

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:	86 (1988)
Heft:	12
Artikel:	Lötschental
Autor:	Bischof-Suter, E. / Herter, P. / Matthias, H.J.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-233801

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: 25.01.2026

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

Partie rédactionnelle

Entwicklung der Stickoxid-Emissionen

1950: etwa 30 000 Tonnen pro Jahr, ganze Schweiz

1984: etwa 214 000 Tonnen pro Jahr

2000: etwa 115 000 Tonnen gemäss Luftreinhaltekonzzept des Bundes.

Anteil an Quellgruppen (NO_x -Emissionen):

Verkehr: 74%

Industrie/Gewerbe: 22%

Haushalte: 4%

Stickoxidemissionen in der Stadt Zürich:

Total: etwa 6000 t pro Jahr davon Strassenverkehr:

etwa 3900 t/a

zwei Kehrichtverbrennungsanlagen: etwa 600 t/a

Rascher entscheiden

Dass KVAs, bezogen auf die Luftreinhalteverordnung, noch «Dreckschleudern» sind, kann kaum bestritten werden. Dies muss aber nicht sein. Die verantwortlichen Besitzer und Betreiber müssten den heutigen Stand der Technik sofort ausnutzen. Mutige und rasche Entscheide bei den Zweckverbänden sind gefragt, nicht aber langwierige Diskussionen um Verfahren und Finanzschlüssel. Für all diejenigen, die sich mit der Feststellung in Sicherheit zu wiegen glauben, dass sie die LRV-Grenzwerte für NO_x -Emissionen für KVAs erfüllen (500 mg/m^3), sei warnend gesagt, dass im Zusammenhang mit den Massnahmenplänen der Kantone (nach LRV Art 31) eine Verschärfung der Emissionsbegrenzung kommen muss, die LRV durch den Bundesrat gar verschärft werden kann.

In der Bundesrepublik Deutschland gelten nach der TA-Luft ab einer bestimmten An-

lagenleistung Emissionsgrenzwerte mit einer Dynamisierungsklausel. Diese verlangt, dass bei der Festlegung der Grenzwerte für Schadstoffausstoss der aktuelle Entwicklungsstand der Minderungstechnik zu berücksichtigen ist.

Die von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung unlängst in Zürich veranstaltete internationale Fachtagung über Stickoxidminderung in Kehrichtverbrennungsanlagen lässt zwar noch einige praktische Anwendungsfragen offen, die Dynamisierung, sprich Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für KVA ist aber in Sicht; zu Recht.

Adresse des Verfassers:
Ernst W. Haltiner, Ing. HTL
Hohfuren 19
CH-8126 Zumikon

Lötschental *)

E. Bischof-Suter, P. Herter, H. J. Matthias, H. Schöneich

Der vorliegende Artikel ist eine gekürzte Fassung der Arbeit «Verfeinerte, mathematische Modelle für die klassische Triangulation 4. Ordnung, numerische Untersuchungen» von E. Bischof-Suter, H.J. Matthias und H. Schöneich, erschienen in der Reihe «Berichte» des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidg. Techn. Hochschule Zürich [1]. Es ging darum, für ein ganzes Triangulationsoperat die quantitativen Einflüsse verfeineter Modellannahmen auf die Neupunktkoordinaten und -Höhen zu analysieren.

Le présent article est un résumé de l'exposé «modèles mathématiques améliorés pour la triangulation classique de 4^e ordre, analyses numériques», d'E. Bischof-Suter, H.J. Matthias et H. Schöneich, paru dans la série des bulletins de l'Institut de Géodésie et Photogrammétrie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich [1]. Le but de cet exposé était l'analyse quantitative des influences de modèles améliorés sur les coordonnées des points à déterminer d'un groupe entier de triangulation.

1. Einleitung

Als Objekt wurde das Gebirgsoperat Nr. 369 Lötschental gewählt, das eine ausgeprägte V-Talform mit 161 Punkten aufweist. Das Netz wurde anno 1925 mit einem Hildebrand Theodoliten und einem sogenannten Walliser Theodoliten gemessen.

