

Die Hebung der Alpen aus dem Vergleich des "Nivellement de Précision" der Schweizerischen Geodätischen Kommission mit den Landesnivellementen der Eidgenössischen Landestopographie

Autor(en): **Kobold, F.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **75 (1977)**

Heft 4

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-228759>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Hebung der Alpen aus dem Vergleich des «Nivellement de Précision» der Schweizerischen Geodätischen Kommission mit den Landesnivellementen der Eidgenössischen Landestopographie

F. Kobold

Résumé

Si l'on compare les altitudes des nivellements suisses de précision des années 1965–1974 avec celles des années 1903–1927 la surrection des alpes qui suit des réflexions géologiques est affirmée. La recherche ici présentée veut montrer, si cette surrection peut être prouvée aussi pour la période antérieure en analysant le premier nivellement de précision, exécutée par la commission géodésique suisse dans les années 1865–1887.

On savait d'avance que le résultat serait douteux à cause de la précision médiocre de cette ancienne opération. Les erreurs indiquées par la commission sont très grandes et par conséquent des surrections de plusieurs centimètres seulement autorisent à y croire.

En effet, pour aucune des lignes considérées une surrection peut être démontrée. Mais il est pourtant intéressant que les graphiques des différences des altitudes entre le nivellement de précision de 1903–1927 et l'ancien nivellement de précision de 1867–1891 montrent des surrections aux mêmes endroits que la comparaison des nivellements de 1965–1974 et de 1903–1927.

1. Ziel der Untersuchungen

Als F. Jeanrichard, Ingenieur der Eidgenössischen Landestopographie, im Jahr 1972 in einem viel beachteten Artikel [1] in der Schweizerischen Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik durch Vergleichen der Höhen aus alten und aus neuern Präzisionsnivellementen nachweisen konnte, dass sich der Alpenkörper hebe, erweckte er damit das Interesse der Geodäten und bestätigte moderne Auffassungen der Geologen über die Alpenbildung. Die Differenzen zwischen alten und neuen Höhen waren allerdings nicht so gross, als dass man sie nicht auch durch das Zusammenwirken systematischer Fehler, insbesondere durch Unsicherheiten in den Lattenlängen, hätte erklären können. Als Grund dieser Unsicherheiten hätte man die Eichung der Miren und den Umstand anführen müssen, dass die beim Nivellieren tatsächlich vorhandene Länge der Mire immer unbekannt sein wird. Die Zweifel am Vorhandensein von Hebungen mussten jedoch verschwinden, als man sich vergegenwärtigte, dass französische Nivellemente in den Meereralpen und österreichische in den Hohen Tauern analoge Hebungen von ungefähr gleichem Betrag zeigen. F. Jeanrichard hatte für seine Untersuchung die Höhen des Schweizerischen Landesnivellementes aus der Zeit von 1903 bis 1927 (LN_1) mit denen des Landesnivellementes aus der Zeit von 1964 bis 1974 (LN_2) verglichen. Das Landesnivellement LN_1 war indes nicht das erste Präzisionsnivellement der Schweiz. Das älteste,

einigermaßen genaue Höhennetz, das Nivellement de Précision de la Suisse (NdP), hatte die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) in den Jahren 1865 bis 1887 geschaffen. Mit dem von der Eidgenössischen Landestopographie (LT) in den Jahren 1903 bis 1927 beobachteten und berechneten Präzisionsnivellement LN_1 sollte ursprünglich nur das alte Netz der SGK wieder hergestellt werden, da im Laufe der Zeit viele Punkte verlorengegangen waren. Das LN der LT zeigt daher den gleichen Aufbau wie das NdP der SGK.

Der Gedanke lag nun nahe, zum Studium der Hebung der Alpen auch die Höhen der noch vorhandenen Punkte des NdP in die Untersuchung einzubeziehen. Schon bei der ersten Besprechung wurden Zweifel am Gelingen geäußert, da das NdP lange nicht so genau ist wie das LN . Über dessen trotz vieler Anstrengungen nur mässige Genauigkeit waren sich übrigens die Schöpfer bereits vor 100 Jahren im klaren, und sie suchten mit Recht die Ursache im nicht genau genug bestimmten Lattenmeter. Die Genauigkeit des alten Präzisionsnivellementes wird auch in den folgenden Darlegungen ein ausführlich zu behandelnder Gegenstand sein.

Da die LT wegen anderen für die praktische Landesvermessung wichtigeren Aufgaben die geplante Untersuchung über die Verwendung des NdP nicht durchführen kann, erklärte sich der Verfasser des vorliegenden Artikels vor längerer Zeit bereit, sich der Aufgabe zu unterziehen. Er beurteilte damals den Umfang aller Arbeiten zu optimistisch, so dass er sich gezwungen sah, vorläufig nur die Linien im Alpengebiet zu untersuchen, für welche die LT bereits Vergleiche ihrer neueren Nivellemente angestellt hatte. Es sind dies gemäss Abbildung 1

1. Schwyz–Andermatt–Gotthard–Bellinzona–(Mendrisio),
2. Rorschach und Pfäffikon–Sargans–Chur–Disentis–Andermatt.

Das im folgenden angewandte Verfahren besteht darin, die Höhen des NdP und des LN_1 aus den Beobachtungen von den Ausgangspunkten aus zu berechnen. Die Differenzen aus Höhen des LN_1 minus Höhen des NdP werden hernach graphisch dargestellt und mit den von der LT für die zweite Zeitspanne gefundenen Differenzen LN_2 – LN_1 verglichen.

2. Das «Nivellement de Précision» (NdP) 1865 bis 1887 der SGK

Da die Schweiz bis etwa 1860 ein einheitliches Höhensystem nicht besass, erteilte das Eidgenössische Departement des Innern der kurz vorher gegründeten SGK den Auftrag, ein das ganze Land umfassendes Nivellementsnetz hoher Präzision zu schaffen. Der Mangel eines solchen hatte sich namentlich bei Ingenieurvermessungen, wo der Eisenbahnbau im Vordergrund stand, fühlbar gemacht. Die Durchführung des Nivellementes lag in den Händen der Professoren Hirsch von Neuenburg und Plantamour von Genf, beide Direktoren der örtlichen Sternwarten. Ein besonderes Verdienst erwarb sich die SGK mit dem bei der mitteleuropäischen Gradmessung eingereichten Antrag, es solle ein einheitliches euro-

päisches Nivellementsnetz geschaffen werden. Für sie ging es dabei auch darum, eine gute Höhe für den Nullpunkt – Pierre du Niton – zu erhalten. Die Anregung lag im Interesse aller europäischen Länder und wurde zum Beschluss erhoben.



Abbildung 1 Übersicht der untersuchten Nivellementslinien

Die Beobachtungen des NdP erfolgten in den Jahren 1865 bis 1887; die Berechnungen waren im Jahre 1891 abgeschlossen und publiziert. Diese Publikation von Hirsch und Plantamour, das «Nivellement de Précision de la Suisse» [2], das im gesamten 10 Lieferungen umfasst, verdient hier besondere Erwähnung. Es ist in bezug auf Aufbau, Übersicht und Inhalt vorbildlich und zeugt von der Sorgfalt, mit der vor 100 Jahren wissenschaftliche Publikationen bearbeitet wurden. Besäßen diese Lieferungen nicht ihre hohe Qualität, wäre es für den Bearbeiter noch mühsamer gewesen, die an sich schon mühevollen Untersuchung über eine Hebung der Alpen im Zeitraum zwischen dem NdP von 1865 bis 1887 und dem LN1 von 1903 bis 1927 durchzuführen. Die Nivellementsmethoden sind ausführlich in [2] und, auf das Wesentliche beschränkt, in [3] und [6] beschrieben. Hier sei nur darauf hingewiesen, dass, wie übrigens auch im Ausland, die Instrumente ganz zerlegbar waren und dass in allen vier Lagen beobachtet wurde. Die Li-

bellen wurden wegen der sehr hohen Empfindlichkeit von 2" bis 3" pro pars nicht genau in der Mitte der Teilung eingespielt, sondern es wurden die Blasenenden bei ungefähr einspielender Blase abgelesen, die Neigungen der Zielaxen berechnet und die Lattenablesungen auf die Horizontale korrigiert. Die Ablesungen auf der Latte erfolgten an allen drei Fäden des Fadenkreuzes. Die Latenteilung betrug 1 cm, die Bilder der Fäden auf der Latte mussten daher eingeschätzt werden. Man wundert sich nicht, wenn in den Publikationen immer wieder darauf hingewiesen wird, wie mühsam die Methode sei und wie viel Zeit sie beanspruche. Es kann aber nicht bestritten werden, dass die Genauigkeit bei den Versuchsstrecken und bei den flachen Strecken des Landesnetzes erstaunlich gut war. Der mittlere Kilometerfehler des Doppelnivellementes lag bei den ersten unter ± 1 mm, bei den zweiten zwischen ± 1 und ± 2 mm. In den Publikationen wird aber auch angeführt, wie sehr die Genauigkeit von den Witterungsbedingungen abhängt. Auch darüber braucht man sich nicht zu wundern, weiss man doch, wie schwer es bei Libelleninstrumenten ist, die Lage der Libellenblase bei Wind oder bei wechselnder Temperatur einzuschätzen. Wie viel schwieriger muss das damals gewesen sein, als die Libellen vor Temperatureinwirkungen kaum geschützt waren.

Wenn das NdP schon vor 100 Jahren den Genauigkeitsanforderungen nicht entsprach und trotz des sehr grossen Aufwandes enttäuschte, so lag das indes nicht am Nivellierinstrument und nicht am Nivellierverfahren. Es lag vielmehr daran, dass man die Länge des Lattenmeters nicht genau genug kannte. Verwendet wurden zwei Holzlatten von Kern, Aarau, von denen auch in Deutschland, wo der gleiche Typ eingesetzt war, gesagt wurde, sie seien in bezug auf Genauigkeit der Teilung Meisterwerke [4]. Die für das NdP Verantwortlichen waren sich der ausschlaggebenden Bedeutung der Kenntnis des genauen Lattenmeters bewusst, und so waren sie um zuverlässige Eichungen, die zum Teil bei der Eidgenössischen Eichstätte in Bern, zum Teil auf einer besonderen Anlage in Neuenburg durchgeführt wurden, besorgt. Die Einrichtungen in Bern galten übrigens als so gut, dass auch ausländische Stellen dort ihre Latten eichten, wobei man hoffte, das europäische Nivellementsnetz erhalte auf diese Art einen einheitlichen Massstab. Obwohl sich die SGK über die Bedeutung der Kenntnis des genauen Lattenmeters klar war, ist es unverstänlich, dass sie Eichungen nur im Frühjahr und Herbst durchführen liess, wobei gelegentlich bei recht hohen oder tiefen Luftfeuchtigkeiten und Temperaturen gemessen wurde. Die Leiter des Nivellementes nahmen dabei in Kauf, dass Differenzen des Lattenmeters bis zu 0,3 mm gegenüber dem Mittelwert auftraten. Man hoffte, dass sich bei der Bildung der Summen über längere Nivellementsstrecken die Abweichungen vom Sollwert kompensieren würden. Es wäre schon damals leicht gewesen, auf Grund der in Lieferung 10 enthaltenen Eichwerte die Änderungen der Lattenlänge als Funktion von Temperatur und Luftfeuchtigkeit darzustellen.

Die Qualität der alten Eichenrichtungen wird übrigens durch eine spätere Eichung, die H. Zölly [3] im Jahr 1943 für die Mire I durchführen liess, bestätigt. Er fand als mittleren Lattenmeter bei «mittleren Verhältnissen»

1,000691 m, während sich aus alten Messungen ein Wert von 1,000669 m ergeben hatte. Es berührt eigenartig, dass die Autoren der alten Bände an eine ständige Änderung des Lattenmeters zufolge Änderung der atmosphärischen Zustände nicht glauben wollten, und dass sie, nachdem aus den Beobachtungen diese Änderungen nachzuweisen waren, nichts unternahmen, den momentanen Lattenmeter im Feld zu bestimmen. Eine andere Auffassung vertraten schon zur Zeit des NdP die Geodäten in Deutschland, die täglich im Feld die Holzmiren mit Stahlmetern verglichen; ein Verfahren, das trotz seiner Mängel eben doch besser ist, als auf Feldeichungen überhaupt zu verzichten.

Über die Genauigkeit des NdP gibt die 9. Lieferung von [2], in der über die Ausgleichung des ganzen Netzes berichtet wird, Aufschluss. Wie alles andere wurde auch die Ausgleichung mit grosser Sorgfalt und unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse durchgeführt. Nur dem Einfluss der Schwere – er wird zwar erwähnt, aber als gering eingeschätzt – wurde nicht Rechnung getragen. Bemerkenswert ist die Bestimmung der Gewichte, die man den einzelnen Höhendifferenzen gab. Sie sind nicht nur Funktionen der Nivellierwege, sondern auch der Höhendifferenzen und sogar des Einsinkens der Latten.

Nicht nur die Geodäten in der Schweiz, sondern auch die der deutschen Staaten kannten das Problem des Lattenmeters, und auch sie haben zur Bestimmung der Gewichte eine von der Höhendifferenz abhängige Unbekannte eingeführt. Die Rechnung konnte nur auf Grund sukzessiver Näherungen durchgeführt werden. Die zunächst verwendeten Formeln waren allerdings nicht streng. Nicht befriedigend war namentlich der Umstand, dass sie für die Höhendifferenz Null nicht mit den üblichen Formeln identisch waren. Kein Geringerer als Helmert sah sich veranlasst, eine strenge Lösung zu zeigen [5]. Der Aufsatz zeichnet sich, wie alles bei Helmert, durch grösste Strenge, aber sicher nicht durch leichte Lesbarkeit aus. Es war dann Jordan, der in der Zeitschrift für Vermessung, 1886, die Ideen Helmersts so darstellte, dass sie auch normal begabten Geodäten verständlich waren. Gescheiter als diese gelehrten Theorien ist jedoch der Schlusssatz Jordans, wo er schreibt, man täte wohl besser, die Lattenlänge während der Messung so oft und so genau als möglich zu bestimmen, als sie aus einer Ausgleichung herzuleiten.

Den Bearbeitern des NdP blieb aber nichts anderes als der Weg der Ausgleichung. Sie fanden als mittleren Fehler der Gewichtseinheit $\pm 1,35$ mm, und daraus folgten als mittlere 1-km-Fehler

- für einfach nivellierte Strecken $\pm 4,6$ mm,
- für das Mittel aus hin- und zurücknivellierten Strecken $\pm 3,7$ mm.

Diese Beiträge entsprachen schon damals nicht den Forderungen an Präzisionsnivellemente.

Für die vorliegende Untersuchung ist wichtig, dass wegen der *hohen mittleren Kilometerfehler* von einigen Millimetern und der später zu besprechenden *systematischen Fehler Schlüsse über Hebungen der Alpen* nur gezogen werden dürfen, wenn die *Differenzen* in den Höhen zwischen dem alten NdP und dem LN *mehrere Zentimeter betragen*.

3. Das Landesnivellement (LN₁) der Eidgenössischen Landestopographie

Nach Abschluss des NdP gingen die Arbeiten am Schweizerischen Präzisionsnivellement an das Eidgenössische Topographische Bureau, seit 1903 Eidgenössische Landestopographie, über. Alle Strecken des NdP wurden neu und genauer als früher gemessen. Sie bildeten zusammen das LN.

Die in vorliegender Arbeit untersuchten Strecken sind mit dem damals modernen Wild-Zeiss-Nivellier und Invarmiren beobachtet worden und weisen daher eine hohe Genauigkeit auf. Man darf mit einem mittleren zufälligen 1-km-Fehler von $\pm 0,3$ mm und einem mittleren systematischen 1-km-Fehler von $\pm 0,2$ mm rechnen. Während der zufällige für alle Strecken ziemlich gleich bleibt, schwankt der systematische zwischen 0 und 0,3 mm. Die Genauigkeit des LN₁ ist demnach so hoch, dass die aus ihm folgenden Höhendifferenzen als praktisch fehlerlos gegenüber denjenigen des NdP betrachtet werden dürfen. Das in den Jahren 1903 bis 1927 geschaffene LN₁ ist erst viele Jahre später streng ausgeglichen worden. Zur Zeit seiner Erstellung ging es in erster Linie darum, in möglichst kurzer Zeit mehr Nivellementsunkte zu schaffen, als vom NdP her noch vorhanden waren. Man wartete daher die Ausgleichung nicht ab; vielmehr hat man die neuen, genaueren Messungen der einzelnen Linien in Punkte des ungenaueren NdP nach bestimmten Regeln eingepasst. Es entstanden so die noch heute gültigen «Gebrauchshöhen», die sich demnach auf die alten Höhen des NdP stützen. Sie genügten jedoch den praktischen Ansprüchen der vergangenen Jahrzehnte vollauf. Die Beobachtungen und die Ergebnisse des LN₁ sind von der LT aus verschiedenen Gründen nicht publiziert worden. Der mit den Nivellementsarbeiten beauftragte Ingenieur Robert Gassmann hat jedoch ganz ausgezeichnete interne Berichte verfasst, für deren Benützung der Eidgenössischen Landestopographie auch hier gedankt sei. Hatten verschiedene Ingenieure der Landestopographie damals den Eindruck, der Chef des Nivellements gehe in der Pedanterie noch weiter, als sie das Nivellement an sich erfordert, so wird ihm heute jeder, der mit dem LN zu tun hat, für die sehr ausführlichen und klaren Darstellungen dankbar sein.

Um das LN₁ in das alte NdP einzupassen, musste Robert Gassmann die Punkte suchen, die beiden Nivellementen gemeinsam waren, und von denen er annehmen konnte, die Höhe sei unverändert geblieben. Er führte dabei genau die Berechnungen alter und neuer Höhen durch, die auch für die vorliegenden Studien nötig sind. Er beschränkte sich indes auf weniger Punkte, als sie hier verwendet werden. Robert Gassmann weist in seinen Berichten an mehreren Orten darauf hin, dass das LN₁, namentlich im alpinen Gebiet, nicht gut mit dem alten NdP übereinstimme. Er sucht die Ursache im nicht genau bekannten alten Lattenmeter und in teilweise nicht genauen Beobachtungen. Dass die Unterschiede der Punkthöhen zwischen NdP und LN auch in einer Hebung der Alpen begründet sein könnten, war für die damalige Generation nicht vorstellbar.

4. Ergebnisse

4.1 Die Nivellemente der Linie Schwyz–Andermatt–St. Gotthard–Bellinzona–(Mendrisio)

Die SGK hatte vorgesehen, zunächst die Linien im Mittelland zu beobachten, und eine grosse Zahl der Strecken der Westschweiz war bereits nivelliert, als sich zu Beginn des Jahres 1869 die Gotthardbahn mit dem Ersuchen an die Kommission wandte, sie möchte das Präzisionsnivellement über den St. Gotthard möglichst bald ausführen, damit es für die Absteckung des grossen Tunnels zur Verfügung stehe. Die Kommission entsprach dem Wunsch, und so wurden die meisten Strecken der Gotthardlinie bereits im Sommer und Herbst des Jahres 1869 nivelliert. Die noch fehlenden, eher kurzen Teilstrecken wurden im folgenden Jahr nachgeholt. Hatte man zuerst nur an ein einfaches Nivellement gedacht, so veranlassten die nicht befriedigenden Ergebnisse die Kommission, das ganze Nivellement im Jahr 1872 zu wiederholen. Das so erstandene Doppelnivellement über den St. Gotthard kann nicht als einheitliches Werk bezeichnet werden. Es besteht nicht aus einer Hin- und Rückmessung, auf die wegen der Fehlertilgung so viel Wert gelegt wird. Es handelt sich vielmehr zum grossen Teil um zwei verschiedene, in gleicher Richtung ausgeführte Nivellemente. Die graphische Darstellung (Abbildung 2) zeigt die zeitliche Anordnung der Messungen. Die meisten Strecken wurden nicht nur im gleichen Sinn, sondern dazu noch in den gleichen Monaten beobachtet; ein Vorgehen, das bereits den damaligen Usancen nicht entsprach und bei dem man kaum auf eine Tilgung von systematischen Fehlern hoffen konnte. In den Publikationen [2] wird daher nicht von Hin- und Rückmessung, sondern von erster und zweiter Operation gesprochen, Bezeichnungen, die hier übernommen werden.

Die Ergebnisse, in den Lieferungen 3 bis 5 von [2] publiziert, befriedigten schon damals die Kommission hinsichtlich Genauigkeit nicht, und so stellen die Verfasser

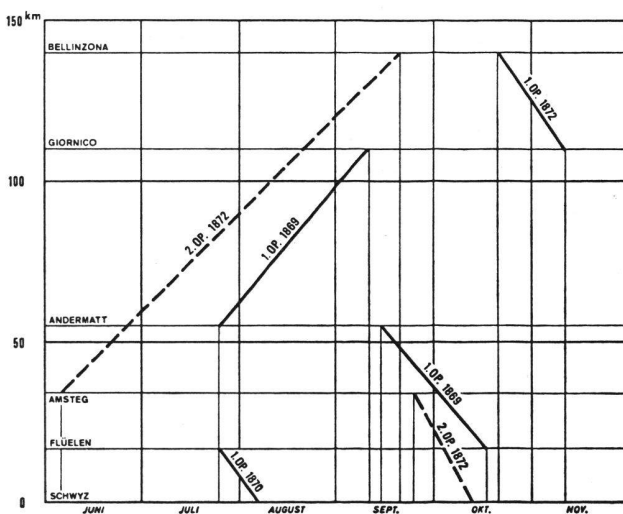


Abbildung 2 Zeitliche Folge des Gotthardnivellementes der SGK-NdP

— Erste Operation
 - - - Zweite Operation

seitenlange, theoretische Überlegungen an, um Abklärung in die nicht erwarteten Unstimmigkeiten zu bringen. Der mittlere Kilometerfehler des Doppelnivellements, berechnet aus den Differenzen zwischen erster und zweiter Operation, wird in der vierten Lieferung, S. 270 ff., zu $\pm 3,57$ mm angegeben. Er ist wesentlich höher als die $\pm 1,97$ mm, die man bisher für die flachen Strecken in der Westschweiz und im Kanton Aargau gefunden hatte. Nur für einzelne steile Strecken im Jura hatte sich ein mittlerer Kilometerfehler von $\pm 3,08$ mm ergeben. Überzeugt, dass die unbefriedigenden Ergebnisse vom nicht richtig eingeführten Lattenmeter herrührten, führten die Verfasser bereits beim Gotthardnivellement zur Abschätzung der Genauigkeit als erste Unbekannte eine mittlere Abweichung des Lattenmeters vom Mittelwert ein. Die zweite Unbekannte für das Einsinken der Latte findet sich beim Gotthardnivellement noch nicht, sondern erst bei der Endausgleichung. Die Ausgleichung der Gotthardstrecke zwischen Schwyz und Bellinzona gab als reinen Nivellementsfehler $\pm 3,003 \sqrt{s}$ mm und als Einfluss der unrichtigen Lattenlänge $\pm 6,70 \sqrt{\Sigma h^2}$ mm mit s und h in km. Mit diesen Zahlen wurden die folgenden mittleren Fehler am Doppelnivellement berechnet:

N. F. 54–N. F. 95	
Hospental–Schwyz	$\pm 30,0$ mm
N. F. 55–N. F. 95	
St.-Gotthard-Passhöhe–Schwyz	$\pm 34,4$ mm
N. F. 93–N. F. 95	
Bellinzona–Schwyz	$\pm 48,5$ mm
N. F. 55–N. F. 93	
St.-Gotthard-Passhöhe–Bellinzona	$\pm 34,2$ mm
N. F. 54–N. F. 93	
Hospental–Bellinzona	$\pm 36,2$ mm
N. F. 57–N. F. 64	
Airolò–Göschenen	$\pm 29,7$ mm

Die spätern Untersuchungen und die Endausgleichung in Lieferung 9 führen für die angeführten Teilstrecken nicht zu wesentlich andern mittleren Fehlern. Dass übrigens deren Berechnung nicht ganz einwandfrei ist, wird in [6] gezeigt. Die ausserordentlich hohen Beträge der mittlern Fehler erlauben nicht, auch nur einigermaßen zuverlässige Aussagen über die Hebung der Alpen im Zeitraum von 1870 bis 1919 machen zu können. Fand man nämlich auf Grund der neuen Landesnivellemente für den Zeitraum der letzten fünfzig Jahre eine maximale Hebung von 50 mm, so ist dieser Betrag nur wenig höher als der mittlere Fehler des alten NdP für die Höhendifferenz zwischen Schwyz und St.-Gotthard-Passhöhe und etwa gleich gross wie der mittlere Fehler der Höhendifferenz Schwyz–Bellinzona des NdP. Noch schwerwiegender für die Beurteilung, ob Hebungen vorliegen, dürfte der Umstand sein, dass die systematischen Fehler, die nicht erfasst werden können, die zufälligen Fehler oft überwiegen.

In Abbildung 3 sind für die Punkte des Gotthard-Nivellementes zwischen Schwyz und Bellinzona mit Fortsetzung bis Lugano–Mendrisio folgende Werte aufgetragen:

1. Höhendifferenzen zwischen dem LN_1 1919 minus dem Mittel aus erster und zweiter Operation des NdP,

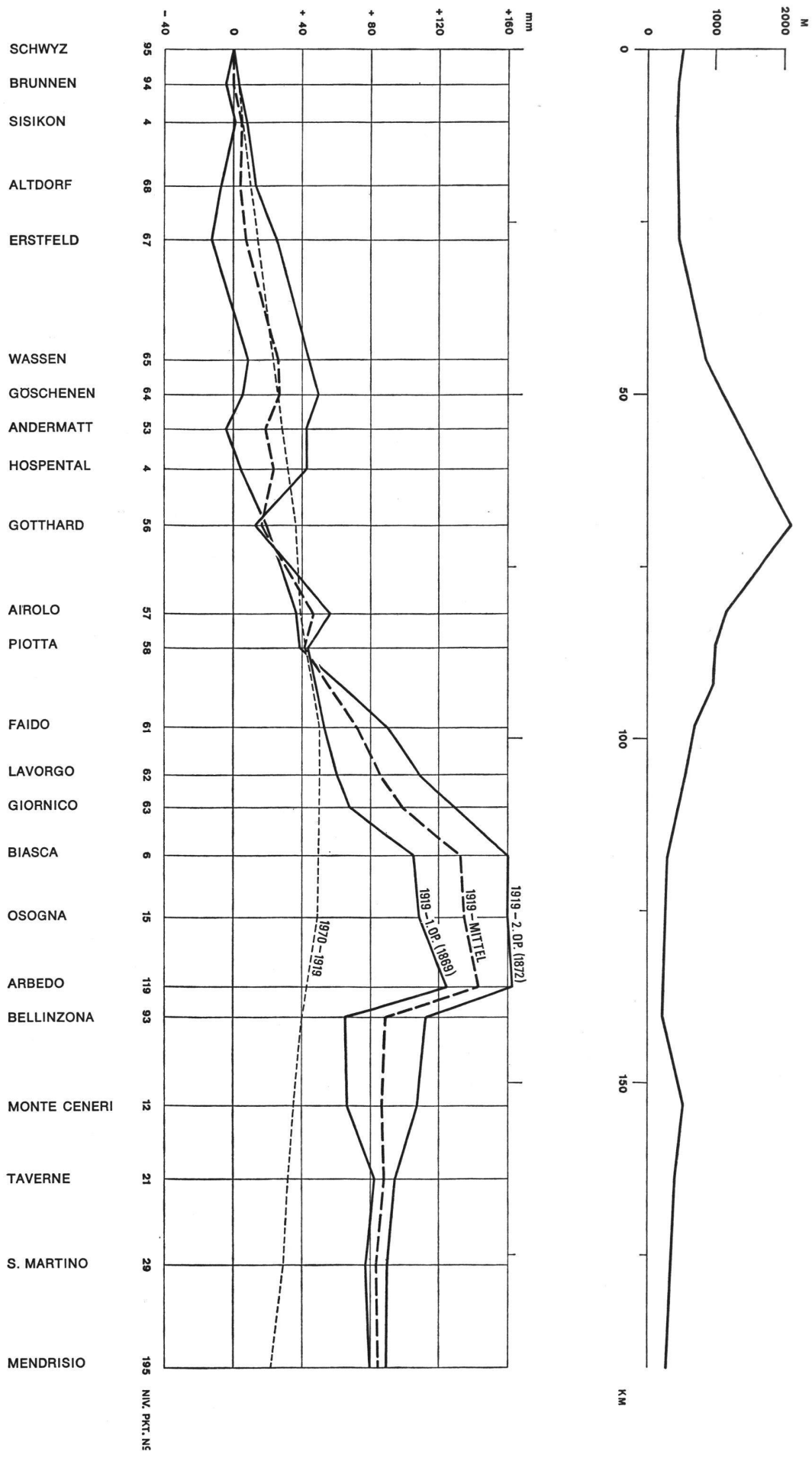


Abbildung 3 Hebung 1919 minus 1869/72 und 1969 minus 1919 längs des Nivellementes über den St. Gotthard

2. Höhendifferenzen zwischen dem LN_1 1919 minus den Höhen aus der ersten Operation des NdP (1869/70),
3. Höhendifferenzen zwischen dem LN_1 1919 minus den Höhen aus der zweiten Operation des NdP (1872),
4. Höhendifferenzen aus dem LN_2 1969 minus LN_1 1919.

Nivellementsunkte, bei denen sich Senkungen nachweisen lassen, sind nicht aufgetragen.

Betrachtet man den Verlauf der Kurven von Schwyz bis Mendrisio, so lassen sich folgende charakteristische Teilstücke unterscheiden:

1. Schwyz–Piotta,
2. Bellinzona–Mendrisio,
3. Piotta–Bellinzona.

1. Für das Teilstück *Schwyz–Piotta* stimmt die Kurve des Mittels aus erster und zweiter Operation – erste Epoche – mit der Kurve für die zweite Epoche in dem Sinn überein, dass *alle Punkte Hebungen* aufweisen. Beim Punkt Piotta ergibt sich für die beiden Epochen sogar die gleiche Hebung von etwa 40 mm. Für die Mehrzahl der Punkte zwischen Schwyz und Piotta ist jedoch die Übereinstimmung nicht so gut. Es fällt auf, dass die Kurven für die erste und zweite Operation von Schwyz aus bis Göschenen immer mehr auseinanderlaufen. Bei Göschenen erreicht der Unterschied in den aus erster oder zweiter Operation folgenden Hebungen nicht weniger als 44 mm. Ursache für dieses eigenartige Verhalten ist das gleiche Vorzeichen aller Differenzen. Es scheint, dass längs der ganzen Strecke zwischen Schwyz und Göschenen die Lattenlänge zwischen erster und zweiter Operation im gleichen Sinne verschieden war. Dieser Sinn wird im Teilstück zwischen Göschenen und Gotthard umgekehrt, so dass die Höhen aus erster und zweiter Operation für die Gotthard-Passhöhe übereinstimmen. Die Hebung von 16 mm liegt jedoch unter den für die zweite Epoche nachgewiesenen von 37 mm. Zwischen Gotthard-Passhöhe und Piotta gehen die Kurven zunächst auseinander und treffen sich später bei Piotta.
2. Im Teilstück *Bellinzona–Mendrisio* laufen die Kurven der Hebungen für die beiden Epochen ziemlich parallel. Dabei liegt die mittlere Kurve für die erste Epoche bei Bellinzona um 50 und bei Taverne um 56 mm höher als die Kurve für die zweite Epoche. Der Punkt *Bellinzona* weist also *praktisch die gleiche Hebung auf wie alle südlich davon gelegenen Punkte* bis Mendrisio.
3. Das Teilstück *Piotta–Bellinzona* bietet der Interpretation am meisten Schwierigkeiten. Nach der Abbildung treten in der ersten Epoche Hebungen auf, die zwei- bis dreimal grösser sind als die der zweiten Epoche. Es stellt sich die Frage, ob diese Hebungen als reell betrachtet werden müssen. Dass die drei Kurven an vielen Orten ziemlich parallel laufen, kann nicht als Beweis für Hebungen betrachtet werden, da der Lattenmeter bei der ersten und zweiten Operation um gleich viel von dem in die Rechnung eingeführten Wert abweichen kann. Nimmt man eine Abweichung von 0,1 mm/m an, so ist der starke Anstieg der Kurven

zwischen Piotta und Giornico erklärt. Eine wesentlich grössere Abweichung, nämlich 0,35 mm/m, müsste allerdings für das Teilstück Arbedo–Bellinzona angenommen werden, um den starken Abfall der Kurve zu deuten. Ein solcher Betrag ist zwar wenig wahrscheinlich, aber doch nicht ausgeschlossen.

So lässt sich die *starke Hebung zwischen Giornico und Arbedo nicht nachweisen, sie ist aber auch nicht auszuschliessen*.

Vergleicht man die Hebungen, wie sie sich aus erster oder zweiter Operation ergeben, mit den Hebungen zwischen 1919 und 1969, so zeigt sich, dass im Abschnitt Schwyz–Piotta die erste Operation die grösseren Hebungen gibt als die zweite, während sie im Abschnitt Piotta–Bellinzona zu kleinern, den spätern näherliegenden führt. Betrachtet man den Verlauf der Kurven über die ganze Strecke zwischen Schwyz und Bellinzona, so stimmen im ganzen genommen die Hebungen aus der ersten Operation besser mit den spätern, zuverlässigeren Hebungen aus den LN_1 und LN_2 zusammen als die der zweiten Operation. Da nach den Beschreibungen in [2] die Witterungsbedingungen bei der zweiten Operation eher noch ungünstiger waren als bei der ersten, wäre man vielleicht berechtigt, nur diese zu berücksichtigen. Die starke Hebung zwischen Piotta und Giornico würde von 132 auf 104 mm zurückgehen und liesse sich noch besser mit zufälligen und systematischen Fehlern erklären.

Gleichgültig, welche der drei Kurven man für die Ermittlung von Hebungen im Zeitraum von 1869/70 bis 1919 heranziehen will, gelten folgende Feststellungen:

1. Eine *Hebung des Alpenkörpers* lässt sich wegen der nicht hohen Genauigkeit des alten NdP zwar *nicht mit Sicherheit nachweisen*. Der Verlauf aller Kurven ist jedoch derart, dass eine *Hebung, die von N nach S zunimmt, als wahrscheinlich* erscheint.
2. Die *Beträge der Hebungen* sind im ersten Zeitabschnitt von 1869 bis 1919 für das Teilstück von Schwyz bis Piotta, bei Berücksichtigung nur der ersten Operation eventuell bis Lavorgo, ungefähr von der gleichen Grössenordnung wie die des spätern Zeitabschnittes von 1919 bis 1969.
3. Im Teilstück Piotta, eventuell Lavorgo, bis Arbedo scheint nach Abbildung 3 eine sehr starke Hebung vorzuliegen. Es lässt sich kaum feststellen, wie weit sie tatsächlich vorhanden ist, da ihre Beträge sich durch ein ungünstiges Zusammenwirken systematischer Fehler – gleich falschen Lattenmetern – erklären lassen.
4. Das Teilstück Bellinzona–Mendrisio zeigt eine Hebung von durchschnittlich 86 mm für die erste und von 36 mm für die zweite Epoche. Die Differenz von 50 mm entspricht dem mittleren Fehler der nivellierten Strecke Schwyz–Bellinzona und bedeutet daher nicht eine grössere Hebung als die der zweiten Epoche.

4.2 Höhenänderungen längs der Nivellementslinien von Rorschach und von Pfäffikon SZ über Sargans, Chur, Oberalp nach Andermatt

a) Höhenänderung von Sargans

Nach der Karte «Höhenänderungen der Nivellements-punkte in den letzten 50 Jahren», entworfen von der Sektion Nivellement der Eidgenössischen Landestopographie im Jahr 1975, treten für die Punkte Pfäffikon und Rorschach innerhalb der letzten 50 Jahre keine Höhenänderungen auf, während für Sargans eine Hebung von 40 mm festgestellt wird. Beträchtliche Hebungen liegen anschliessend bei den Punkten längs der Linie Chur–Oberalp–Andermatt vor. Es soll zunächst untersucht werden, ob auch für die Periode von etwa 1870 bis 1915 für Sargans eine Hebung nachgewiesen werden kann.

Das Teilstück Rorschach–Sargans–Pfäffikon des NdP ist von der SGK im Jahr 1871 in Richtung Rorschach–Pfäffikon und im Jahr 1874 in der Gegenrichtung nivelliert worden. Da die beiden Ergebnisse weniger gut übereinstimmen, als man für Nivellemente im Flachland erwarten durfte, werden in Lieferung 6, von [2], Seiten 414 bis 443, eingehende Fehlerüberlegungen angestellt, wobei zur Abschätzung der Genauigkeit ausser den Differenzen zwischen Hin- und Rückweg auch Polygonschlüsse herangezogen werden. Der mittlere 1-km-Fehler des Doppelnivellementes wird für die Polygone in der E-Schweiz, die Strecke Rorschach–Sargans–Pfäffikon eingeschlossen, $\pm 2,8$ mm und damit wesentlich ungünstiger als bei ähnlichen Strecken in der W- und Zentralschweiz.

Für die Höhendifferenz Pfäffikon–Sargans ergibt sich ein mittlerer Fehler von ± 25 mm. Mit diesem Wert ist die Differenz zwischen Hin- und Rückweg im Betrag von nicht weniger als 117,8 mm nicht zu erklären. Es ist in Anbetracht dieses grossen Widerspruchs nicht zu erwarten, dass der Vergleich zwischen dem NdP und dem LN₁ auch nur einigermaßen zuverlässige Aussagen über eine Hebung des Punktes Sargans erlaubt. Betrachtet man Rorschach und Pfäffikon als unverändert, so ergäbe sich aus den Mittelwerten für Sargans

- aus Rorschach eine Hebung von 0,3 mm,
- aus Pfäffikon eine Senkung von etwa 7 mm.

Mit Rücksicht auf die mittleren Fehler des NdP und die erwähnte Differenz zwischen Hin- und Rückweg im Teilstück Pfäffikon–Sargans können weitergehende Untersuchungen, wie sie bereits von Hirsch und Plantamour angestellt wurden, nicht zu neuen Erkenntnissen führen. Für Sargans lässt sich demnach im Zeitraum 1872 bis 1874 bis 1921 eine Höhenänderung nicht nachweisen.

Von Interesse ist in diesem Zusammenhang die Bemerkung im Bericht von R. Gassmann, dass die Strecke Pfäffikon–Sargans auch beim LN₁ von 1915 Schwierigkeiten bereitete. Die Genauigkeit ist deutlich tiefer als die der meisten anderen Strecken. So fand Gassmann für das Teilstück Pfäffikon–Sargans einen mittleren systematischen 1-km-Fehler von $\pm 0,34$ mm und einen mittleren zufälligen 1-km-Fehler von $\pm 0,33$ mm. Wie seine Vorgänger vor 40 Jahren, stellt er verschiedene Untersuchungen an, wobei er vermutet, dass Senkungen der Laten und Hebungen des Instrumentes eine Rolle gespielt hätten. Er weist aber auch auf die nicht neue Erkenntnis hin, dass bei gewissen Linien systematische Fehler kaum vorkommen, während sie bei andern stark in Erscheinung treten. Es dürfte zutreffen, wenn von Praktikern

gesagt wird, gewisse Linien würden sich dagegen wehren, nivelliert zu werden, und zu diesen gehört ohne Zweifel die Walenseestrecke. Beim LN₁ von 1906 bis 1925 konnte übrigens festgestellt werden, dass systematische Fehler eher bei Nivellementslinien, die in E–W-Richtung verlaufen, als bei solchen in N–S-Richtung auftreten. Die neuen Nivellemente der siebziger Jahre dürften vielleicht Anlass zu weiteren Untersuchungen über systematische Fehler bilden.

b) Höhenänderungen längs der Nivellementslinie Sargans–Chur–Oberalp–Andermatt

Von der SGK wurden im Jahr 1877 die Teilstücke Sargans–Chur–Reichenau und Andermatt–Reichenau nivelliert. Im Jahr 1878 folgte Landquart–Sargans und im Jahr 1879 Reichenau–Landquart. Es ist also nur die Strecke Landquart–Reichenau doppelt, der Übergang über den Oberalppass mit den grossen Höhendifferenzen jedoch nur einmal nivelliert worden. Genauigkeitsangaben können daher für das schwierigere Teilstück nicht gemacht werden. Das LN₁ der Strecke Sargans–Andermatt wurde von der Eidgenössischen Landestopographie im Jahr 1919 ausgeführt. In seinem Jahresbericht hat Gassmann die neue Messung mit dem NdP verglichen. Die vorliegende Untersuchung enthält zur Hauptsache die von ihm gegebenen Werte, die nur um wenige vermehrt werden konnten.

Abbildung 4 zeigt das Verhalten der Punkte zwischen Sargans und Andermatt. Geht man von Sargans aus, so sind zwischen 1877/79 und 1919 im Abschnitt Chur bis Flims Hebungen, im Abschnitt Disentis bis Andermatt

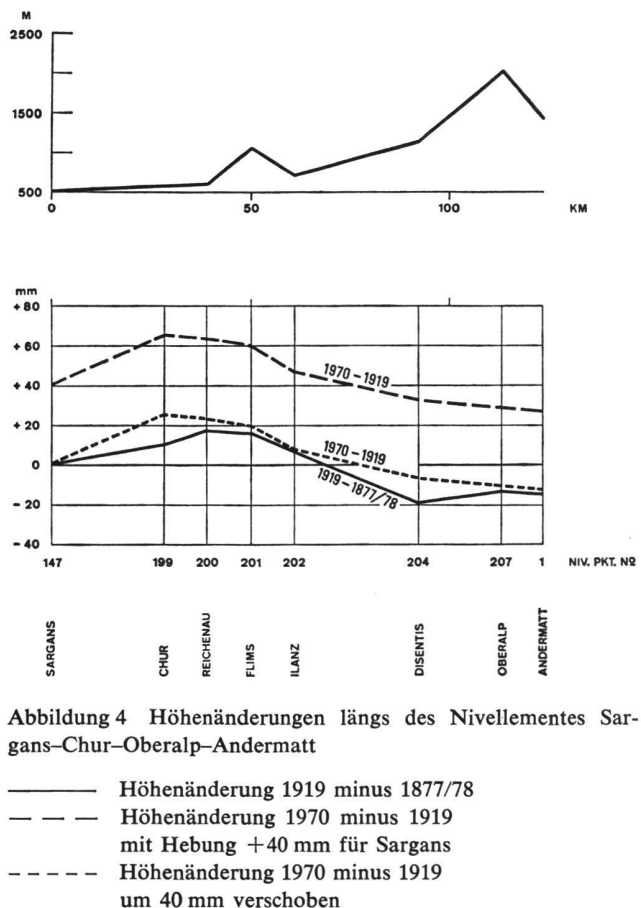


Abbildung 4 Höhenänderungen längs des Nivellementes Sargans–Chur–Oberalp–Andermatt

- Höhenänderung 1919 minus 1877/78
- - - Höhenänderung 1970 minus 1919 mit Hebung +40 mm für Sargans
- - - - Höhenänderung 1970 minus 1919 um 40 mm verschoben

Senkungen zu konstatieren. Mit Rücksicht auf die nicht genauen alten Messungen wird man ihnen nicht grosse Bedeutung beimessen. Es fällt aber auf, dass die ausgezogenen Linien ziemlich parallel zur Hebungs- und Senkungskurve für den Zweiteabschnitt von 1919 bis 1970 verlaufen. Verschiebt man diese in Höhe um die 40 mm, welche für die Hebung von Sargans angenommen worden war, so stellt man eine sehr gute Übereinstimmung der Hebungen und Senkungen für die beiden Zeitabschnitte fest.

Man wird gut tun, diese Übereinstimmung wegen der Ungenauigkeit des NdP nicht zu überschätzen. Erlaubt ist jedoch die Feststellung, dass die für den spätern Zeitabschnitt *verbürgten Hebungen und Senkungen* längs der Linie Sargans–Chur–Andermatt *den früheren Höhenänderungen keineswegs widersprechen, sondern sie bestätigen.*

4.3 Änderungen der Höhen beim Nivellement über die Grimsel

Das Nivellement Brienzwiler–Grimsel–Gletsch gehört nicht eigentlich zur Gruppe der Nivellemente längs der Gotthardlinie und deren Verlängerungen. Wenn es hier trotzdem behandelt wird, so liegt der Grund einerseits darin, dass sich bei dieser NS-Traversal der Alpen ähnliche Erscheinungen zeigen sollten wie beim Gotthard und dass andererseits darüber bereits eine Publikation besteht [7]. Auf eine ausführliche Darstellung kann daher verzichtet werden.

Das von der SGK im Rahmen des alten NdP beobachtete Nivellement über die Grimsel vom Jahr 1880 wurde von Anfang an als ungenau betrachtet. Die LT liess daher im Jahr 1901 ein neues Doppelnivellement über den Pass durchführen, das höhere Genauigkeiten aufweisen sollte. Zur Anwendung gelangten neue Typen von Miren, die Kompensations- und Goulier-Miren, deren momentane Länge ziemlich genau bestimmt werden konnte. Das Beobachtungsverfahren war im übrigen grundsätzlich gleich wie das frühere. Im Jahr 1920 wurde das Grimsel-Nivellement im Rahmen des neuen LN₁ durch die Landestopographie wiederholt; diesmal nun nach modernen Methoden mit Invarmiren und den Wild-Zeiss-Präzisions-Nivellierinstrumenten.

Es können also die Höhen von 1920 mit denen von 1901 verglichen werden, wobei der Punkt Brienzwiler als unverändert betrachtet wird. Abbildung 5 zeigt die durch Vergleich der beiden Nivellemente ermittelten Änderungen der Höhen. Es handelt sich durchweg um Hebungen, wobei die Beträge wesentlich höher sind als die im Gotthard-Nivellement, erreichen sie doch für den Zeitraum von nur 20 Jahren bei der Grimsel-Passhöhe 94 mm und bei Gletsch 69 mm. Auffallend ist die Parallelität der Kurve für die Höhenänderungen mit dem Geländeprofil. Sie veranlasste bereits R. Gassmann, Betrachtungen über die Längen der Miren des Nivellementes von 1901 anzustellen. Er gelangte zum Schluss, dass der Lattenmeter der alten Miren um 0,05 mm anders gewesen sein müsse als der Lattenmeter der neuen Latten. Der Betrag schien ihm zu hoch, waren doch die Mirenvergleiche von 1901 mit hoher Genauigkeit durchgeführt worden. Eine befriedigende Erklärung für die Unterschiede zwischen den beiden Nivellementen gelang ihm nicht. Allerdings dachte er nicht an Hebungen des Gebirges; zu seiner Zeit

galt den Geodäten das Gebirge, insbesondere das Gotthard- und Aaremassiv, noch als felsenfest.

Die heutige Beurteilung der Grimselnivellemente ist trotz neuerer Erkenntnisse nicht anders. Zunächst wird man daran zweifeln, dass sich die Grimsel gegenüber Brienz in 20 Jahren um 94 mm gehoben habe. Führt man einen Unterschied im Lattenmeter von 0,06 mm ein, so ergibt sich die strichpunktierte Linie der Abbildung 5, die keine Hebung des Gebirges zeigt. Bei dieser Linie müsste man dann annehmen, die Kompensationseinrichtung der Miren hätte nicht richtig funktioniert, was nicht ganz ausgeschlossen ist.

Aus den Nivellementen von 1901 und 1920 *Schlüsse über Hebungen* der Grimsel ziehen zu wollen, ist daher *nicht möglich.*

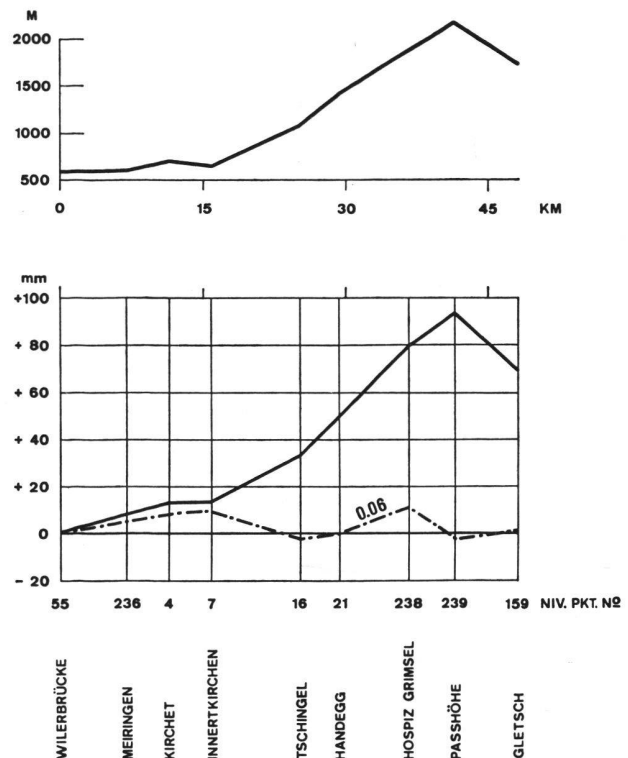


Abbildung 5 Höhenänderungen längs des Nivellementes über die Grimsel

- Hebungen zwischen 1920 und 1901
- · - · - Hebungen zwischen 1920 und 1901 bei Einführung einer Massstabskorrektur von 0,6 mm/m

4.6 Zusammenfassung

Vergleicht man die aus dem NdP folgenden mit den aus dem LN hergeleiteten Höhen, so können *zwingende Folgerungen über Hebungen des Alpenkörpers nicht gezogen* werden. Der Grund liegt in der nicht hohen Genauigkeit des NdP, wobei die systematischen Fehler von nicht geringerer Bedeutung sein können als die zufälligen. Bei den systematischen Fehlern handelt es sich in erster Linie um die nicht genau bekannte Lattenlänge im Zeitpunkt der Messung.

Dieser allgemeinen negativen Feststellung steht jedoch eine positive gegenüber:

Im gesamten betrachtet, lässt *der Vergleich der Höhen des LN_1 mit denen des NdP überall da Hebungen vermuten, wo sie durch die spätern Nivellemente nachgewiesen werden.*

Zum Schluss möchte der Verfasser dem Direktor der Eidgenössischen Landestopographie, Herrn Dipl.-Ing. E. Huber, für das Interesse an dieser Studie sowie für die Herstellung der Zeichnungen und dem Chef des Landesnivellementes, Herrn Dipl.-Ing. E. Gubler, für die Anregungen und die Mitarbeit danken.

Literatur

- [1] Jeanrichard, F.: Nivellement et surrection actuelle des Alpes. Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural; revue trimestrielle de la Société suisse des mensurations et améliorations foncières, I-73.
- [2] Hirsch, A., et Plantamour, E.: Nivellement de précision de la Suisse, exécuté par la commission géodésique fédérale. Livraisons I-X; 1867–1891.

- [3] Zölly, H.: Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz, 1948.
- [4] Zeitschrift für Vermessungswesen (deutsche), Jahrgänge 1877, 1879, 1885, 1887, verschiedene Artikel über die Präzisionsnivellemente der deutschen Staaten.
- [5] Helmert, F. R.: Zur Bestimmung des Gewichtes von Beobachtungen, deren mittleres Fehlerquadrat sich aus mehreren Teilen zusammensetzt, Astronomische Nachrichten 89, Nr. 2127 und 2128.
- [6] Festschrift anlässlich des 100jährigen Bestehens der Schweizerischen Geodätischen Kommission, 1861–1961.
- [7] Gassmann, R.: Das Präzisionsnivellement über die Grimsel, 1880, 1901 und 1920. Schweiz. Zeitschrift für Vermessung und Kulturtechnik, 1922.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. F. Kobold, Möhrlistrasse 85, 8006 Zürich

Beurteilung der Bildqualität von Luftbildkammern

H. Tiziani

Résumé

La fonction de transfert optique (OTF) se révèle un moyen très précieux pour comparer et se rendre compte de la qualité des systèmes optiques. On peut même tenir compte des facteurs de l'environnement, tels que le mouvement des avions et de l'influence de l'atmosphère sur la qualité d'image.

Les valeurs mesurées peuvent être comparées aux valeurs calculées à partir des caractéristiques des lentilles. A l'aide d'un modèle basé sur des expériences, il fut possible d'établir une courbe de la valeur des seuils. Elle permet une comparaison entre les résultats basés sur la fonction de transfert de modulation et les résultats obtenus par des tests habituels de mesure du pouvoir séparateur. Actuellement nous cherchons à réduire le volume des données provenant de calculs et de mesures, pour établir des indices de qualité et de focalisation utilisables en pratique.

1. Einleitung

Die Luftbildmessung wird heute praktisch für alle Kartierungsaufgaben eingesetzt und ist als wirtschaftliches Messverfahren anerkannt. Zum beachtlichen Fortschritt der Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie hat die verbesserte Bildqualität der Aufnahmeobjektive wesentlich beigetragen. An die neuen Objektive werden sowohl in bezug auf Auflösung, Lichtstärke, Lichtverteilung, Farbkorrektur vom Sichtbaren bis ins Infrarote, als auch was die Verzeichnung anbelangt, grosse Anforderungen gestellt. Die Erweiterung der Farbkorrektur bis ins Infrarote resultierte aus dem Wunsch nach vermehrter Ver-

wendung von Farb-, IR- und Falschfarbenfilmen. Es ist erstaunlich, was heute Luftaufnahmeobjektive leisten, wenn man bedenkt, dass auf dem Format 23×23 cm eine Information von etwa 10^8 – 10^9 bits gespeichert werden kann. Das optische System ist aber nur ein Glied der Abbildungskette. Empfänger, z. B. Fotoemulsionen sowie Umwelteinflüsse, sind für die resultierende Bildqualität ebenfalls verantwortlich.

Wegen vermehrter Verbreitung der Luftbildfotografie sowie der Auswertung von Bildern, aufgenommen aus grösseren Flughöhen, wird der Bildqualität erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Dies äussert sich unter anderem in den Bemühungen, vorerst zuverlässige Kriterien zur Bewertung der Bildgüte der optischen Systeme zu erhalten. Allerdings sind diese Bestrebungen nicht nur bei Luftaufnahmeobjektiven, sondern auch bei anderen Linsensystemen zu beobachten (1–4). Mehrere nationale und internationale Gremien befassen sich heute mit der optischen Übertragungsfunktion OTF (Optical Transfer Function) und deren Anwendung zur Beurteilung der Bildqualität. In verschiedenen Ländern wurden schon mehr oder weniger komplexe OTF-Spezifikationen ausgearbeitet (5, 6). Der Grund, warum sich die OTF beziehungsweise MTF (Modulation Transfer Function; ohne Berücksichtigung der Phase) bis heute noch nicht allgemein als Bewertungskriterium eingeführt hat, liegt in den bis vor kurzem aufgetretenen Abweichungen zwischen Rechnung und Messung einerseits und den Messungen untereinander, die an verschiedenen Stellen ausgeführt wurden. Die Ergebnisse der letzten Vergleichsmessungen im Rahmen des DIN-Normenausschusses sind aber sehr befriedigend. Gute Übereinstimmung der Ergebnisse verschiedener Messstellen in Europa konnten für ein identisches Objektiv erreicht werden. Sowohl das Institut für Technische Physik/AFIF der ETHZ, als auch die Firma WILD HEERBRUGG AG beteiligten sich an den Ringversuchen.