

Die Genauigkeit der neuen Landeskarten der Schweiz

S. BERTSCHMANN

I. Grundlagen

Vor rund zwanzig Jahren stand die Schweiz im Gebiete des Kartenwesens vor einem Entschluß von entscheidender Bedeutung: Es war zu entscheiden, ob weiterhin versucht werden sollte, durch mühsame und doch unbefriedigende Flickarbeit die alten Kartenwerke einigermaßen den neuen Ansprüchen anzupassen, oder ob nicht der Zeitpunkt da sei, ein neues Werk zu schaffen, das der technischen und wissenschaftlichen Entwicklung Rechnung trug.

Die Vorarbeiten zur Klärung der Frage und die Vorwegnahme der Entscheidung durch die Fachleute reichen zurück bis zum Beginn unseres Jahrhunderts. Damals stand wohl nur die Grundlagenbeschaffung für die Durchführung der schweizerischen Grundbuchvermessung im Vordergrund. Aber die maßgebenden Fachleute waren, in Kenntnis der Mängel der alten Kartenwerke, sich darüber einig, die Grundlagen so zu gestalten, daß sie nicht nur der Grundbuchvermessung, vielmehr auch neuen Kartenwerken zu dienen vermöchten.

So wurde ein neues Projektionssystem, eine über den ganzen Bereich des Landes gültige, winkeltreue, schiefachsige Zylinderprojektion angenommen und ein neuer Ausgangswert (vom alten um $-3,26$ m differierend) für die Höhenangaben festgesetzt. Unter Beibehaltung einzelner Teile des Gradmessungsnetzes wurde in den Jahren 1909 bis 1923 durch die Eidgenössische Landestopographie eine allen neuzeitlichen Anforderungen entsprechende *Landestriangulation I. Ordnung* mit dem Besselschen Erdellipsoid als Bezugsfläche geschaffen. Im Anschluß daran und im gleichen Zeitabschnitt entstanden zur Fixpunktverdichtung die Netze II. und III. Ordnung soweit, daß auf 10 km^2 ein Triangulationspunkt entfällt. Unter Leitung der Eidgenössischen Vermessungsdirektion und technischer Überwachung durch die Landestopographie entstand sodann für Zwecke der Grundbuchvermessung eine weitere Netzverdichtung IV. Ordnung, so daß je nach Geländeverhältnissen die Koordinaten von 1 bis 4 trigonometrischen Punkten auf 1 km^2 mit mittleren Fehlern von ± 1 bis 2 cm bekannt sind. Die Höhen dieser Punkte wurden durch direkten Anschluß an das Nivellement oder auf trigonometrischem Wege ermittelt; sie sind auf wenige Zentimeter genau.

Ein in den Jahren 1903 bis 1923 durch die Eidgenössische Landestopographie ausgeführtes *Präzisionsnivellement*, ausgehend von der mit den Höhenhorizonten der Nachbarländer im Dezimeter übereinstimmenden Höhe von $373,60 \text{ m}$ des Pierre du Niton in Genf, bildet die Grundlage der Höhenbestimmung. Längs wichtiger Straßenzüge wurden rund 8000 Höhenfixpunkte geodätisch bestimmt. Die Höhenübertragung ist mit einem mittleren Fehler von $< 1 \text{ mm}$

pro km erfolgt. Triangulation und Nivellement entsprechen in ihrem Genauigkeitsgrad den Forderungen der Internationalen Erdmessung.

Es kann daher festgestellt werden, daß die geodätischen Grundlagen für die Erstellung neuer Landeskarten einwandfrei sind. An ihrer Schaffung hatte der Jubilar durch wissenschaftliche Beratungen tätigen Anteil.

II. Topographische Voruntersuchungen

Im Jahre 1920 war noch nicht entschieden, ob und in welchen Maßstäben neue Karten zu erstellen seien. Klar war man sich, daß sie so weitgehend als möglich auf Grundlage der von der Grundbuchvermessung zu liefernden Übersichtspläne 1:10 000 und 1:5000 aufgebaut werden müßten. Um einen Einblick in die Genauigkeit der Aufnahmemethoden zu gewinnen, wurden Probevermessungen eines größeren Gebietes sowohl nach der Meßtisch- als auch der terrestrisch-photogrammetrischen Methode unter Kartierung im Maßstab 1:10 000 mit 10 m Schichtlinien für die Meßtischmethode und 1:5000 mit 5 m Schichtlinien für die photogrammetrische Methode durchgeführt. In diese Aufnahmen wurde mit einem Koordinatographen ein Netz geodätisch genau der Lage und Höhe nach bestimmter Punkte eingetragen und ihre Kartenhöhe auf Grund der Meßtischaufnahme sowohl als auch der photogrammetrischen Kurvenaufnahme neu bestimmt. Die Differenz zwischen kartographisch und geodätisch bestimmten Höhen, unter Ausscheidung von Geländeklassen nach Geländeneignungen, ergab folgende Formeln für die Höhenfehler der Höhenkurven:

Meßtischaufnahme 1:10 000: $m_H = \pm (0,9 + 2,1 \times \text{tg})$ Meter

Photogrammetrische Aufnahme 1:5000: $m_H = \pm (0,4 + 1,2 \times \text{tg})$ Meter

Es besteht kein Zweifel, daß mit einer Meßtischaufnahme 1:5000 und dementsprechend viermal größerer Aufnahmepunktzahl ein genaueres Resultat hätte erzielt werden können. Die Zielsetzung war aber nicht nach möglichst genauen Terrinaufnahmen ausgerichtet. Im Vordergrund stand die Gewinnung einer Toleranzformel, deren Anwendung bei Verifikationsarbeiten das für den technischen Verwendungszweck des Planes notwendige Maß an Genauigkeit sicherstellt.

Auf Grund der Resultate der Probevermessungen und unter Berücksichtigung des Umstandes, daß eine übertriebene Genauigkeit einen zu großen Aufwand an Zeit und Geld erfordern würde, nahm man die Toleranzformel mit folgenden Werten für den Maßstab 1:10 000 und 10 m Äquidistanz an:

zulässiger mittlerer Höhenfehler einer Horizontalkurve

$$m_H = \pm [1 + 3 \text{ tg } \alpha] \text{ Meter}$$

zulässiger mittlerer Lagefehler einer Horizontalkurve

$$m_L = \pm [3 + \text{ctg } \alpha] \text{ Meter}$$

α = Neigungswinkel des Geländes.

Die gleichen Toleranzen gelten auch für Übersichtspläne im Maßstab 1:5000. Der Maßstab 1:5000 wird ja nicht zur Erzielung einer größeren Genauigkeit gewählt, vielmehr um Zeichnungsfläche für Eintragungen aller Art (z. B. Parzellengrenzen) zu gewinnen. Dementsprechend wird im Maßstab 1:5000 auch nicht 5 m Äquidistanz der Kurven verlangt, sondern 10 m wie beim Maßstab 1:10000.

Eine Ergänzung der Formeln wurde dahingehend getroffen, daß bei Gelände von weniger als 5% Neigung verlangt wird, die Horizontalkurven nivellistisch aufzusuchen; dabei wird eine maximale Lageverschiebung von 30 m toleriert. Für auf dem Felde eindeutig nach Lage und Höhe bestimmbare kotierte Punkte (Brücken, Wegkreuzungen, Sättel usw.) wurde der tolerierbare Höhenfehler auf ± 1 m festgesetzt.

Grundbuchübersichtspläne werden im Normalfall als Schlußglied der Grundbuchvermessung ausgeführt. Alsdann wird der Inhalt der Grundbuchpläne in den Übersichtsplanmaßstab reduziert und so die Situation 1:10000 respektive 1:5000 erhalten, die nur noch mit den Höhenangaben zu ergänzen ist. Für diese Übertragung wird ein Fehler von $\pm 0,15$ mm toleriert. In den letzten Jahren wurden, um genügend Unterlagen für eine Kartenproduktion 1:25000 zu gewinnen, Übersichtspläne vorgängig den anderen Arbeiten erstellt, hauptsächlich auf luftphotogrammetrischem Wege. Für die Lagegenauigkeit solcher Operate ist die Toleranz auf $\pm 0,3$ mm festgesetzt worden.

Man kann sich fragen, ob nicht verschiedene Toleranzformeln für Meßtischaufnahmen und für photogrammetrische Aufnahmen am Platz gewesen wären. Es ist aber zu beachten, daß die photogrammetrischen Operate auch immer Gebiete enthalten, die nur mit der Meßtischmethode erfaßt werden können (Wälder, wenig geneigte Gebiete). Eine gewisse Unhomogenität läßt sich also nicht vermeiden, und es ist wirtschaftlich betrachtet gegeben, unabhängig von der Aufnahmemethode die Toleranzformeln zu wählen, die der Genauigkeit, die an einen Plan 1:10000 vernünftigerweise gestellt werden können, genügen.