Diese Messwerte wurden in der Folge allen Berechnungen zugrunde gelegt. Als mittlerer Fehler einer Richtung am Gesamtmittel ergaben sich damals $0,4^{\text{CC}} \leq \sigma_{\alpha} \leq 8,3^{\text{CC}}$ und für Höhenwinkel $2,1^{\text{CC}} \leq \sigma_{\beta} \leq 9,9^{\text{CC}}$.

2. Die untersuchten Modelle

Modell 1

Einzelpunkteinschaltung nach den damaligen Eidg. Instruktionen für die Triangulation 4. Ordnung. Mit diesem Modell wurde seinerzeit die Berechnung vorgenommen.

Modell 2

Ausgleichung in einem Guss für die Lage (ebene Geometrie im Projektionssystem) und die Höhe (sphärische Geometrie); je getrennt.

Modell 3

Vereinfachte räumliche Berechnung in einem Guss mit derselben Geometrie wie in den Modellen 1 und 2.

Modell 4

Wie Modell 2, aber mit Berücksichtigung von interpolierten Lotabweichungen und geodischen Höhen [2].

3. Berechnungen

Damit für alle Modelle wirklich dieselben Messwerte zu Grunde liegen, wurden alle Daten für die drei neuen Modelle aus dem damaligen Original der Abrisse und Höhenberechnungen entnommen.

Die gewählten mittleren Fehler a priori betragen:

*) Anlass zu dieser Arbeit war der Wunsch des damaligen Direktors der L+T, dipl. Ing. E. Huber, an die Projektleitung RAV, in der Phase Vorstudie für die klassische Triangulation die Bedeutung erweiterter mathematischer Modelle zu untersuchen.

Richtungen:

$$\sigma_\alpha = 6^{\text{CC}}$$
 für alle Richtungen

$\sigma_\alpha = \xi^{\text{CC}} \cdot q/d$ für Visuren auf sehr nahe Zielpunkte; (für Exzentren u.ä. wird zufällige relative Querverschiebung $q = 1 \text{ cm}$ angenommen).

Höhenwinkel:

$$\sigma_\beta = 8^{\text{CC}}$$
 für alle Höhenwinkel

Distanz aus Neupunktkoordinaten berechnet:

$$\begin{aligned}\sigma_d &= 4 \text{ mm bei stationierbaren Boden-} \\ &\quad \text{punkten} \\ &= 28 \text{ mm für Hochzielpunkte}\end{aligned}$$

Instrumenten und Signalhöhen:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{I-S}} &= 3,2 \text{ mm für signalisierte Zielpunkte} \\ &= 10 \text{ mm für Hochzielpunkte}\end{aligned}$$

Refraktionskoeffizient:

$$\sigma_k = 0,02$$

Als Näherungskoordinaten der Neupunkte für die drei neuen Modelle dienten die definitiven Koordinaten und Höhen der seinerzeitigen Berechnung. Die Berechnungen für das Modell 3 konnten aus Gründen der Programmkapazität nur für ein Teilnetz durchgeführt werden, dessen östliche Abgrenzung etwa bei der Gemeinde Wiler verläuft.

4. Ergebnisse

4.1 Mittlere Fehler der Gewichtseinheit

Modell	1		2		3		4	
	Lage	Höhe	L	H	L + H	L	H	
Freiheitsgrad	594	383	594	383	508	594	383	
$\sigma_\alpha / m_\alpha [\text{cc}]$	6/9,3		6/8,0			6/8,7		
$\sigma_{\Delta h} / m_{\Delta h} [\text{mm/km}]$		13/21,1		13/14,3			13/13,6	
σ_o / m_o					6/13,9			

Tab. 1: Vergleich σ (a priori) mit m (a posteriori)

4.2 Modelltest

Für die Lage wird der Modelltest (Verhältnis von Varianzfaktor a posteriori zu Varianzfaktor a priori) bis zu $(1-\alpha) = 99,5\%$ von keinem der vier Modelle erfüllt. Bei der Höhe erfüllen nur gerade Modell 2 den 99,5%-Test und Modell 4 alle Tests nur mit $(1-\alpha) \geq 90\%$. Beides röhrt daher, dass die Varianzfaktoren a priori zu unsicher sind und dass wahrscheinlich beträchtliche äussere Netzwänge vorliegen.

