm geht hervor, dass aus den 39 Messungen, die mit jedem Instrument gemacht worden waren, 30 Zyklen gebildet wurden. Dazu kommen noch drei (nicht dargestellte) Zyklen des Gravimeters D 16 zur Bestimmung der kleinen Differenz Eigergletscher–Eigergletscher S1. Es ist hervorzuheben, dass grössere Schweredifferenzen als Kleine Scheidegg–Eigerwand (ca. 211 mGal) nicht gemessen wurden. Dies hängt mit dem Messprogramm zusammen, das gleichzeitige Parallelmessungen mit allen drei Gravimetern vorsah, wobei aber der Messbereich des sogenannten µGal-Gravimeters D 16 auf etwa 200 mGal beschränkt ist. Mit den beiden G-Gravimetern allein hätte die ganze Schweredifferenz Interlaken–Jungfraujoch direkt gemessen werden können.

4. Ausgleichungsprogramm

Erste Vorabklärungen hatten zur Wahl eines Ausgleichungsmodells geführt, das die abgelesenen (bzw. vorgängig reduzierten) Schweremessungen jeder Station vermittelnd ausgleicht. In letzter Zeit hat sich allgemein die Auffassung vermehrt durchgesetzt, dass dieses Modell dem Vorgehen bei Schweremessungen mit LaCoste-Romberg-Gravimetern in Messreihen besser entspricht als die Bildung und Ausgleichung von Schweredifferenzen.

In einem Datenaufbereitungsprogramm werden die Messungen vorgängig der Ausgleichung wegen Instrumenteneichung, Erdgezeiten und Höhe gegenüber dem Bezugspunkt reduziert. Durch die Ausgleichung wird dann jede derart reduzierte Schweremessung mit einem – und nur einem – Schwerewert G verknüpft, welcher bekannt oder unbekannt sein kann. Alle Messungen ein und derselben Messreihe müssen zudem mit einem Niveauparameter N versehen werden, um sie vom internen Instrumentenniveau auf das Schwereniveau des Schwerenetzes überzuführen. Schliesslich ist für jedes beteiligte Gravimeter ein Massstabsparameter M einzuführen. Daraus ergibt sich ein sehr einfaches funktionales Modell.

Die Verbesserungsgleichungen sind demzufolge bereits linear, so dass sich eine Linearisierung erübrigt, nämlich:

$$L + v = G - N - (L/1000) \cdot M$$

L = (vorgängig reduzierte) Beobachtung in mGal
G = Schwerewert in mGal
N = Niveaukorrektur für eine Messreihe in mGal
M = Massstabskorrektur für ein Gravimeter in ‰.

Für die praktische Rechnung werden jedoch wie bei einer Linearisierung die Parameter durch Näherungswerte und aus der Ausgleichung zu bestimmende Änderungen ersetzt, so dass gilt:

$G = G_0 + g,$
$N = N_0 + n,$
$M = M_0 + m.$

Ferner wird $L = L_0 + l$ gesetzt. Damit nehmen die Verbesserungsgleichungen folgende Gestalt an:

$$L_0 + l + v = G_0 + 1 \cdot g - N_0 - 1 \cdot n - (L/1000) \cdot M_0 - (L/1000) \cdot m$$

Für die Näherungswerte gilt nach dem funktionalen Modell die Beziehung:

$$L_0 = G_0 - N_0 - (L/1000) \cdot M_0$$

so dass mit $l = L - L_0$ die Fehlergleichungen resultieren:

$$v = +1 \cdot g - 1 \cdot n - (L/1000) \cdot m - l$$

Vorläufig werden alle Beobachtungen l gleichgewichtig (mit p = 1) behandelt.
Die Fehlergleichungsmatrix hat damit einen sehr einfachen Aufbau und ist dementsprechend auch einfach zu bilden. Jede Zeile enthält höchstens drei Koeffizienten (bei Messungen auf Festpunkten nur deren zwei), nämlich +1, −1 und −(L/1000).
Die in einem umfangreichen Schwerenetz auftretenden grossen Mengen von Beobachtungen und Unbekannten legen es nahe, auf die Bildung und die Inversion der Normalgleichungsmatrix zu verzichten. Stattdessen wird die Methode der konjugierten Gradienten [10] angewendet, bei welcher nur die wenigen von 0 verschiedenen Fehlergleichungskoeffizienten gespeichert werden müssen und welche sich schon früher bei der Ausgleichung von Schweremessungen bewährt hat [6]. Die Q-Matrix wird dabei allerdings nicht automatisch erhalten. Einzelne Kolonnen derselben, so für die Massstabsunbekannten und für besonders interessierende – und zu diesem Zweck einzugebende – Schwereunbekannte, können jedoch berechnet werden, damit sich die mittleren Fehler dieser Unbekannten sowie die entsprechenden relativen Fehler bestimmen lassen.
Da es sich bei der Methode der konjugierten Gradienten um eine Iterationsmethode handelt, hängt die Genauigkeit der Lösung wesentlich von der Anzahl der Iterationsschritte ab. Zur Überprüfung der Lösung wurde deshalb ermöglicht, dass die Beobachtungen zusätzlich einer konventionellen Ausgleichung unterworfen werden können, wobei das Matrizenmanipulationsprogramm SMIS [11] wertvolle Dienste leistete. Das Ausgleichungsprogramm wurde zu diesem Zweck derart ergänzt, dass bei entsprechender Wahl eines Steuerparameters die bereits gebildeten Fehlergleichungskoeffizienten mit ihren zugehörigen Indizes in SMIS-gerechter Form ausgegeben werden. Aus diesen können dann anschliessend mit Hilfe von SMIS die Normalgleichungsmatrix und alle weiteren erforderlichen Matrizen gebildet werden.
Die nachfolgend beschriebenen Ausgleichungen der Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch haben gezeigt, dass beide Methoden zu den gleichen Resultaten führen.

5. Ausgleichungsresultate

In seiner derzeitigen Gestaltung erlaubt das Programm unter anderem, durch Wahl entsprechender Steuerparameter verschiedene Arten von Ausgleichungen auszuführen. So ist es insbesondere auch möglich, einem instrumentellen Massstab einen festen Wert zuzuweisen oder ihn durch die Ausgleichung bestimmen zu lassen.

5.1 Ausleichungen mit festem Massstab

Zur Beurteilung der einzelnen Messreihen wurden vorerst, ausgehend vom bekannten Schwerewert für Interlaken S1, die Messungen der drei Gravimeter mit festem Massstab je für sich ausgeglichen. Zur Herstellung der Beziehung zwischen den beiden Stationen Eigergletscher und Eigergletscher S1 mussten allerdings bei allen drei Serien auch die entsprechenden Messungen mit dem Gravimeter D 16 miteinbezogen werden.
Als mittlere Fehler einer Beobachtung resultierten für alle drei Gravimeter ähnliche Werte, nämlich:
D 16 : $m_e = \pm 0{,}022$ mGal
G 317 : $m_e = \pm 0{,}022$ mGal
G 514 : $m_e = \pm 0{,}029$ mGal
Dies bedeutet, dass die Genauigkeit der drei Gravimeter praktisch die gleiche ist, d. h. dass auch die Genauigkeit des sogenannten µGal-Gravimeters D 16 sich bei den vorliegenden Messungen als nicht besser erwies als diejenige der gewöhnlichen G-Gravimeter.
Die festgestellten Messfehler sind relativ gross, verglichen mit der eigentlichen Ablesegenauigkeit, die in [1] mit 0,01 mGal für die G-Gravimeter und mit 1 µGal für das D-Gravimeter angegeben wird. Die Beantwortung der Frage, wieweit sie allenfalls durch instrumentelle Drift beeinflusst sind, muss aber einer weiteren Untersuchung vorbehalten bleiben. In [1] werden zwar bei allen drei Gravimetern für die stündliche Drift Werte bis zu 0,03 mGal ausgewiesen, doch zeigen diese eine ausgesprochen zufällige Verteilung [1, Fig. 1], so dass sie nur schwer mathematisch erfassbar sein dürften.
Die Schwerewerte der Stationen Grindelwald bis Jungfraujoch S1 erfuhren bei diesen Ausgleichungen bei jedem der drei Gravimeter Änderungen bis zur Grössenordnung 0,10 mGal gegenüber den aus den gemittelten Schweredifferenzen in [1] vom Schwerewert für Interlaken S1 abgeleiteten Näherungswerten. Diese Schwereänderungen sind in Abb. 3 graphisch in Funktion der Schwere dargestellt, wobei sich bei allen drei Gravimetern eine gewisse Nichtlinearität zeigt. Diese weist aber nicht etwa auf eine Nichtlinearität des instrumentellen Massstabs hin, sondern ist lediglich darauf zurückzuführen, dass die zugrundeliegenden gemittelten Schweredifferenzen in [1] nur ‹von Hand› ausgeglichen worden waren.
Stellt man hingegen die ausgeglichenen Schwerewerte für die Station Jungfraujoch S1 dem aus der absoluten Schweremessung Jungfraujoch abgeleiteten Wert gegenüber (gestrichelte Linien in Abb. 3), so ergeben sich dort folgende Abweichungen:
D 16 : $\Delta g = +0{,}190 \pm 0{,}039$ mGal
G 317 : $\Delta g = +0{,}065 \pm 0{,}038$ mGal
G 514 : $\Delta g = -0{,}047 \pm 0{,}051$ mGal
Die mittleren Fehler der ausgeglichenen Schwerewerte für Jungfraujoch S1 sind fast doppelt so gross wie die mittleren Fehler einer Beobachtung, was bei den zahlreichen Hin- und Rückmessungen zunächst etwas erstaunen mag. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass die Schweredifferenz Interlaken–Jungfraujoch nie direkt gemessen wurde, sondern immer nur in einzelnen Teilstücken (Abb. 2). Daraus erklärt sich auch die ziemlich stetige Zunahme des mittleren Fehlers der Schwerewerte mit der Höhe (Abb. 3).
Aus den gefundenen Schwereabweichungen auf dem Jungfraujoch lassen sich nun über die gesamte Schweredifferenz von −604,2 mGal folgende Massstabsabweichungen der einzelnen Gravimeter ableiten:
D 16 : $\Delta M = -0{,}314 \pm 0{,}064$‰
G 317 : $\Delta M = -0{,}107 \pm 0{,}063$‰
G 514 : $\Delta M = +0{,}078 \pm 0{,}084$‰

