

Photogrammetric Determination of Surface Deformation in the Krafla-Fissure Swarm, NE Iceland

Klaus Wendt

Institut für Photogrammetrie und Bildverarbeitung
der Technischen Universität Braunschweig
Gaußstraße 22, 3300 Braunschweig
Federal Republic of Germany

Commission IV

Summary

In 1975 a major volcano-tectonic rifting episode started on the 80 km long Krafla fissure swarm, a segment of the diverging plate boundary of the American and European plates. Deformations of the earth surface measuring up to 8 metres occurred in the inner rifting zone. They are quite irregular in size and orientation. In order to obtain a comprehensive picture of the displacement pattern, in the summer 1982, 1984 and 1985 photo flights with image scales of approximate 1:12000 were carried out covering a ground area of 15 x 30 km² of the inner rifting zone. A standard mapping camera of 152-mm focal length was used. The object control field consisted of natural features. The results taken from these flights are referred.

Das Untersuchungsgebiet

Island liegt im Schnittpunkt von Mittelatlantischem Rücken und Grönland-Färöer-Schwelle. Nach der Theorie der Plattentektonik driften die amerikanische und die europäische Platte entlang des Mittelatlantischen Rückens auseinander. Die durchschnittliche Driftgeschwindigkeit beträgt 2 cm/Jahr /Björnsson, 1985/.

Island ist ein anormaler Teil des Mittelatlantischen Rückens. Quer durch die Insel zieht sich von Norden nach Süden die jungvulkanische Zone. Sie ist durch aktiven Vulkanismus und nahezu parallel verlaufende Grabenstrukturen gekennzeichnet. Ihr Aufbau ist sehr komplex strukturiert. Charakteristisch sind die Spaltenschwärme und Verwerfungszonen, die meist in Verbindung mit einem Zentralvulkan stehen (Abb. 1) /Björnsson, 1985/.

Nach einer langen Zeit relativer Ruhe begann am 20. Dezember 1975 eine neue aktive Riftphase innerhalb der jungvulkanischen Zone /Björnsson u. a., 1977/. Ausgehend vom Zentralvulkan Krafla wurden bis Herbst 1984 insgesamt 20 verschiedene tektonische Einzelereignisse registriert /Björnsson, 1985/.

In Zeiten relativer Ruhe bewirken die Kräfte der Plattenbewegung eine Dehnung und wachsende Spannung der Erdkruste. Unterhalb Islands ist sie dünner als die umgebende ozeanische Kruste. Starke Konvektionsströme innerhalb der Asthenosphäre bewirken eine allmähliche Dehnung und Absenkung der Kruste. Die aufgebaute Spannung entlädt sich in einer Riftphase, wobei Magma in Spalten gedrückt wird. Magma, das sich zuvor in einer Kammer gesammelt hatte. Diese Kammer stellt zusätzlich eine Schwachstelle innerhalb der Erdkruste dar, von der der Riftprozeß ausgeht. Innerhalb des Spaltenschwarms treten große Dehnungen auf, die in den angrenzenden Gebieten kompensiert werden.