4.3 Mittlere Fehlerellipsen

Da alle Modelle mit dem gleichen Netz und den gleichen Beobachtungen ausgegli-

chen wurden, sind alle mittleren «absoluten» Fehlerellipsen der Neupunkte in den Modellen 2, 3 und 4 (näherungsweise) ähnlich und weisen nur geringe Abweichungen in der Grösse der Halbachsen auf.

5. Modellvergleiche

5.1 Empirische mittlere Fehler

Die Signifikanz der Quotienten der empirischen mittleren Fehler der Gewichtseinheit zweier verschiedener Modelle wird nach Fischer getestet. Dies gilt aber streng nur für Vergleiche zwischen verschiedenen Stichproben einer Zufallsvariablen. Im Gegensatz dazu liegen hier nur verschiedene Funktionen von ein und der selben Stichprobe vor. Deshalb kann den Gegenüberstellungen der mittleren Fehler a posteriori in diesen Fällen keine zuverlässige Aussage zukommen. Vergleiche mit Modell 3 sind unterblieben, weil die Freiheitsgrade und Dimensionen hier anders sind. Der Unterschied der Varianzfaktoren a posteriori für die Horizontalrichtungen ist beim Vergleich der Modelle 4 mit 1 bis zum Niveau $(1-\alpha) = 95\%$ signifikant. Derselbe Unterschied ist beim Vergleich der Modelle 2 mit 1 bis zu einem wesentlich höheren Niveau signifikant ($(1-\alpha) > 99,95\%$). Der Unterschied der Varianzfaktoren a posteriori für die Höhen ist bei Vergleichen von allen Modellen mit Modell 1 noch auf höheren Niveaus signifikant. Dieselbe Aussage kann beim Vergleich der Modelle 4 mit 2 nicht gemacht werden; die Signifikanzgrenze liegt bei $(1-\alpha) =$

6. Gedanken zur Art der Untersuchung

Die seinerzeitige, nach Lage und Höhe getrennte Einzelpunkteinschaltung entspricht theoretisch den Ansprüchen an eine Abbildung der Erdoberfläche auf die Projektionsebene vor allem aus drei Gründen nicht:

- Die punktweise Ausgleichung erfasst die räumliche Konfiguration der Punktefigur nicht bestmöglichst
- Die Horizontalrichtungen und die Vertikalwinkel beziehen sich auf das lokale physikalische Lot und nicht auf die lokale Ellipsoidnormale
- Für die geometrisch korrekte Reduktion der Messwerte auf das Ellipsoid sind die Höhen nicht bekannt.

Hinzu kommen die äusseren Zwänge, die das Netz 4. Ordnung verzerrten und den Varianzfaktor a posteriori erhöhen. Dies gilt aber für alle vier Modelle. Die Art der durchgeföhrten Untersuchungen anhand des mathematischen Modells $\mathbf{v} = \mathbf{AX} - \mathbf{I}$ besteht darin, dass mit den Modellen 1 bis 4 jeweils nur die Konfigurationsmatrizen \mathbf{A} geändert werden, woraus sich, gestützt auf den einzigen Beobachtungsvektor \mathbf{l} , modellabhängige Parametervektoren \mathbf{X}_i und Verbesserungsvektoren \mathbf{v}_i ergeben. Also $\mathbf{v}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i - \mathbf{l}_i$. Gleich wie für die \mathbf{X}_i gilt auch für die Differenzvektoren $\Delta \mathbf{X}_{ij}$ zwischen zwei Modellen i und j, dass sie von der einzigen Realisierung \mathbf{l}_i des Beobachtungsvektors vollständig abhängig sind. Wenn allerdings die Menge aller Komponenten $\Delta \mathbf{X}_{ij}$ eines Parameter-Differenzvektors synthetisch als einer gemeinsamen Grundgesamtheit zugehörig betrachtet wird, können Histogramme dargestellt werden. Diese sind wertvolle Hilfsmittel für die Interpretation.