Auf Grund theoretischer und praktischer Erwägungen wurden sodann die *Toleranzformeln für die Karte 1:25000* mit

zulässigem mittlerem Höhenfehler einer Horizontalkurve

$$m_H = \pm [1 + 7 \operatorname{tg} \alpha] \text{ Meter}$$

zulässigem mittlerem Lagefehler einer Horizontalkurve

$$m_L = \pm [7 + \operatorname{ctg} \alpha] \text{ Meter}$$

festgelegt.

Die entsprechenden *Toleranzformeln für die Karte 1:50000* sind:

$$m_H = \pm [1,5 + 10 \operatorname{tg} \alpha] \text{ Meter}$$

$$m_L = \pm [10 + 1,5 \operatorname{ctg} \alpha] \text{ Meter}$$

III. Genauigkeitsergebnisse der Praxis

Alle durch freierwerbende Fachleute erstellten Aufnahmeoperatte 1:5000 und 1:10000 wurden einer eingehenden Verifikation unterzogen. Die statistische Verarbeitung der Prüfungsergebnisse von 870 Meßtischoperaten ergab einmal eine mit zunehmender Geländeneigung sich verstärkende Ungenauigkeit der Höhenbestimmung, stärker als die Toleranzformel diese theoretisch und praktisch fundierte allgemeine Tatsache in Erscheinung treten läßt. Das in Abbildung 1 graphisch dargestellte Untersuchungsergebnis zeigt beispielsweise bei einem nach der Toleranzformel errechneten zulässigen mittleren Höhenfehler von 1,5 m nur einen durchschnittlichen Verifikationswert von 40 % des Toleranzwertes, während bei einem Toleranzwert von 3,5 m die Beanspruchung schon 87 % beträgt. Im Mittel darf für *Meßtischaufnahmen* eine *Genauigkeit der Höhenbestimmungen* von 40 % der Toleranz für den Maßstab 1:5000 und 50 % der Toleranz für den Maßstab 1:10000 angenommen werden. Die mittlere Situationsgenauigkeit für aus den Grundbuchplänen reduzierte Situationszeichnung beträgt 63 % des Toleranzwertes von 0,15 mm oder 0,09 mm im Plan; für mit dem Meßtisch direkt aufgenommene Situation beträgt der Prozentsatz 57 oder 0,17 mm im Plan (Toleranz 0,3 mm).

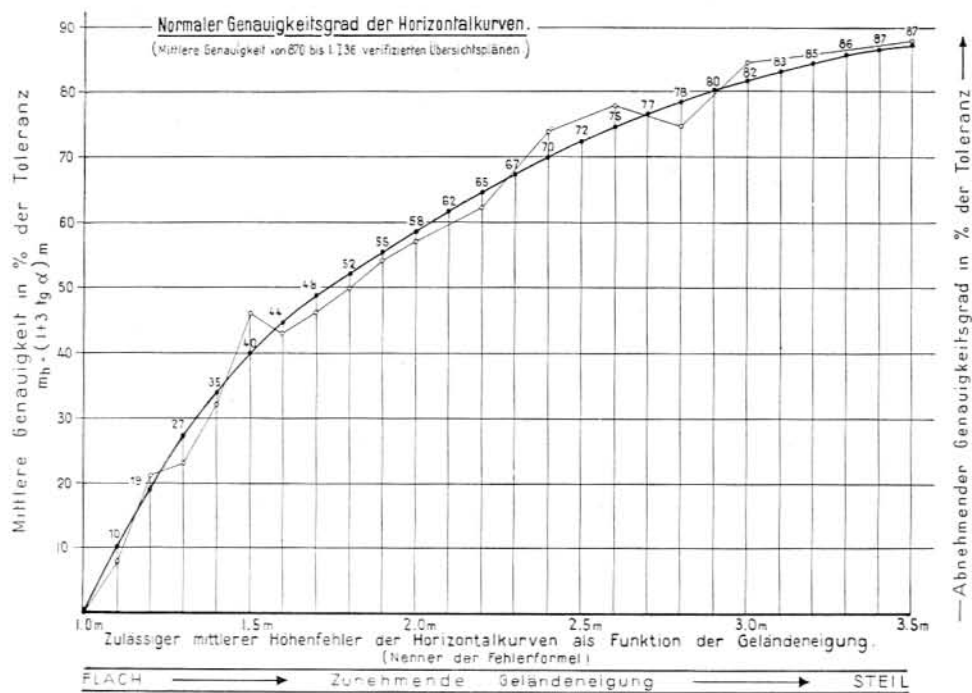


Abb. 1

Luftphotogrammetrische Auswertungen von Übersichtsplänen 1:10 000, vor dem Jahre 1947 über ein Gebiet von 170 km² durchgeführt unter Verwendung von Aufnahmen aus durchschnittlich 2400 m über Grund ergaben folgende Genauigkeiten:

Höhengengenauigkeit offener Gebiete	68 % der Toleranz
Höhengengenauigkeit bewaldeter Gebiete, nur unsicher auswertbar	104 % der Toleranz
Situationsgenauigkeit offener Gebiete	29 % der Toleranz
Situationsgenauigkeit bewaldeter Gebiete	79 % der Toleranz

Zu bemerken ist, daß die Aufnahmen der Gebiete mit Toleranzüberschreitungen mit dem Meßtisch topographisch in Ordnung gebracht wurden.