5.2 Ausgleichungen mit unbekanntem Massstab

Die Ausgleichungen mit je einer Massstabskorrektur als Unbekannten führten für alle drei Gravimeter selbstverständlich auf die gleichen mittleren Fehler einer Beobachtung wie unter 5.1. Diese Unbekannte trat nämlich einfach an die Stelle des unbekannten Schwerewertes für Jungfraujoch S1, für den nun der aus der absoluten Schweremessung abgeleitete Wert als Festwert eingeführt wurde.
Für die drei Gravimeter resultierten aus den drei Ausgleichungen folgende Werte für die Massstabskorrektur:
D 16 : $M = +0{,}314 \pm 0{,}064$‰
G 317 : $M = +0{,}107 \pm 0{,}063$‰
G 514 : $M = -0{,}079 \pm 0{,}085$‰

Für alle Zwischenpunkte hingegen lieferten die Ausgleichungen Schwereänderungen gegenüber den gleichen Näherungswerten wie unter 5.1; diese sind in Abb. 4 in Funktion der Schwere dargestellt. Infolge der Interpolation zwischen den beiden Schwerewerten Interlaken und Jungfraujoch werden die mittleren Fehler der ausgeglichenen Schwerewerte kleiner als bei 5.1. Dagegen verursacht der mittlere Fehler der Massstabskorrektur eine zusätzliche Komponente an diesen mittleren Fehlern. Selbstverständlich müsste aber auch der mittlere Fehler der absoluten Schweremessungen berücksichtigt werden, worauf aber in diesem Zusammenhang bewusst verzichtet wurde.

5.3 Gesamtausgleichung

Die in Abb. 3 deutlich zutage getretene Diskrepanz zwischen den drei Gravimetern verbietet es, sämtliche Messungen unverändert ‹in einen Topf› zu werfen. Hingegen ist es absolut sinnvoll, sie einer Gesamtausgleichung zu unterwerfen, sofern jedes Gravimeter mit einer individuellen unbekannten Massstabskorrektur versehen wird.

Die Gesamtausgleichung mit drei Massstabsunbekannten führte auf einen mittleren Fehler einer Beobachtung von ±0,025 mGal, wobei sich für die drei Gravimeter eine ähnliche anteilsmässige Verteilung ergab wie unter 5.1, nämlich:

D 16 : m_e = ± 0,022 mGal
G 317 : m_e = ± 0,023 mGal
G 514 : m_e = ± 0,031 mGal

Sie bestätigte somit die aus den individuellen Ausgleichungen abgeleitete Genauigkeit. Für die Beurteilung der Messungen dürfte sie jedoch massgebender sein als jene, da hier z. B. kleine Abweichungen einzelner Gravimeter, wie sie Abb. 4 etwa bei den Stationen Eigergletscher und Eigerwand zeigt, zur Auswirkung kommen. Darin besteht ja der besondere Wert einer Gesamtausgleichung, dass sie Messungen verschiedener Gravimeter miteinander verknüpft. In dieser gegenseitigen Beziehung liegt denn auch in erster Linie die noch auszuschöpfende Möglichkeit, konkretere Aussagen über das Verhalten der einzelnen Gravimeter abzuleiten.

Für die Massstabskorrekturen der drei beteiligten Gravimeter lieferte die Gesamtausgleichung folgende Werte:

D 16 : M 16 = + 0,315 ± 0,068‰
G 317 : M 317 = + 0,130 ± 0,068‰
G 514 : M 514 = − 0,111 ± 0,068‰

Die Abweichungen der aus allen drei Gravimetern gesamthaft bestimmten Schwerewerte der Zwischenpunkte von den aus [1] abgeleiteten Werten sind in Abb. 5 dargestellt.

6. Schlussbetrachtungen

Am Beispiel der Gravimetereichlinie Interlaken–Jungfraujoch hat sich ergeben, dass das Ausgleichungsprogramm für das neue nationale Schwerenetz der Schweiz in der derzeitigen Form ein brauchbares Instrument für die Lösung verschiedener Varianten darstellt. Die einzelnen Ausgleichungen haben zudem gezeigt, dass die drei zum Einsatz gekommenen Gravimeter deutliche Unterschiede im instrumentellen Massstab aufweisen. Die relativ grossen Beobachtungsfehler weisen schliesslich darauf hin, dass das Verhalten der einzelnen Gravimeter aufgrund des umfangreichen Datenmaterials noch eingehender untersucht werden kann und muss.

Abschliessend sei dankbar anerkannt, dass in der Schweiz eine solche Gravimetereichlinie installiert und bereits mit drei verschiedenen Gravimetern vermessen wurde, was die vorliegende Untersuchung überhaupt erst ermöglicht hat. Die Resultate stellen zudem eine Ermutigung dar, die relativen Schweremessungen mit den bisherigen sowie mit weiteren Gravimetern zu wiederholen. Ausserdem weisen sie auf die Wünschbarkeit weiterer absoluter Schweremessungen hin, so z. B. auf der Kleinen Scheidegg in der Mitte der Linie, um nicht nur das lineare Massstabsverhalten der Gravimeter, sondern auch einen allfälligen nichtlinearen Anteil feststellen zu können.

Die dieser Untersuchung zugrundeliegenden absoluten und relativen Schweremessungen wurden vom Schweiz. Nationalfonds* und von der Schweiz. Geodätischen Kommission finanziell unterstützt. Für die Überlassung des gesamten Beobachtungsmaterials auf der Gravimetereichlinie danke ich Herrn Dr. Emile Klingelé, Mitarbeiter der Schweiz. Geophysikalischen Kommission. Dank schulde ich auch Herrn Prof. Dr. Hans-Rudolf Schwarz, Seminar für Angewandte Mathematik der Universität Zürich, für die wertvolle Beratung im Zusammenhang mit der Anwendung der Methode der konjugierten Gradienten.

*Projekte Nr. 2.871-0.77 und 2.629-0.80

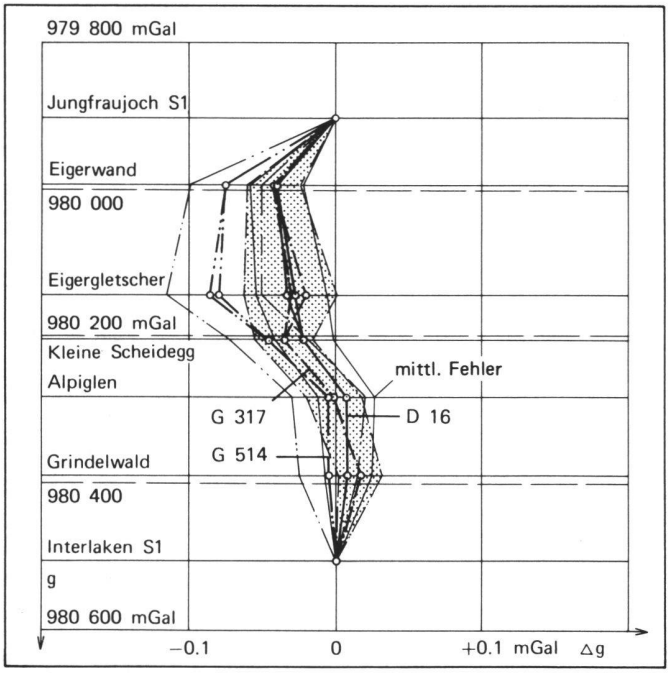

Abb. 4 Abweichungen der Schwerewerte aus den drei Ausgleichungen mit unbekannter Massstabskorrektur für die Gravimeter D 16, G 317 und G 514

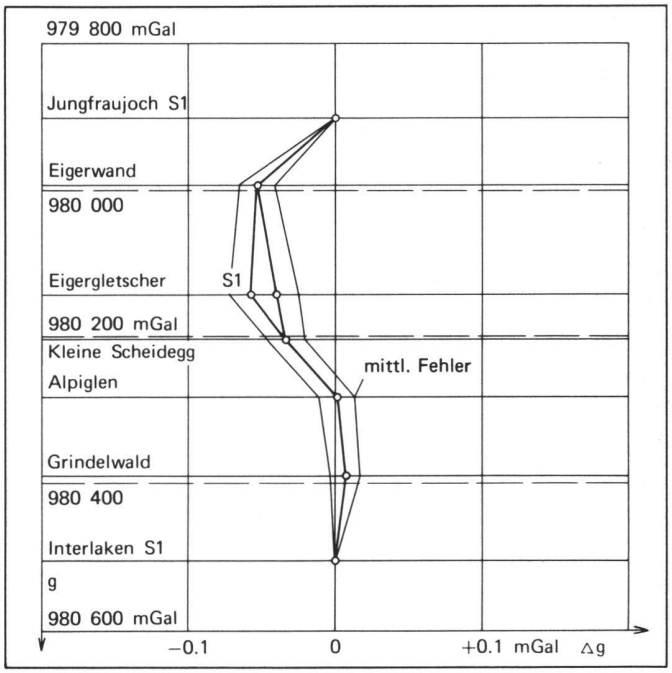

Abb. 5 Abweichungen der Schwerewerte aus der Gesamtausgleichung mit unbekannten Massstabskorrekturen für die drei Gravimeter D 16, G 317 und G 514

Literatur

[1] Klingelé, E., Kahle, H.-G.: Une ligne de calibration gravimétrique Interlaken–Jungfraujoch (Suisse). Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 1/81, S. 10–13.

[2] Niethammer, Th.: Schwerebestimmungen in den Jahren 1900 bis 1918. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Bände 12, 13, 15, 16, Zürich 1910, 1911, 1916, Basel 1921.

[3] Niethammer, Th.: Schwerebestimmungen in den Jahren 1915 bis 1918. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 16, Basel 1921.

[4] Hunziker, E.: Gravimetermessungen in den Jahren 1953 bis 1957. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 25, Wabern 1959.

[5] Hunziker, E.: Entwurf eines schweizerischen Schwerenetzes erster Ordnung. Protokoll der 106. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1960, S. 13–18.

[6] Fischer, W.: Ausgleichung des Kontrollnetzes über das schweizerische Schwerenetz. Bericht an die Schweiz. Geodätische Kommission, Mai 1970, 20 Seiten.

[7] Klingelé, E.: Le réseau de contrôle EK76. Bericht an die Schweiz. Geophysikalische Kommission, März 1977, 5 Seiten.

[8] Kahle, H.-G., Cagienard, P. J., Müller, St., Marson, I. und F. Chaperon: Absolute Schweremessungen in der Schweiz als Basis für geodynamische Untersuchungen zur aktuellen Alpentektonik. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 7/81, S. 221–228.

[9] Marson, I., Kahle, H.-G., Müller, St., Chaperon F. und F. Alasia: Absolute gravity measurements in Switzerland: Definition of a base network for geodynamic investigations and for the Swiss fundamental gravity net. Bulletin géodésique, im Druck.

[10] Schwarz, H. R.: Die Methode der konjugierten Gradienten in der Ausgleichsrechnung. Zeitschrift für Vermessungswesen, 4/70, S. 130–140.

[11] Rüedin, B.: SMIS Matrizenmanipulationsprogramm. ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 36, November 1979, 105 Seiten.

Adresse des Verfassers:
Werner Fischer, Dipl. Ing.
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Rezente Krustenbewegungen entlang steilstehenden Bruch- und Kluftsystemen im Gebiet Mattmark – Allalingletscher, Walliser Alpen

N. Pavoni

Ein ausgedehntes Netz von Feinbrüchen, welche auch quartäre Ablagerungen, Moränen, Alluvionen, Gehängeschutt durchsetzen, kann im Gebiet des oberen Saastales beobachtet werden. Offenbar hängt die Entstehung dieser Feinbrüche mit wiederholten, kleinen Bewegungen entlang den Bruch- und Kluftsystemen des Felsuntergrundes zusammen.

Mouvements tectoniques récents le long des systèmes de failles dans la région de Mattmark – Glacier d'Allalin, Vallée de Saas.
Un réseau étendu de failles peu apparentes affectant les dépôts quaternaires et récents, moraines et alluvions, est observé dans la région de la Vallée de Saas supérieure. Evidemment, les mouvements actuels sont dus à des mouvements très petits et répétés le long des systèmes de fracture dans la roche sousjacente.

I. Einführung

Im Gebiet des oberen Saastales wird der Felsuntergrund, bestehend vorwiegend aus Orthogneisen und Paragesteinen der Monte Rosa-Decke, durch mehrere steilstehende Bruchsysteme intensiv zerschert. Eine eingehendere Untersuchung zeigt, dass nicht nur der Fels, sondern auch die quartären Ablagerungen, wie Moränen, Alluvionen der Saaser Vispa, Gehängeschutt (Abb. 1), von Bruchlinien dieser Bruchsysteme zerschnitten werden. Ebenso erscheint der Erddamm des Stausees von Mattmark von mehreren Systemen sehr feiner Bruchlinien durchsetzt. Abbildung 2, gezeichnet aufgrund einer Luftaufnahme der Eidg. Vermessungsdirektion vom 13. September 1974, vermittelt einen Eindruck von der grossen Zahl von Bruchlinien, welche sowohl die Allalinmoränen als auch den vom Allalingletscher freigegebenen Felsuntergrund zerschneiden. Dabei handelt es sich nur um einen Teil der tatsächlich vorhandenen Brüche. Im folgenden sollen kurz einige besondere Beobachtungen an diesen jungen Brüchen und daraus ableitbare Aussagen mitgeteilt werden.

Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Mitteilung No. 339

II. Beobachtungen am Bruchnetz im Gebiet von Mattmark

Folgende Feststellungen, welche vor allem aufgrund von Luftaufnahmen gewonnen wurden, erscheinen bemerkenswert:

1. Die Brüche zerschneiden auch allerjüngste, holozäne Ablagerungen.
2. Die Brüche treten auch im Lockergestein in grosser Zahl, in eigentlichen Scharen auf. Manchmal entsteht durch die enge, parallele Scharung der Bruchflächen eines Systems der Eindruck wie von einer Art ‹Schieferung›.
3. Auf den Luftaufnahmen lässt sich in mehreren Fällen erkennen, dass die im Lockergestein festgestellten Bruchflächen sich direkt in Bruch- und Kluftflächen des Felsuntergrundes fortsetzen.
4. Die Bruchlinien verlaufen im Grundriss auffallend geradlinig. Einzelne Bruchlinien lassen sich bis mehrere hundert Meter, einzelne Bruchscharen über mehrere Kilometer verfolgen.
5. Die einzelnen vertikalen Versetzungsbeträge sind im allgemeinen sehr gering. Horizontale Verschiebungen sind schwierig zu erfassen.
6. Die Brüche der verschiedenen Systeme überschneiden sich gegenseitig und bilden an der Oberfläche ein ausgedehntes Bruchliniennetz, welches sich über das ganze Untersuchungsgebiet erstreckt. Eine systematische Altersabfolge der Bewegungen nach Systemen ist soweit nicht erkennbar. Offenbar wurden alle genannten Bruchsysteme jung bewegt. Infolge der sehr geringen vertikalen Versetzungsbeträge erscheinen die Brüche dieses Bruchnetzes im Gelände als unscheinbare, geradlinige, unter sich oft parallele, sehr feine Linien, die auch dem geschulten Auge oft nur bei guter Beleuchtung und besonders aufmerksamer Betrachtung erkennbar sind. Diese jungen Brüche nenne ich hier Feinbrüche.
7. Ältere fotografische Aufnahmen des Mattmark-Gebietes zeigen sehr klar, dass das Feinbruchnetz schon vor dem Aufstau des Sees im ganzen Gebiet in ebenso weiter Verbreitung wie heute vorhanden war.