7. Interpretation der Ergebnisse und Fazit

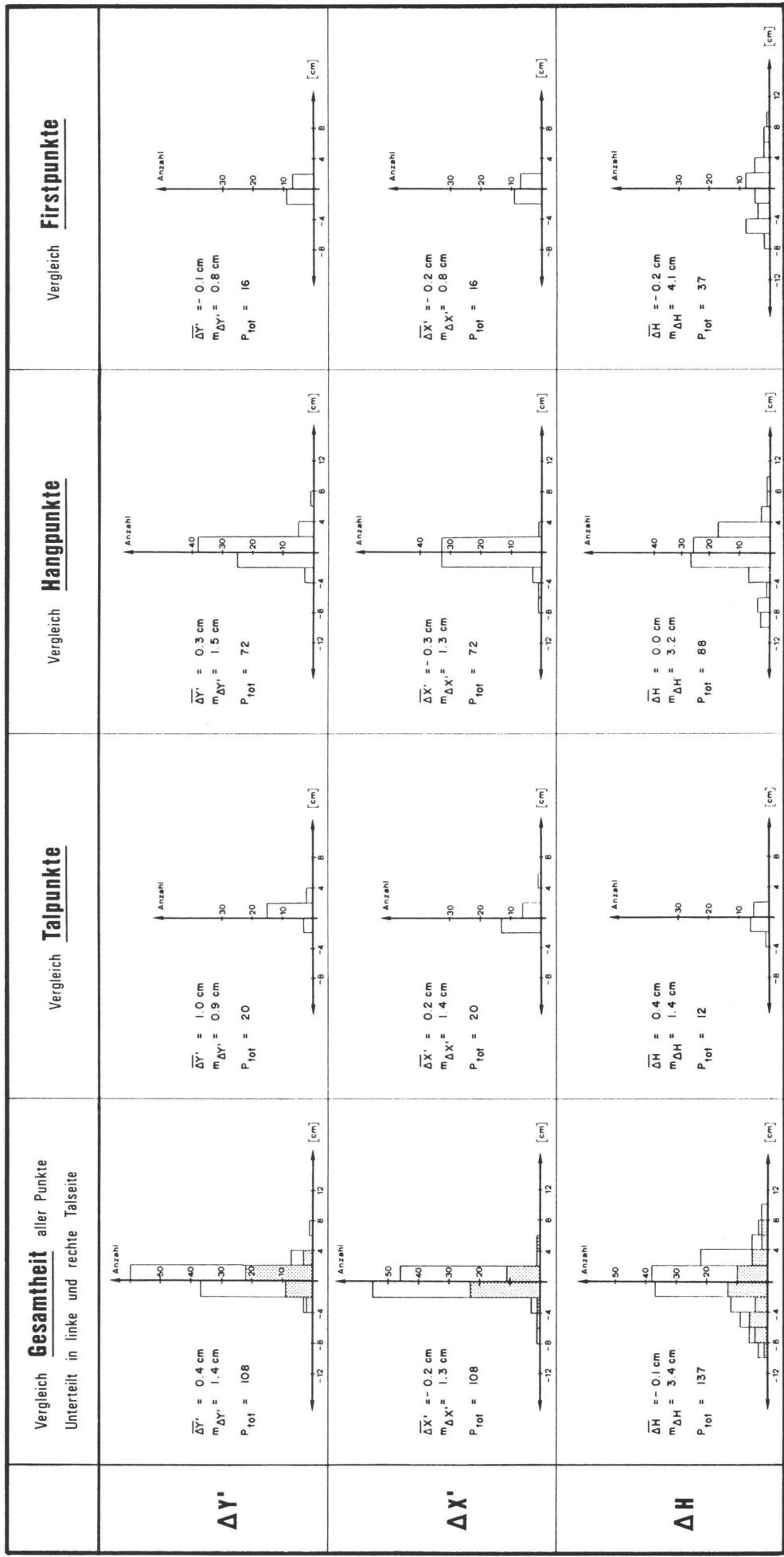
7.1 Allgemeines

Die wichtigsten Modellvergleiche sind 2 – 1 und 4 – 2, weil sie vom Standpunkt der Modellannahmen und damit vom praktischen Standpunkt am bedeutungsvollsten sind. Die entsprechenden Fragestellungen sind:

- Was «bringt» die Gesamtausgleichung (je für Lage und Höhen getrennt) gegenüber der klassischen sukzessiven Einzelpunkteinschaltung?
- Was für Änderungen der Koordinaten- und Höhenwerte sind zu erwarten, wenn im funktionalen Modell bei der Gesamtausgleichung (je für Lage und Höhen getrennt) Lotabweichungen berücksichtigt werden?