Auf Grund der mitgeteilten Resultate erkennen wir, daß bezüglich der Aufnahmegengenauigkeit die geforderten Resultate gut erreicht wurden. Wie aber verhält es sich mit der Kartengenauigkeit?

IV. Die Kartengenauigkeit

Um die Karten zu erstellen, müssen die Feldaufnahmen vorerst zu ganzen Kartenblättern zusammengesetzt und reproduktionsreif bearbeitet werden. Eine Menge von Fehlerquellen kann sich hier noch geltend machen, wenn nicht entsprechende Vorkehren getroffen werden. Im Zusammenpassen der einzelnen Teilstücke und Kartenelemente spielte früher die «Schere» und das nachfolgende «Zusammenarbeiten» eine große Rolle. Für das Strecken der Offsetdruckplatten, um den Farbpasser zu erreichen, wurden besondere Einrichtungen erfunden! Die Landestopographie entwickelte neue Verfahren um die Fehlerquellen der Reproduktion weitgehend herabzusetzen.

Genauigkeitsuntersuchungen an zusammengesetzten Kartenblättern durch Vergleich der Höhen von Netzpunkten, ermittelt einerseits im Übersichtsplan 1:10 000 und sodann in der Karte, ergaben folgende Resultate:

1. *Blatt Bellelay 1:25 000*. Das untersuchte Gebiet weist ziemlich stark kuppertes Terrain auf. Neben weichen Formen des Faltenjuras umfaßt es zwei mächtige Querdurchbrüche. Rund zwei Fünftel der Fläche sind bewaldet. Es wurden die Höhen von 449 Geländepunkten in Abständen von je 500 m und über ein Gebiet von 110 km² verteilt, verglichen. Die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchung sind in Abbildung 2 dargestellt. Die auffällige Tatsache einer nicht stetig ansteigenden Fehlerkurve (im Bereich von 0 bis 10° fallend!) findet ihre Erklärung darin, daß in den flachen Gebieten kotierte Punkte des

Übersichtsplanes mit Höhenwerten aus der Karte interpoliert, verglichen wurden. Daraus ergaben sich in diesem Bereiche abnorme Höhendifferenzen und bei 15° Terrainneigung einen Knick der Fehlerkurve.