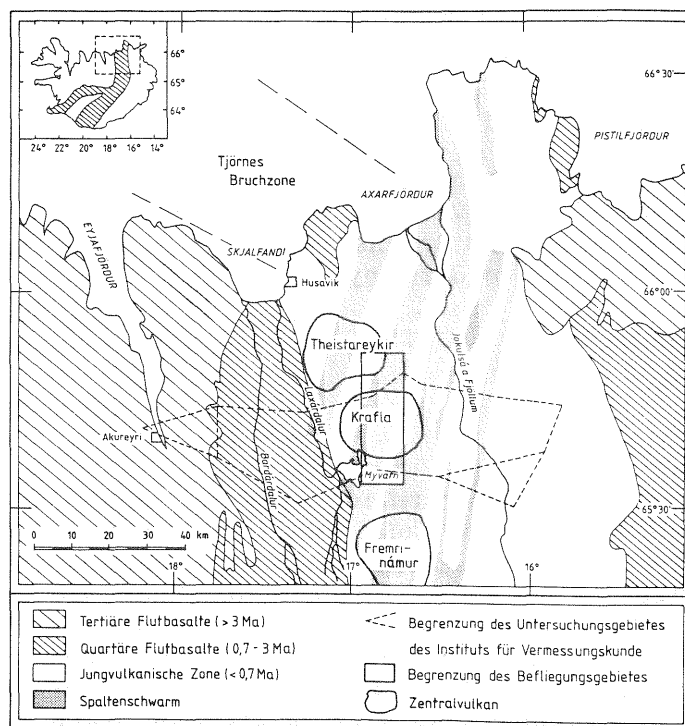


Abb. 1

Das Untersuchungsgebiet mit Lage des geodätisch-terrestrischen Kontrollnetzes sowie des Befliegungsgebietes.

Die geologischen Strukturen entstammen Saemundsson /1978/

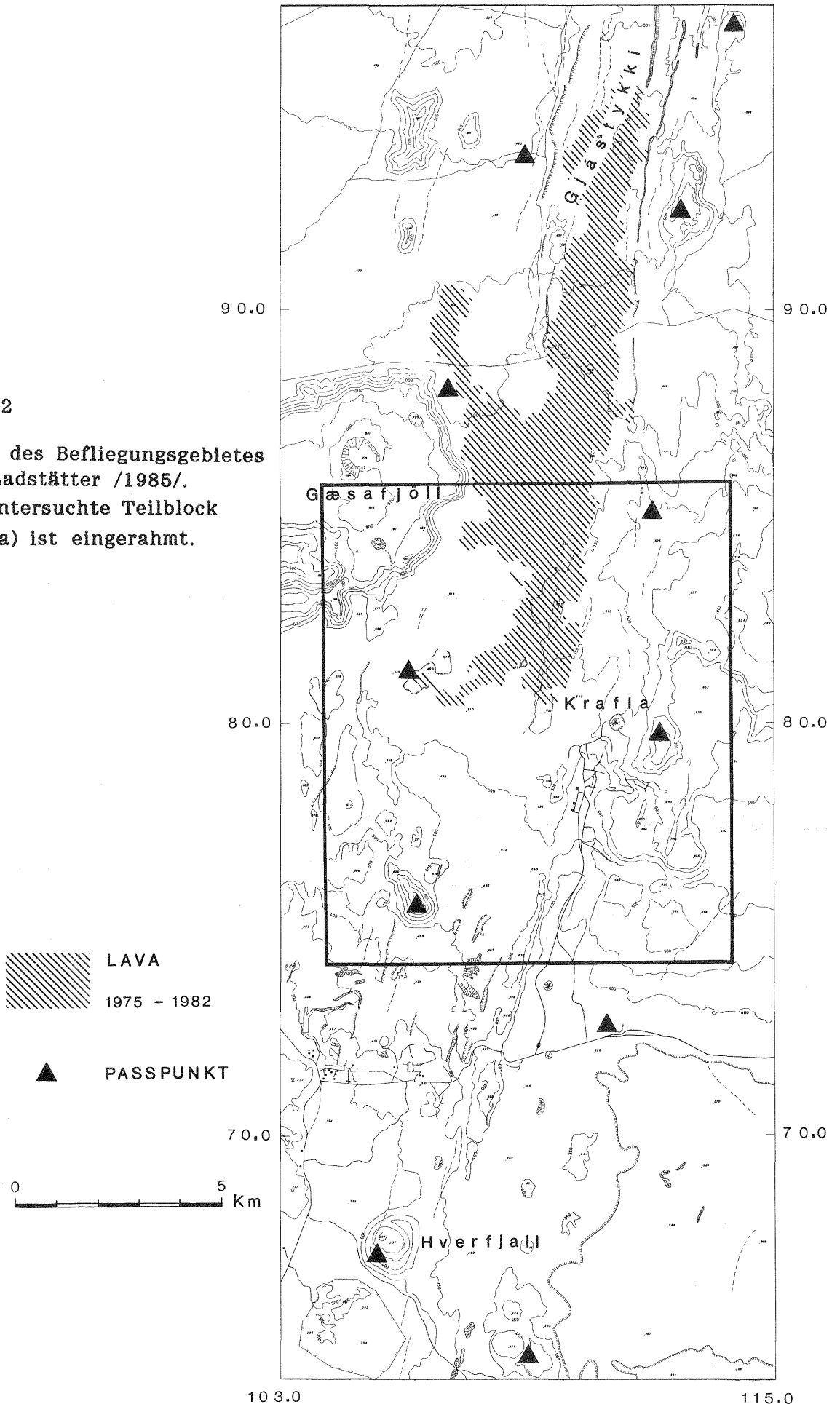
Terrestrische Beobachtungen

Der im Jahre 1975 begonnene Prozeß der Erdkrustenbildung im Gebiet des Krafla-Spaltenschwarms ist einer der am besten dokumentierten Riftprozesse. Die geodätischen und seismologischen Messungen reichen bis vor den Beginn des Riftgeschehens zurück /Jacoby u. a., 1980; Schubert, 1985/.

Bis zum Jahre 1980 wurden im Untersuchungsgebiet starke laterale Verschiebungen der Erdoberfläche beidseits des Krafla-Spaltenschwarms beobachtet, die im Laufe der Zeit auf bis zu acht Metern anwuchsen. Die Dehnungen der inneren Riftzone wurden in den unmittelbar angrenzenden Gebieten durch kompressive Zerrungen von bis zu 0,2 m/km aufgefangen. Im Abstand von 40 km von der Riftachse besaßen die Stauchungen noch eine Größe von 0.01 m/km. Nach 1980 wandelte sich das Bild der Erdoberflächenverformungen. Die Deformationen wurden kleiner /Wendt u.a., 1985; Wendt 1988/. Die Abbildung 3 zeigt die Klaffungen des Paßpunktfeldes für die Befliegung zwischen den Jahren 1982 und 1984. Die maximale, relative Verschiebung beträgt 0.3 m. Zwischen beiden Befliegungszeitpunkten wurden keine bedeutenden tektonischen Einzelereignisse registriert.

Abb. 2

Karte des Befliegungsgebietes
aus Ladstätter /1985/.
Der untersuchte Teilblock
(Krafla) ist eingerahmt.



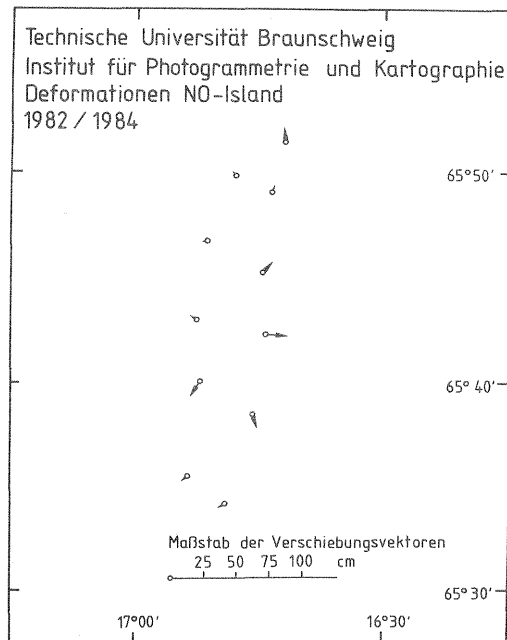


Abb. 3

Verformungen des Paßpunktfeldes zwischen 1982 und 1984

Photogrammetrische Deformationsbestimmung

Einen ersten Versuch, Erdoberflächenverformung in NO-Island aus Luftbildern abzuleiten, unternahmen Hellmeier und Wendt /1982/. Ohne signalisierte Punkt erfolgte die Orientierung der Bilder nur mit Hilfe topographischer Merkmale. Die einzelnen Epochen wurden über generelle Angaben des Deformationsverhaltens geometrisch verknüpft. Die Ergebnisse waren gut, so daß im Jahre 1982 vom Iceland Geodetic Survey erstmals ein Bildflug speziell für die Bestimmung von Erdoberflächenverformungen im Krafla-Gebiet durchgeführt wurde.

Das Befliegungsgebiet (Abb. 1 und 2) umfaßt einen ca. 10 x 30 km² großen Streifen der inneren Riftzone. Der Bildmaßstab beträgt ca. 1:12000. Als Aufnahmekammer diente eine Wild RC 10 mit einem Universal Aviogon I-Objektiv. Als Aufnahmematerial wurde Film des Typs Double-X-Aerographic verwendet. Die Befliegung erfolgte in Streifen mit 90% Längs- und 60% Querüberdeckung. In den Jahren 1984 und 1985 wurde der Bildflug mit nahezu gleicher Anordnung wiederholt.

Als Paßpunkte dienen sechs Punkte des geodätisch-terrestrischen Rahmennetzes, das um weitere fünf Punkte speziell für Zwecke des Bildfluges verdichtet wurde /Wendt, 1988/. Die insgesamt elf Punkte wurden mit 30 x 30 cm² großen, weißen Kunststoffplatten signalisiert. Der durchschnittliche Abstand beträgt sechs Kilometer. Dies entspricht bei einer 60%-igen Überdeckung in etwa der 5.5-fachen Basislänge.

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf ein 11 x 10 km² großen Teil des Befliegungsgebietes (Abb. 2). Der Ausschnitt deckt das Gebiet der Krafla-Caldera ab. Die beiden Teilblöcke (Epoche 1982 und 1984) bestehen jeweils aus acht Streifen mit je zwölf Bildern mit 60%-iger Längsüberdeckung. Die Bilder wurden am analytischen Plotter (Planicomp C 100) ausgemessen. Voraussetzung ist ein leistungsfähiges Meßprogramm, mit dem es möglich ist, nicht signalisierte Verknüpfungspunkte (z.B. für die Aerotriangulation) sowie nicht signalisierte homologe Vergleichpunkte für die Deformationsbestimmung sicher, schnell und zuverlässig von Bild zu Bild und von Epoche zu Epoche zu übertragen. Speziell hierfür wurde ein Programm zur halbautomatischen bzw. numerischen Übertragung von Punkten entwickelt /Ladstätter, 1986/. Der einzelne Bildpunkt wird nicht markiert, sondern ist durch seine Koordinaten über bildfeste Bezugspunkte (Rahmenmarken, Reseaukreuze etc.) in der Bildebene festgelegt. Die Koordinaten werden einmal gemessen und gespeichert. Bei der stereoskopischen Übertragung von einem Bild ins andere, werden die bereits gemessenen Punkte automatisch im Bild angefahren und durch Wegstellen der Parallaxe in das andere Bild übertragen. Zuordnungs- und Nummerierungsfehler fallen auf diese Weise vollständig weg. In den Bildern von 1982 sowie denen von 1984 wurden so etwas mehr als 600 Punkte in jedem Teilblock gemessen. Davon konnten ca. 430 Punkte zwischen den Epochen übertragen werden. Sie dienen als homologe Vergleichpunkte der Deformationsanalyse.

Beide Epochen wurden mit dem Programm MOR-S (Hinsken, 1985) ausgeglichen. Die a posteriori Genauigkeit der Bildkoordinatenmessung beträgt für beide Epochen einheitlich ±0.0064 mm. Die Schätzung für die Standardabweichung liegt damit im Bereich dessen, was Ladstätter /1985/ auch für einen nördlich angrenzenden Teilblock ermittelte. Da die Messungen ausschließlich an nicht signalisierten Punkten erfolgte - bis auf die vier Paßpunkte -, sind diese Genauigkeiten als sehr gut einzustufen. Aufgrund der halbautomatischen Punktübertragung wurden in beiden Bildverbänden (Epoche 1982 und 1984) keine groben oder großen Ausreißer festgestellt. Die Standardabweichung für die geschätzten Koordinaten liegen - wieder für beide Epochen identisch - im Mittel bei ±0.09 m für die x- und y-Richtung. Die Höhen weisen durchschnittlich eine Unsicherheit von ±0.20 m auf.

Einen Vergleich der beiden Epochen von 1982 und 1984 zeigen die Abbildungen 4 und 5. Um die horizontalen Klaffungen deutlicher zu zeigen, sind sie in Abb. 4 in einem größeren Maßstab gezeichnet worden als die Höhendifferenzen in Abb. 5. Die Unterschiede sind jedoch insgesamt nicht signifikant. Sie liegen in der Horizontalebene bei durchschnittlich ±0.12 m. Die maximale Differenz beträgt 1.0 m. Die vertikalen Klaffungen sind im Mittel ±0.6 m groß, maximal 2 m.

Für die Deformationsanalyse wurden die Bildverbände der Epoche 1982 und 1984 in einem Guß ausgeglichen, wobei für identische Punkte nur ein Satz von Koordinaten eingeführt wurde. Über die Standardabweichung der Gewichtseinheit $s_{0,i}$ der getrennt ausgeglichenen Epoche i beziehungsweise die Standardabweichung $s_{0,h}$ der gemeinsamen Ausgleichung der Epochen ergibt sich der Globaltest.

$$s_0^2 = \frac{\sum f_i \cdot s_{0,i}^2}{\sum f_i} = \frac{\sum f_i \cdot s_{0,i}^2}{f}$$

$$T = \frac{(f+h) \cdot s_{0,h}^2 - f \cdot s_0^2}{h \cdot s_0^2}$$

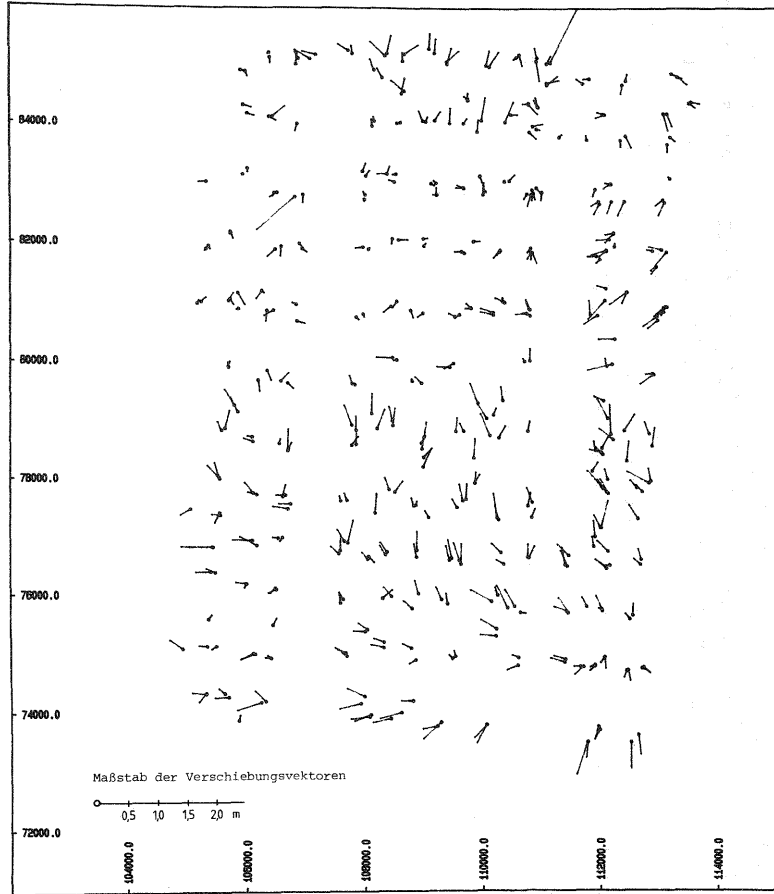


Abb. 4

Horizontale Klaffungen des ausgewerteten Teilblocks

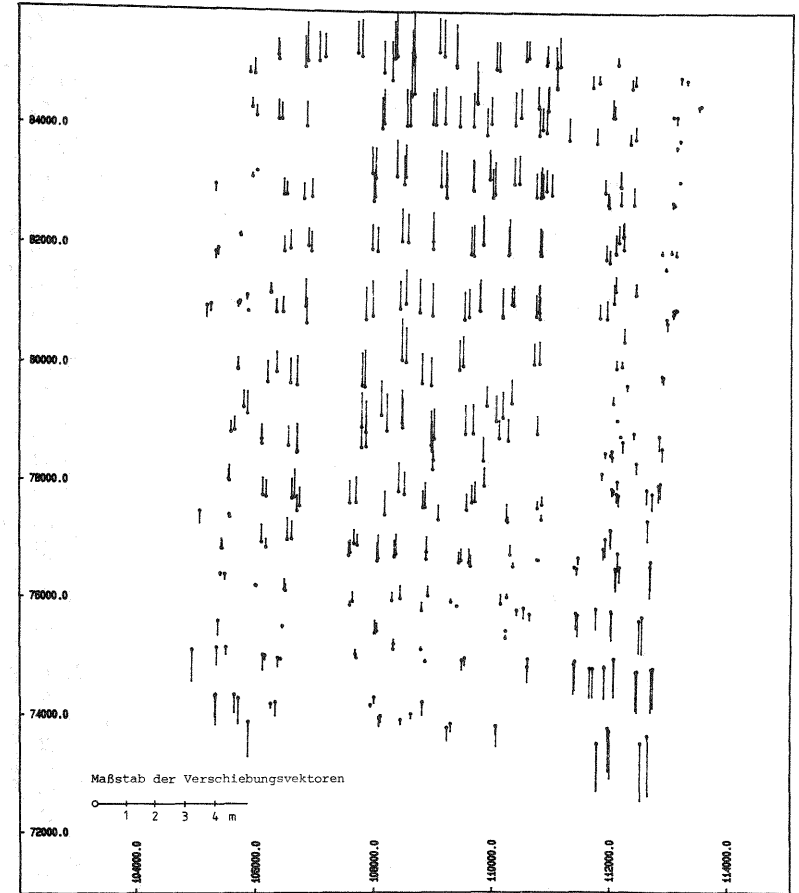


Abb. 5

Vertikale Klaffungen des ausgewerteten Teilblocks

wobei f_i die Anzahl der Freiheitsgrade der Epoche i und h die Differenz $f_h - \sum f_i$ zwischen den Freiheitsgraden der getrennten beziehungsweise der gemeinsamen Ausgleichung beschreibt. Ist T wie im vorliegenden Falle kleiner als der zulässige Grenzwert $F(h, f, 1 - \alpha)$ der F -Verteilung, kann die Hypothese, daß keine Deformationen stattgefunden haben, mit der Irrtumswahrscheinlichkeit von α (i.a. 0,05) nicht widerlegt werden.

Literatur

- Björnsson, A.; K. Saemundsson, P. Einarsson, E. Tryggvason and K. Grönvold, Current rifting episode in north Iceland
Nature, 266, 318-323, 1977
- Björnsson, A.
Dynamics of Crustal Rifting in NE Iceland
J. Geophys. Res., 90, 10151-10162, 1985
- Hellmeier, H.-J.; K. Wendt
Deformationsbestimmung der Erdoberfläche auf Grund
photogrammetrischer und geodätischer Daten
Bildmessung und Luftbildwesen, 50, 173-180, 1982
- Hinsken, L.
MOR-S: Ein Anwendungsbeispiel für die Sparse-Technik in einem
photogrammetrisch-geodätischen Netzausgleichungsprogramm
Zeitschr. f. Vermessungswesen, 110, 416-424, 1985
- Jacoby, W. R.; A. Björnsson and D. Möller (Editors)
Iceland: Evolution, Active Tectonics, and Structure
J. Geophys., 47, 1980
- Saemundsson, K.
Fissure swarms and central volcanoes of the neovolcanic zones
of Iceland, in: D.R. Bowes and B.E. Leake (Ed.), Crustal
evolution in north-western Britain and adjacent regions
Geol. J., Spec. Iss., 10, 415-432, 1978
- Schubert, G.
J. Geophys. Res., 90, 1985
- Ladstätter, P.
Zur aerophotogrammetrischen Ermittlung von Verformungen der
Erdoberfläche, Deut. Geod. Kommission, Reihe C, Nr. 321, 1986
- Wendt, K.; D. Möller and B. Ritter
Geodetic Measurements of Surface Deformations During the
Present Rifting Episode in NE-Iceland
J. Geophys. Res., 90, 10163-10172, 1985
- Wendt, K.
Ermittlung von rezenten Oberflächenverformungen in der
jungvulkanischen Zone No-Islands aus geodätisch-geometrischen
Beobachtungen, Deut. Geod. Kommission, Reihe C, 1988