Tabelle 2a: Histogramme der Differenzvektoren

Vergleich der Modelle 2–1



Legende Histogramme

Differenzvektoren:

- ΔY Koordinatendifferenz Komponente quer zum Tal
- ΔX Koordinatendifferenz Komponente längs zum Tal
- ΔH Differenzen der berechneten Höhen
- $\bar{\Delta Y}, \bar{\Delta X}, \bar{\Delta H}$ Mittelwerte der Koordinatendifferenzen

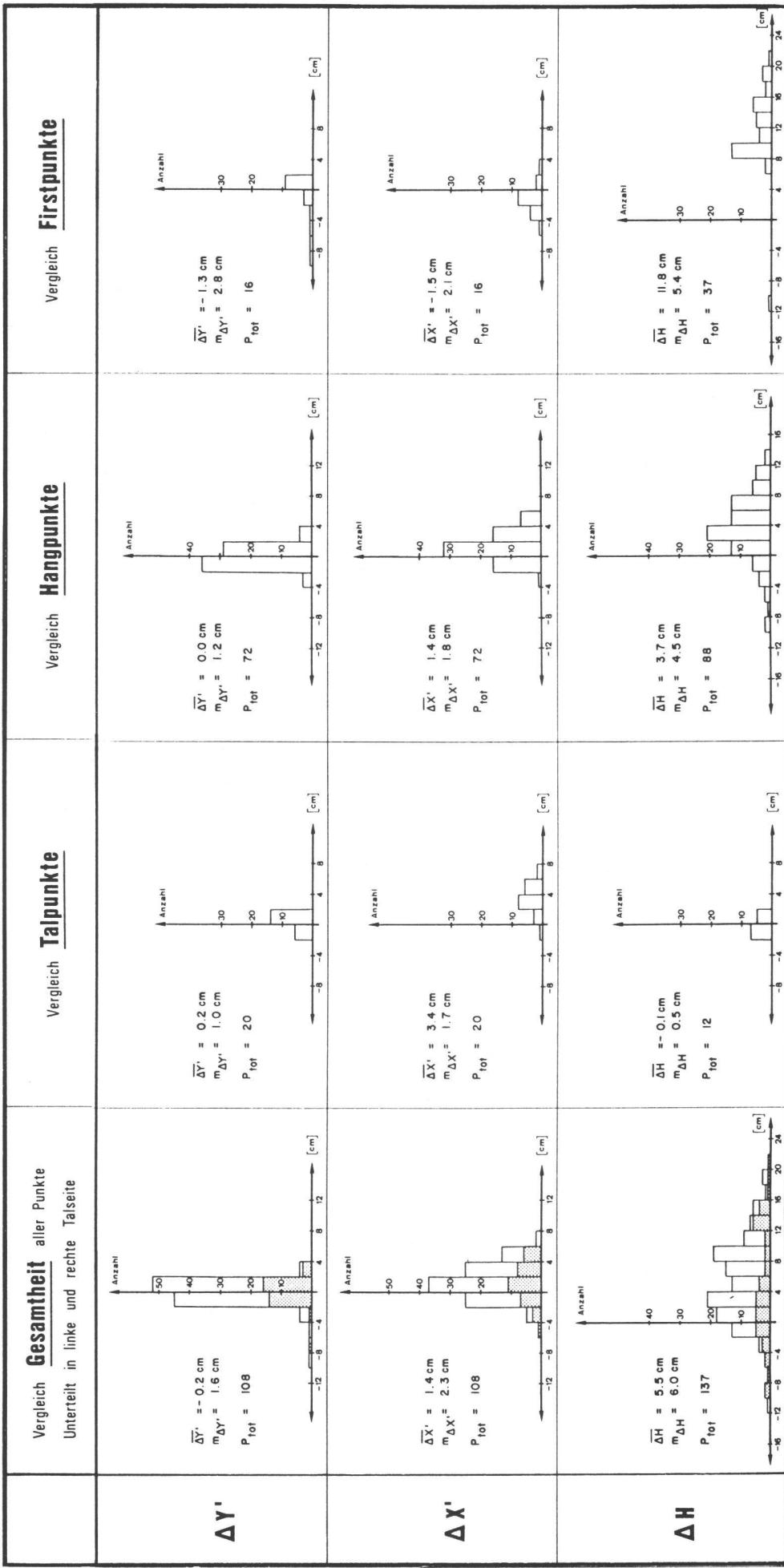
$m_{\Delta Y}, m_{\Delta X}, m_{\Delta H}$ Streumass der an den Differenzen gebildeten Häufigkeitsverteilungen