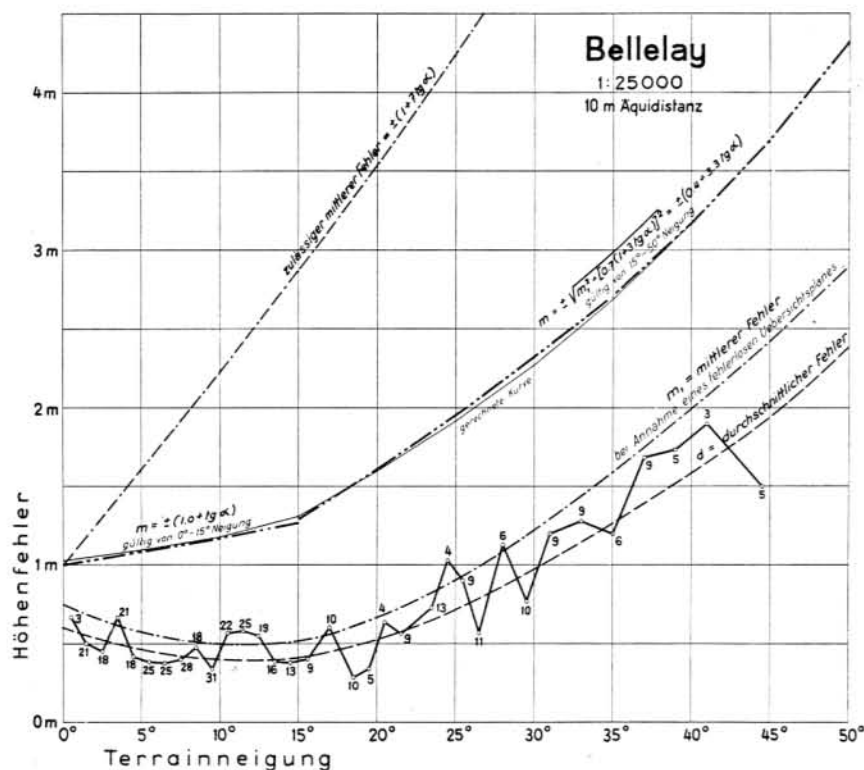


Abb. 2

2. Blatt *Marchairuz* 1:25000 bringt eine typische Landschaft des Faltenjuras zur Darstellung, mehr als die Hälfte des Gebietes ist bewaldet. Es wurde zur Untersuchung beigezogen, weil ein gleicher Geländetyp, wie er im Blatt *Bellelay* vorliegt, verglichen werden sollte hinsichtlich des Einflusses der kartographischen Bearbeitung. Blatt *Marchairuz* entstand von einem Kartographen bearbeitet in einem Guß, Blatt *Bellelay* hatte als Ausweichblatt viele Bearbeiter. Die 345 untersuchten Geländepunkte, wieder in Abständen von 500 m auf 85 km² verteilt, ergaben das nachstehend graphisch dargestellte Resultat.

3. Blatt *Rochers de Naye* 1:50000. Das untersuchte Gebiet umfaßt 85 km² bei Les Mosses und Les Ormonts in den Waadtländeralpen mit stark bewegter Topographie und Höhenunterschieden bis zu 1400 m. Es wurden 330 Geländepunkte mit nachstehend graphisch dargestelltem Resultat untersucht.

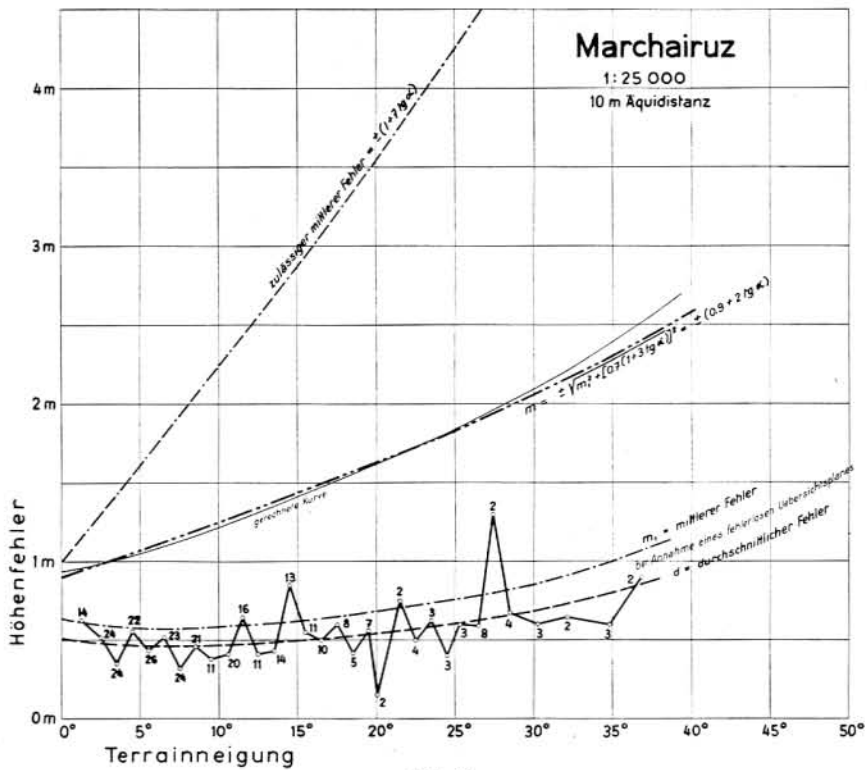


Abb. 3

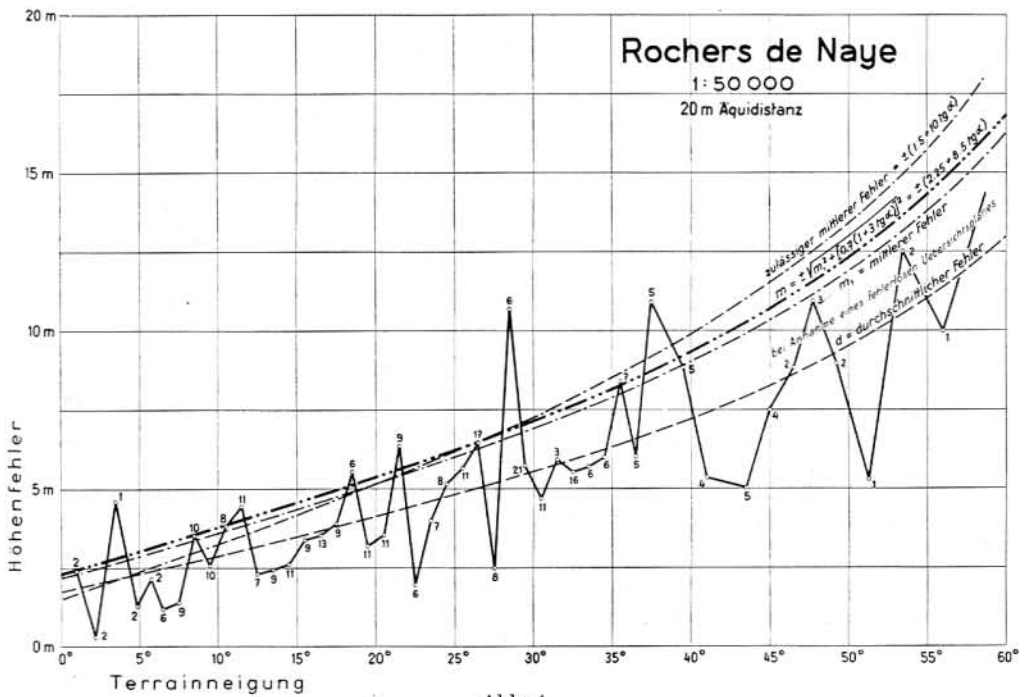
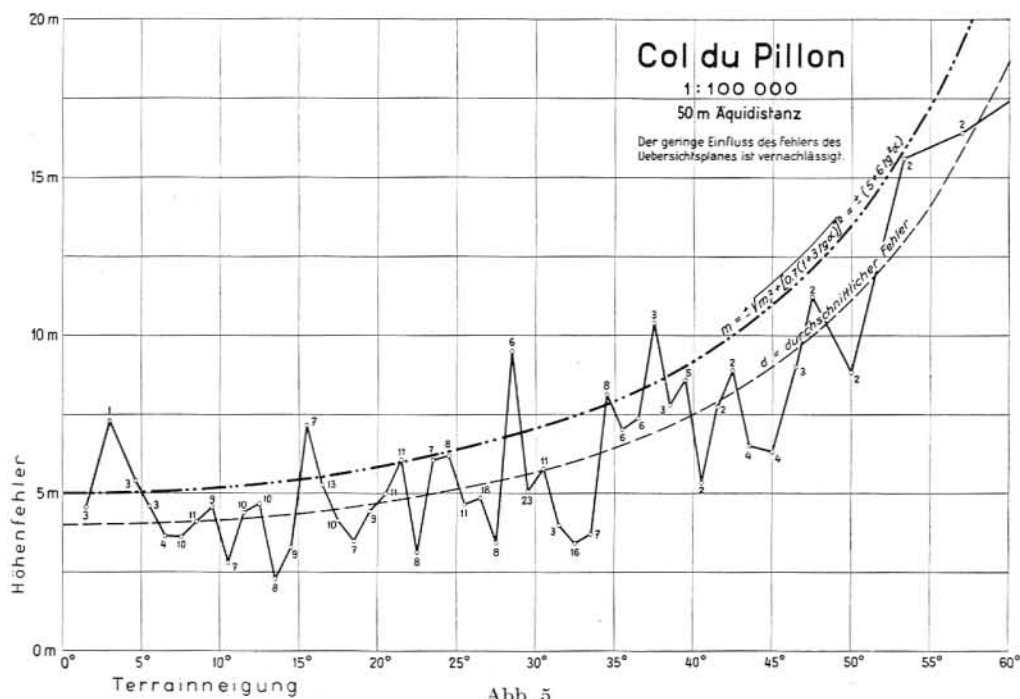


Abb. 4

4. *Blatt Col du Pillon 1:100 000*. Untersuchungsgebiet und Geländepunkte sind dieselben wie bei Blatt Rochers de Naye. Zusätzlich, aber in die Untersuchung nicht einbezogen, wurden neun Geländepunkte, deren Lage große Höhenabweichungen erwarten ließen. Sie liegen längs Straßen und ihre Lage in der Karte 1:100 000 erfuhr aus kartographischen Notwendigkeiten eine Verschiebung. Der durchschnittliche Höhenfehler dieser neun Punkte beträgt bei einem 38 m Maximalfehler 14,7 m.



5. *Genauigkeit terrestrischer-photogrammetrischer Aufnahmen 1:25 000*. Zur Vermessung des schweizerischen Alpengebietes in topographischen Maßstäben gelangte die terrestrische Photogrammetrie zu großem Einsatz. Einmal waren die für eine rationelle Anwendung dieser Methode zu stellenden Bedingungen wie: relativ leicht erreichbare und betretbare Aufnahmestandorte mit umfassender Geländeeinsicht, fehlende oder schwache Bewaldung, günstige Aufnahmedistanzen usw. in nahezu idealer Weise erfüllt. Sodann lagen bei Beginn der Arbeiten noch keine abschließenden Erfahrungen mit der Aerophotogrammetrie vor, und man scheute wohl auch den großen Kapitalaufwand für ein Flugzeug. Heute löst die Landestopographie ihre topographischen Aufgaben vermessungstechnischer Natur zweckmäßigerweise mit Hilfe der Aerophotogrammetrie auch im Gebirge. Nachträglich werden verschiedene Gebiete des Gebirges nun auch vom luftphotogrammetrisch kartierten Übersichtsplan

1:10000 erfaßt. Das bot Gelegenheit zu Genauigkeitsuntersuchungen der terrestrischen Aufnahmen 1:25000 in den Gebieten Splügen und Innerferrera. Beide Prüffelder liegen in kleinen, steilen Hochtälern oberhalb der Waldgrenze. Es wurden 153 Geländepunkte von je 250 m Abstand und auf 12 km² verteilt mit nachstehend graphisch dargestelltem Resultat untersucht:

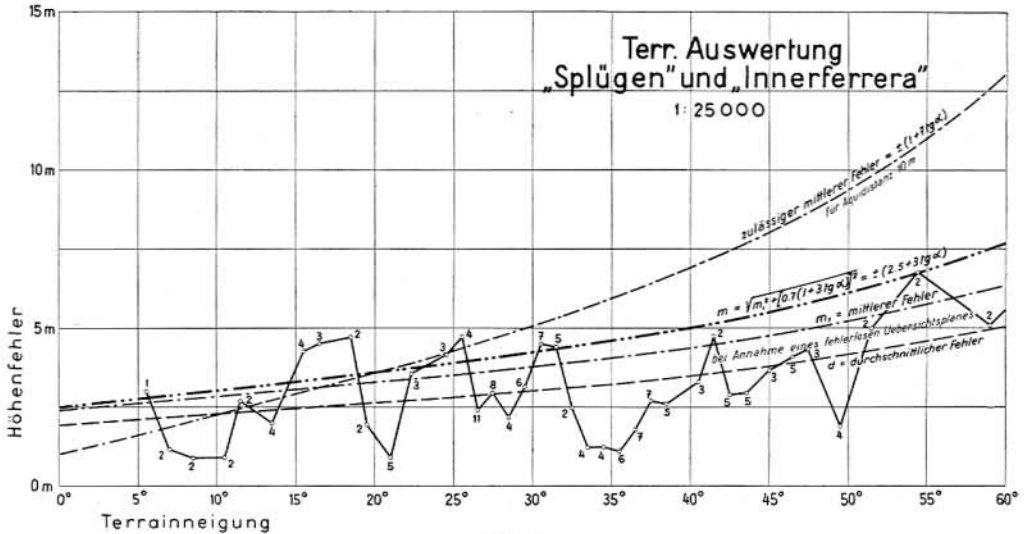


Abb. 6

6. Einfluß der Äquidistanz auf die Genauigkeit interpolierter Höhen. Den Aufnahmen Splügen 1:25000 lag eine Äquidistanz von 20 m, denjenigen 1:10000

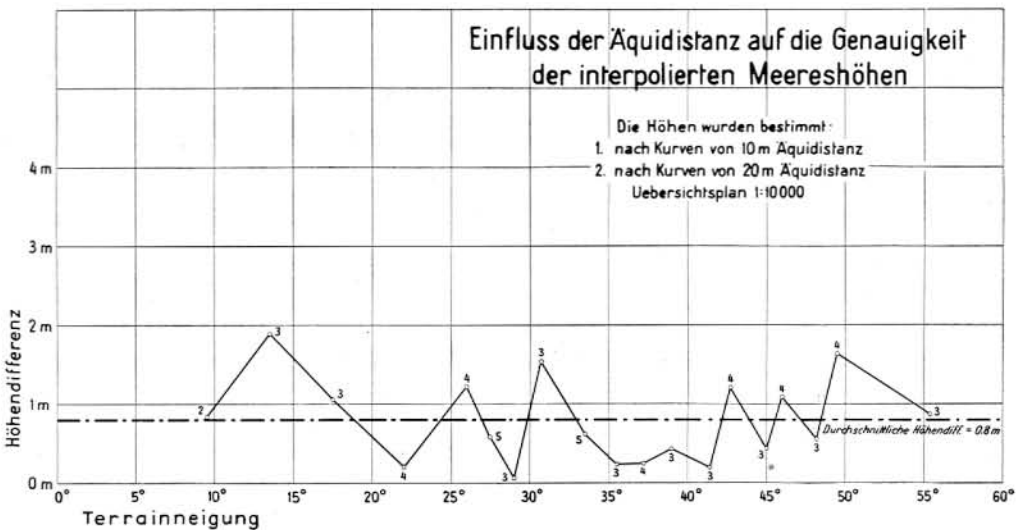


Abb. 7

eine solche von 10 m zugrunde. Wurde nun die Fehlerkurve wesentlich beeinflußt wegen den verschiedenen Interpolationsgrundlagen? Der Beantwortung der Frage dienten die Ermittlung von 66 Kartenhöhen aus dem Übersichtsplan, das eine Mal in 10er, das andere Mal in 20er Kurven interpoliert. Die auftretenden Differenzen sind gering, ihr durchschnittlicher Wert kann von der Terrainneigung unabhängig angenommen werden.

Die Befürchtung einzelner Kritiker, der Übergang von der 10 m zur 20 m Äquidistanz in den Gebirgsblättern 1:25 000, den die Landestopographie im Sinne der besseren Lesbarkeit der Karten in letzter Zeit vollzog, würde zu einem wesentlichen Genauigkeitsabfall führen, ist damit widerlegt.

Die vorstehenden Genauigkeitsuntersuchungen wollen nur das Konstatierte in Anlehnung an die Koppesche Höhenfehlerformel vermitteln. Das Ergebnis genügt uns für die praktische Einsicht in die Genauigkeitsverhältnisse der verschiedenen Kartenwerke. Wenn man die verschiedenen, in der kartographischen Bearbeitung nicht mehr auseinanderzuhaltenden Aufnahmeverfahren und die Vielzahl der Aufnahmeoperateure mit ihrem Einfluß auf das Endergebnis in Erwägung zieht, wird man davor bewahrt, allzu tief schürfen zu wollen.

FESTSCHRIFT

zum 75. Geburtstag von

PROF. DR. C. F. BAESCHLIN

ORELL FÜSSLI VERLAG, ZÜRICH

1957

Inhalt

W. K. BACHMANN. Adaptation d'une machine à facturer aux calculs géodésiques	1
S. BERTSCHMANN. Die Genauigkeit der neuen Landeskarten der Schweiz	9
PAUL ENGI. Über den Einfluß nicht erfaßbarer Fehlerquellen bei Zeit- und Längenbestimmungen	19
FRITZ GASSMANN. Theoretische Schwere im Innern von Massen	27
W. GROSSMANN. Einfache Rechenmaschinenlösungen zur Berechnung rechtwinkliger ellipsoidischer und geographischer Koordinaten . . .	41
J. DE GRAAFF-HUNTER. Legitimate deductions from geodetic observations	57
E. HUNZIKER. Das neue Schweizerische Schwerenetz erster Ordnung .	65
ED. IMHOF. Die Vertikalabstände der Höhenkurven	77
F. RUDOLF JUNG. Potentialdifferenzen und orthometrische Höhen . .	105
H. KASPER. Einige Betrachtungen zur photogrammetrischen Aufnahmeoptik	127
M. KNEISSL. Vorschlag für ein einheitliches europäisches Schwerenetz .	137
WALTER D. LAMBERT. Inadmissible spherical harmonics in the expansion of gravity anomalies	149
KARL LEDERSTEGE. Eine Modifikation der Freiluftreduktion	155
J. J. LEVALLOIS. Sur la formule de STOKES et celles qui en dérivent . .	164
R. MARCHANT. Les méthodes générales de compensation des mesures surabondantes	185
ANTONIO MARUSSI. Sulle rappresentazioni fra superfici definite mediante la forma quadratica che ne determina il modulo di deformazione .	201

R. ROELOFS. Die Genauigkeit der Kalibrierung von Luftbildkammern .	211
J. E. R. ROSS. Geodetic astronomy in Canada	225
A. TÁRCZY-HORNOCH. Zur Bestimmung von steileren reflektierenden Ebenen durch seismische Aufschlußmethoden	239
PIERRE TARDI. La géodésie, science d'observations	246
F. A. VENING MEINESZ. Les principes fondamentaux de la géodésie . .	257
CHARLES A. WHITTEN. Distortion in aera nets of triangulation	262