Unterteilung der «Gesamtheit aller Punkte» in

- links der Lanza
- rechts der Lanza gelegene Punkte

Tabelle 2b: Histogramme der Differenzvektoren

Vergleich der Modelle 4–2



Legende Histogramme

Differenzvektoren:

- $\Delta Y'$ Koordinatendifferenz Komponente quer zum Tal
- $\Delta X'$ Koordinatendifferenz Komponente längs zum Tal
- ΔH Differenzen der berechneten Höhen
- $\Delta \bar{Y}', \Delta \bar{X}', \Delta \bar{H}$ Mittelwerte der Koordinatendifferenzen
- $m_{\Delta Y}, m_{\Delta X}, m_{\Delta H}$ Streumass der an den Differenzen gebildeten Häufigkeitsverteilungen

Unterteilung der «Gesamtheit aller Punkte» in

- links der Lonna
- rechts der Lonna gelegene Punkte

Partie rédactionnelle

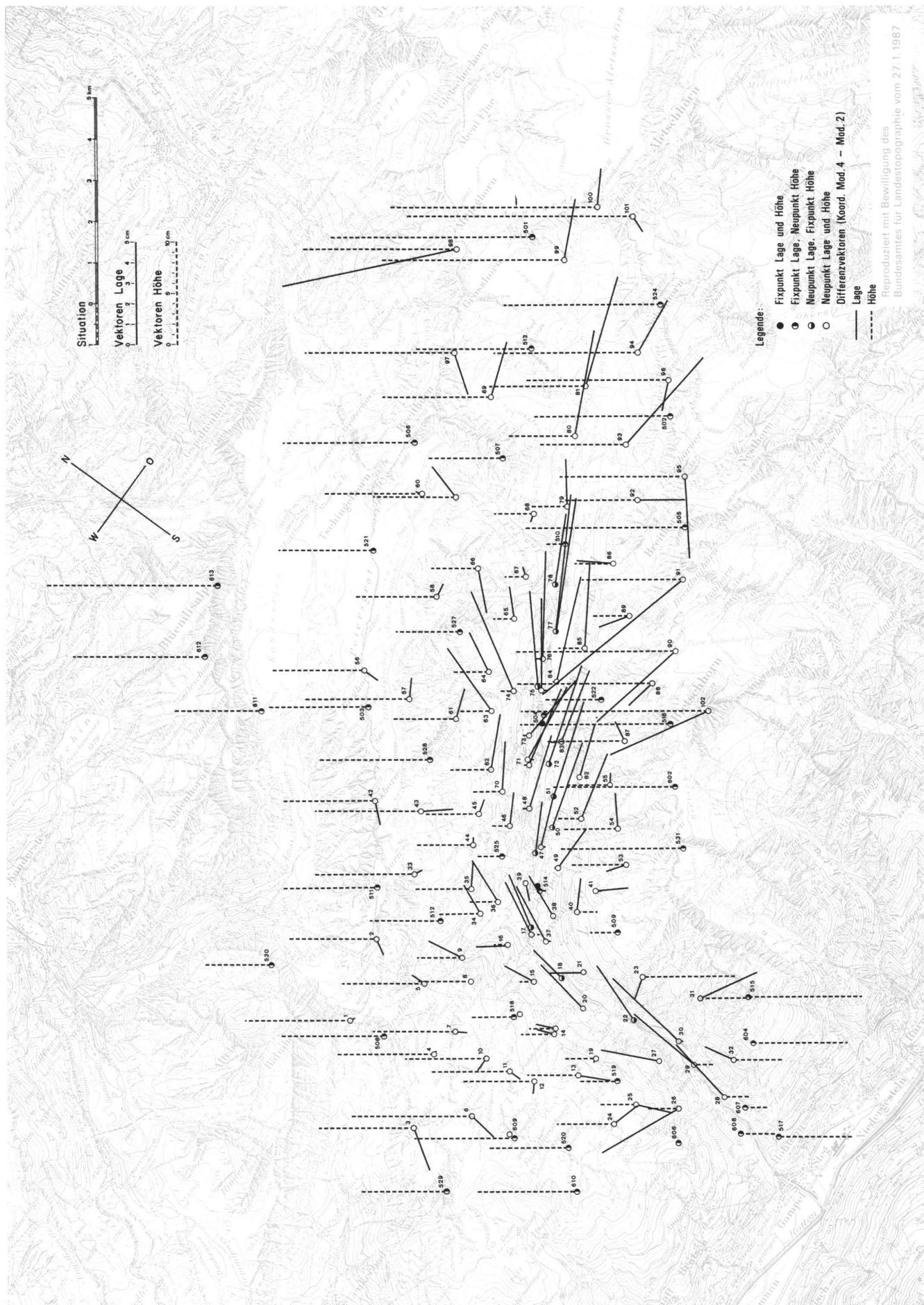


Abb. 1: Differenzvektoren 4 – 2

Deshalb beschränken wir uns auf Ausführungen zu den Vergleichen 2 – 1, 4 – 2. Der Modellvergleich 4 – 1 ist von wenig zukünftiger praktischer Bedeutung.

7.2 Vergleich von Modell 2 mit Modell 1

Grösse der Koordinaten- und Höhenänderungen

- Die Histogramme sind in Tabelle 2a ausgewertet.
- Die Änderungen der Koordinaten- und Höhenwerte sind erstaunlich gering.
95% Lage innerhalb $-3 / +3$ cm
Höhe $-8 / +7$ cm
- Es ist selbstverständlich, dass heute nur noch Gesamtausgleichungen erfolgen werden.
- Beim Beispiel des Operates 369 wäre dies aus Genauigkeitsgründen aber sicher nicht nötig. Zum Teil hängt dies mit der guten Disposition des Berechnungsplanes des Modells 1 und mit der hohen Redundanz zusammen
- Sicher kann dieses Resultat aber weitgehend verallgemeinert und auf andere Fälle übertragen werden
- Im Mittelland, mit Schwierigkeiten der Netzbildung wegen Topographie und Bodenbedeckung, wird es sicher Operate geben, wo eine Gesamtausgleichung zu wesentlichen grösseren Änderungen der Werte der Lagekoordinaten führen könnte
- Die Änderungen der Höhenwerte sind grösser als diejenigen der Lagekoordinaten. Das hängt mit dem stärkeren Einfluss von Refraktionen und Lotabweichungen zusammen. Darum ist auch das Histogramm der Änderungen der Höhenwerte flacher.

Varianzfaktoren a posteriori

Wie zu erwarten, ergeben sich für Modell 2 gegenüber Modell 1 tendenziell kleinere Werte für die empirischen Varianzfaktoren.

Für die Lage ergibt sich kein signifikant verminderter Wert. Das wird vor allem damit zusammenhängen, dass ein Netz mit wahrscheinlich recht grossen äusseren Zwängen vorliegt.

Für die Höhen ist die Reduktion des empirischen Varianzfaktors ganz bedeutend, siehe Tabelle 1, auf fast die Hälfte. Das hängt damit zusammen, dass das Höhenetz einem freien Netz mit nur inneren Zwängen sehr nahe kommt. Alle Höhenanschlusspunkte liegen im Tal und zudem relativ nahe beieinander.

Anisotropie der Differenzvektoren

Erwartungsgemäss sind die Richtungen und Grössen der Änderungsvektoren der Koordinaten- und Höhenwerte recht zufällig verteilt. Auch das spricht für die gute

Netzanlage und den guten Berechnungsplan von Modell 1.
Lokal zeichnen sich verschiedene kleine Zonen mit Isotropie ab, was für das Wesen der Einzelpunkteinschaltung ja eben typisch ist.

7.3 Vergleich von Modell 4 mit Modell 2

Grösse der Koordinaten- und Höhenänderungen

- Die Abbildung 1 ist in Tabelle 2b ausgewertet
- Die Änderungen der Werte der Lagekoordinaten sind auch hier gering.
95% Lage ($\Delta Y'$, $\Delta X'$) innerhalb $-3,5 / +6$ cm
- Die Differenzen der Höhenwerte sind merklich grösser

50% Höhe innerhalb	$+ 1,5 / + 9,5$ cm
95% Höhe innerhalb	$- 8 / +18$ cm
max. Höhe innerhalb	$-11 / +22$ cm

Kommentar zu den Koordinaten- und Höhenänderungen

- Für die Zwecke der Landesvermessung und der amtlichen Vermessung sind diese Unterschiede in einem Hochgebirgstal sicher unbedeutend
- Für Gebiete des Mittellandes wären diese Werte schon in einer störenden Grössenordnung
- Für besondere Zwecke der Ingenieurvermessung sind diese Unterschiede eindeutig relevant. Die Verhältnisse für die im konkreten Fall massgeblichen Punkte müssten untersucht oder/und Sondernetze vermessen werden
- Beim Modellvergleich 4 – 2 wird der einseitige systematische Einfluss augenscheinlich:

bei der Lage insbesondere in X' -Richtung

bei der Höhe viel stärker als bei der Lage

bei der Lage mehr für die Tal- und Firstpunkte als für die Hangpunkte

bei der Höhe vor allem für die Firstpunkte

- Das alles entspricht qualitativ den Erwartungen:

Die grössten Lotabweichungen werden am Hang in Richtung der Fall-Linie erwartet.

Einflüsse von Lotabweichungen sind auf Höhenwerte grösser als auf Lagekoordinatenwerte.

Die meisten Punkte und zugleich die am meisten vernetzten Punkte liegen am Hang.

Lagekoordinatenänderungen sind vor allem für Tal- und Firstpunkte zu erwarten und vor allem in X' -Richtung

- Das Höhennetz basiert auf Höhenfixpunkten im Tal
- Höhenänderungen sind vor allem bei den Firstpunkten zu erwarten.

(NB. Trigonometrisch bestimmte Höhendifferenzen sind orthometrischer Art. Man kann sie jedoch nicht streng der Kategorie der geoidischen oder der ellipsoidischen Höhendifferenzen zuordnen und spricht deshalb oft von Gebrachshöhen. Bei den Modellen 1, 2, 3 handelt es sich eher um geoidische und beim Modell 4 eher um ellipsoidische Höhen.)

Varianzfaktoren a posteriori

siehe Tabelle 1.

Eine weitere Reduktion der empirischen Varianzfaktoren ist nicht mehr eingetreten.

Isotropie der Differenzvektoren

Wie theoretisch zu erwarten war, ist das Bild der Differenzvektoren nicht durch Anisotropie gekennzeichnet, sondern weist sowohl für Lage als auch für Höhe isotropen (systematischen, gleichartigen) Charakter auf:

Differenzvektoren Lage:

Deutliche Tendenz in Richtung talaufwärts, d.h. X' (Modell 4) $> X$ (Modell 2).

Differenzvektoren Höhen:

Deutliche Tendenzen

- für Talpunkte klein bis Null
- für höher gelegene Punkte als Höhenanschlusspunkte, also Hangpunkte und Firstpunkte, in Zenitrichtung, d.h. H' (Modell 4) $> H$ (Modell 2)
- für tiefer gelegene Punkte eher in Nadirrichtung.

Literatur:

- [1] Bischof-Suter, E.; Matthias, H.J.; Schöneich, H.: Verfeinerte mathematische Modelle für die klassische Triangulation 4. Ordnung. Bericht Nr. 121, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, 1987.
- [2] Gurtner, W.: Das Geoid in der Schweiz. Mitteilung Nr. 20, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, 1978.

Adresse der Verfasser:

Dipl. Ing. E. Bischof-Suter
P. Herter
H. Schöneich
Prof. Dr. H. J. Matthias
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich