

Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik der Alpen

Autor(en): **Wiget, A. / Gubler, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **54 (1988)**

Heft 127

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-211744>

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.

Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik der Alpen*

mit 2 Tabellen und 1 Karte

A. WIGET und E. GUBLER**

1. Einleitung

Die quantitative Erfassung geodynamischer Prozesse, insbesondere von Bewegungen der Erdkruste, basiert stets auf der Bestimmung und dem Vergleich quasikonstanter geometrischer oder physikalischer Messgrössen am selben (allenfalls mitbewegten) Ort zu verschiedenen Zeitpunkten. Je kleiner diese Zeitspanne der Vergleichsperiode und je kleiner der Betrag der Bewegung ist, umso genauer muss die Messmethode sein, um signifikante Bewegungen nachweisen zu können. Analysen geophysikalischer Grössen, z.B. des Gesteinsmagnetismus der Meereskruste, erlauben Vergleiche über Millionen von Jahren.

Dagegen beziehen sich geodätische Messungen mit Wiederholungszyklen von einigen Jahren oder Jahrzehnten stets auf erdgeschichtlich jüngste oder gar gegenwärtige Vorgänge. Diese werden daher auch als 'rezente Krustenbewegungen' bezeichnet. Der Nachteil des erdgeschichtlich verschwindend kleinen 'Beobachtungsfensters' wird durch den Vorteil aufgehoben, dass die Geodäsie damit einen Beitrag zur Bestimmung aktueller Vorgänge liefert und nicht integrale Auswirkungen geodynamischer Prozesse über Jahrtausende erfasst.

Mit der Einführung satellitengestützter Vermessungsmethoden, insbesondere dem U.S. Navigationssystem NAVSTAR / Global Positioning System (GPS), vermag die Geodäsie die Aspekte der Geodynamik in allen Grössenordnungen zu erfassen: global (z.B. Pol- und Rotationsschwankungen), interkontinental (Plattentektonik), regional und lokal. Im folgenden Artikel beschränken wir uns auf den Beitrag der Geodäsie zum Studium der Alpendynamik und betrachten damit regionale und lokale Gesichtspunkte.

2. Methoden

Die Hauptaufgabe der Geodäsie, die Bestimmung der Figur und des äusseren Schwerfeldes der Erde, enthält eine geometrische (Erdfigur) und eine physikalische (Schwerfeld) Fragestellung. Beide sind jedoch aufs engste miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung zeigt sich zum Beispiel bei den klassischen geodätischen Messmethoden (Nivellement, Theodolit-Messungen) durch den Bezug zur lokalen Lotrichtung («Horizontierung»).

* Revidierte Fassung eines Vortrages an der 55. Jahresversammlung der VSP am 18. Juni 1988 in Saanen.

** Dipl. Ing. A. WIGET und Dipl. Ing. E. GUBLER Bundesamt für Landestopographie, 3084 Wabern

Der Erdkörper und sein Schwerfeld unterliegen zudem zeitlichen Veränderungen, womit eine dritte Komponente zur Problemstellung hinzutritt. Eben mit der Erfassung dieser Veränderungen, die mit den heutigen geodätischen Mess- und Auswertemethoden registriert werden können, trägt die Geodäsie zur Erforschung der Geodynamik bei. Als Methoden stehen dabei Gravimetrie, astrogeodätische Zenitkameramessungen, Richtungs- und Distanzmessungen, Präzisionsnivellements sowie satellitengeodätische, relative Positionsbestimmungen (z.B. mit GPS) zur Verfügung.

Die Gravimetrie liefert den Betrag des Schwerevektors, während mit der Zenitkamera dessen Richtung bestimmt wird, woraus sich durch Differenzbildung zur geodätischen (ellipsoidischen) Position die sog. Lotabweichungen ergeben. Mit satellitengeodätischen GPS-Messungen können ellipsoidische Lage- und Höhenkoordinaten bestimmt werden. Aus dem mit Schweremessungen korrigierten Nivellement können orthometrische Höhen (über dem Geoid) errechnet werden. Die Differenzen zwischen diesen orthometrischen und den ellipsoidischen Höhen sind die sog. Geoidundulationen.

Damit können zwei Schwerpunkte der Beiträge der Geodäsie zur Geodynamik unterschieden werden:

1. Bestimmung der aktuellen Kinematik der noch andauernden Prozesse der Alpendynamik (»rezente Krustenbewegungen») durch die Analyse zeitlicher und räumlicher Änderungen der geodätischen Messgrößen bei Wiederholungsmessungen. Als Methoden kommen dabei z.B. Präzisionsnivellement, Präzisionspolygonzug, und GPS-Satellitenvermessung in Frage.
2. Schwerfeldbestimmung durch direkte Schwere- und Lotrichtungsmessungen einerseits oder eine Kombination von Nivellement und satellitengeodätischen Höhenbestimmungen andererseits. Die detaillierte Erfassung des Schwerfeldes vermag einen Beitrag zur Dichtebestimmung der geologischen (Tiefen-)Strukturen zu leisten.

3. Geodätische Arbeiten im NFP 20

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 20 'Geologische Tiefenstruktur der Schweiz' hat eine Arbeitsgruppe der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) ein gemeinsames Forschungsprojekt zur Koordination der geodätischen Beiträge eingereicht [KAHLE et al., 1986]. In dieser Arbeitsgruppe arbeiten die folgenden Institutionen zusammen:

- Astronomisches Institut der Universität Bern (AIUB)
- Bundesamt für Landestopographie (L+T)
- Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich.

Im NFP 20 werden die bereits erwähnten geodätischen Messmethoden eingesetzt, und zwar konzentriert auf die drei Geotraversen (West-, Ost- und Südtraverse). Ein besonderer Schwerpunkt stellt dabei die Linie Visp - Zermatt dar [u.a. SCHNEIDER und GEIGER, 1986]. Im Jahre 1930 hat die L+T im Rahmen der Ergänzungen des Landesnivellements ein Präzisionsnivellement von Visp nach Zermatt gemessen. Davon konnten 23 Fixpunkte wieder aufgefunden werden. Zusätzlich wurden 43 neue Punkte gesetzt, von denen 12 zugleich als Stationspunkte für GPS-Messungen benutzt wurden. 8 Stationen wurden mit der Zenitkamera vermessen. Zudem wurde ein Präzisions-Polygonzug von Visp nach Zermatt gemessen, dem die 12 GPS-Stationen angeschlossen wurden. Schliesslich wurde die ganze Linie noch gravimetriert. Die Auswertung dieser Messungen wird am IGP der ETH Zürich durchgeführt und ist z.T. noch im Gange [WIRTH und MARTI, 1988].

Ein weiteres Präzisionsnivellement wurde 1987 von Bellinzona nach Brissago nachgemessen. Diese Linie ist vor allem interessant, weil sie in der Nähe von Locarno die Insubrische Linie überquert. Im Sinne zweier konkreter Beispiele werden wir im folgenden näher auf diese zwei wiederholten Nivellements von Bellinzona nach Brissago und von Visp nach Zermatt eingehen und die Resultate der Auswertung darstellen.

Zuvor sei jedoch noch ein wichtiger Punkt bei der Durchführung geodätischer Messungen für geodynamische Interpretationen angesprochen. Um von beobachteten Lage- und Höhenänderungen auf rezente Bewegungen der obersten Erdkruste schliessen zu können, müssen die verwendeten Fixpunkte (FP) dauerhaft und genügend stabil in massgebenden geologischen Formationen versichert sein oder wenigstens an Gebäuden, welche eindeutig auf solchen fundiert sind. Aus diesem Grund wurden alle FP durch einen Geologen (Dr. P. HEITZMANN, Universität Bern und NFP 20) beurteilt und gemäss ihrer Eignung klassiert. So enthält z.B. das mit neuen FP-Gruppen ergänzte Messprofil der Linie Visp - Zermatt 48 FP der Eignungsklasse 1 («für kinematische Untersuchungen gut geeignet») und 16 FP der Klasse 2 («eher geeignet»). Als Hilfsmittel für die Auswahl und Klassierung der Punkte beider Nivellements-Linien wurde eine neue, von Dr. N. PAVONI von der ETH Zürich vorgeschlagene Stabilitäts-Testmethode mit Erfolg eingesetzt. Dabei wird das zu prüfende Objekt mit einem Springstock angeregt und die induzierte Schwingung mit einem Geophon und Aufzeichnungsgerät gemessen.

4. Präzisionsnivellements auf Süd- und Westtraverse des NFP 20

Das Landesnivellement 1. Ordnung der Schweiz hat eine totale Länge von 3000 km. Die erste Messung erfolgte von 1903-1927 mit einer Genauigkeit von $m = 1.4 \text{ mm} \cdot \sqrt{s}[\text{km}]$. Die zweite Messung wurde 1943 begonnen. Bis 1987 wurden 89% nachgemessen, mit einer Genauigkeit von $m = 0.8 \text{ mm} \cdot \sqrt{s}[\text{km}]$. Es darf sicher als bekannt vorausgesetzt werden, dass aus den Messungen des ersten und des zweiten Landesnivellements signifikante Relativbewegungen der Fixpunkte und der betreffenden Krustenteile nachgewiesen werden konnten [vgl. z.B. GUBLER et al. 1981 oder GUBLER et al. 1984]. In der gesamtschweizerischen Ausgleichung, die ja von der willkürlichen Annahme ausgeht, dass die Fixpunktgruppe in Aarburg keine Höhenänderung erfahren habe, erhalten die Fixpunkte im Alpenraum Hebungsraten von der Grössenordnung 0.5 bis 1.5 mm/Jahr [vgl. Karte p. 14]. Die Fragestellung im Rahmen des NFP 20 lautet: Wie ändern diese Hebungsraten zwischen Bellinzona und Brissago und zwischen Visp und Zermatt. Die Auswertung der Messungen hat zu den im folgenden dargestellten Resultaten geführt:

Linie Bellinzona - Brissago

Diese Linie wurde im Jahre 1919 im Rahmen des ersten Landesnivellements gemessen. Sie weist nur geringe Höhenunterschiede auf, weshalb systematische Fehler wie einseitige Refraktion oder Massstabsfehler der alten Nivellierlatten kaum ins Gewicht fallen dürften. Die Messung von 1987 ist nach den heute geltenden Vorschriften für das Landesnivellement ausgeführt worden.

Von den schon 1919 bestimmten Fixpunkten konnte eine ganze Anzahl wieder aufgefunden werden. Auf Grund der Beurteilung durch den Geologen Dr. P. HEITZMANN dürften aber nur deren 12 die Vertikalbewegung der Erdkruste unverfälscht wiedergeben.

Die Berechnungen erfolgten mit dem in [GUBLER et al., 1984] beschriebenen Programmsystem für kinematische Ausgleichungen von Nivellementsnetzen. Um keine zusätzlichen Schwierigkeiten heraufzubeschwören, wurden für die Ausgangspunkte der Linie in Bellinzona die gleichen Hebungsdaten eingesetzt, wie sie aus der in der Einleitung erwähnten, gesamtschweizerischen Ausgleichung gefunden wurden. Die Differenz zweier Hebungsdaten ergibt direkt die Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden betroffenen Punkten.

Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, ergeben sich für die Fixpunkte zwischen Bellinzona und Brissago Hebungsdaten von 0.89 bis 1.05 mm/Jahr gegenüber 0.98 in Bellinzona.

Ort	Punkt	Objekt	Klasse	Höhe [m]	Vertikal- geschw. [mm/J]	Diffe- renz [mm/J]	Standard- abw. [mm/J]
Bellinzona	A	Fels	1	241	0.98	Ref.	Ref.
Bellinzona	B	Fels	1	242	0.99	+ 0.01	0.00
Bellinzona	579	Fels	1	230	0.99	+ 0.01	0.00
Sementina	79	Fels	2	224	0.99	+ 0.01	0.03
Gudo	82	Fels	2	227	0.89	- 0.09	0.04
Gordola	B	Fels	1	227	0.95	- 0.03	0.06
Solduno	2	Fels	1	217	1.05	+ 0.07	0.07
Ascona	93	Fels	1	202	0.98	0.00	0.07
Moscia	96	Fels	1	210	0.98	0.00	0.07
Moscia	98	Fels	1	212	0.92	- 0.06	0.08
P. Ronco	C	Fels	1	199	0.91	- 0.07	0.08
Brissago	407	Geb.	2	208	0.95	- 0.03	0.08

Aus den letzten beiden Kolonnen kann abgeschätzt werden, dass allfällige Relativbewegungen zwischen den Punkten offenbar höchstens von der Grössenordnung 0.1 mm/Jahr und damit nicht signifikant sind. Dies gilt insbesondere auch für die Insubrische Linie, die zwischen Solduno und Ascona überquert wird.

Linie Visp - Zermatt

Das Nivellement Visp - Zermatt von 1930 ist für andere Zwecke und mit älterem, weniger genauem Instrumentarium gemessen worden. Anstelle der sonst zu der Zeit im Landesnivellement verwendeten Nivellierlatten mit Invarbändern wurden noch sogenannte Kompensationsmiren eingesetzt, deren Skalen eine grössere Massstabsunsicherheit aufweisen. Aus den Feldbüchern geht aber hervor, dass die Skalen täglich ge-
eicht und dass die Abweichungen in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Aus der Streuung der Korrekturen kann die Massstabsunsicherheit abgeschätzt werden. Sie dürfte bei 5 bis 10 ppm liegen, was bei einer Höhendifferenz von rund 1000 m zwischen Visp und Zermatt 5 bis 10 mm ausmacht. Durch den grossen zeitlichen Abstand zwischen den beiden Messungen werden die berechneten Vertikalbewegungen um weniger als 0.2 mm/Jahr verfälscht. Die neue Messung von 1987 wurde nach den heute im Landesnivellement angewendeten Vorschriften ausgeführt.

Die geologische Beurteilung der Fixpunkte durch Dr. HEITZMANN hat ergeben, dass auf der ganzen Strecke zwischen Lalden und Zermatt noch 9 alte Fixpunkte vorhanden sind, die in stabilen Objekten verankert sind.

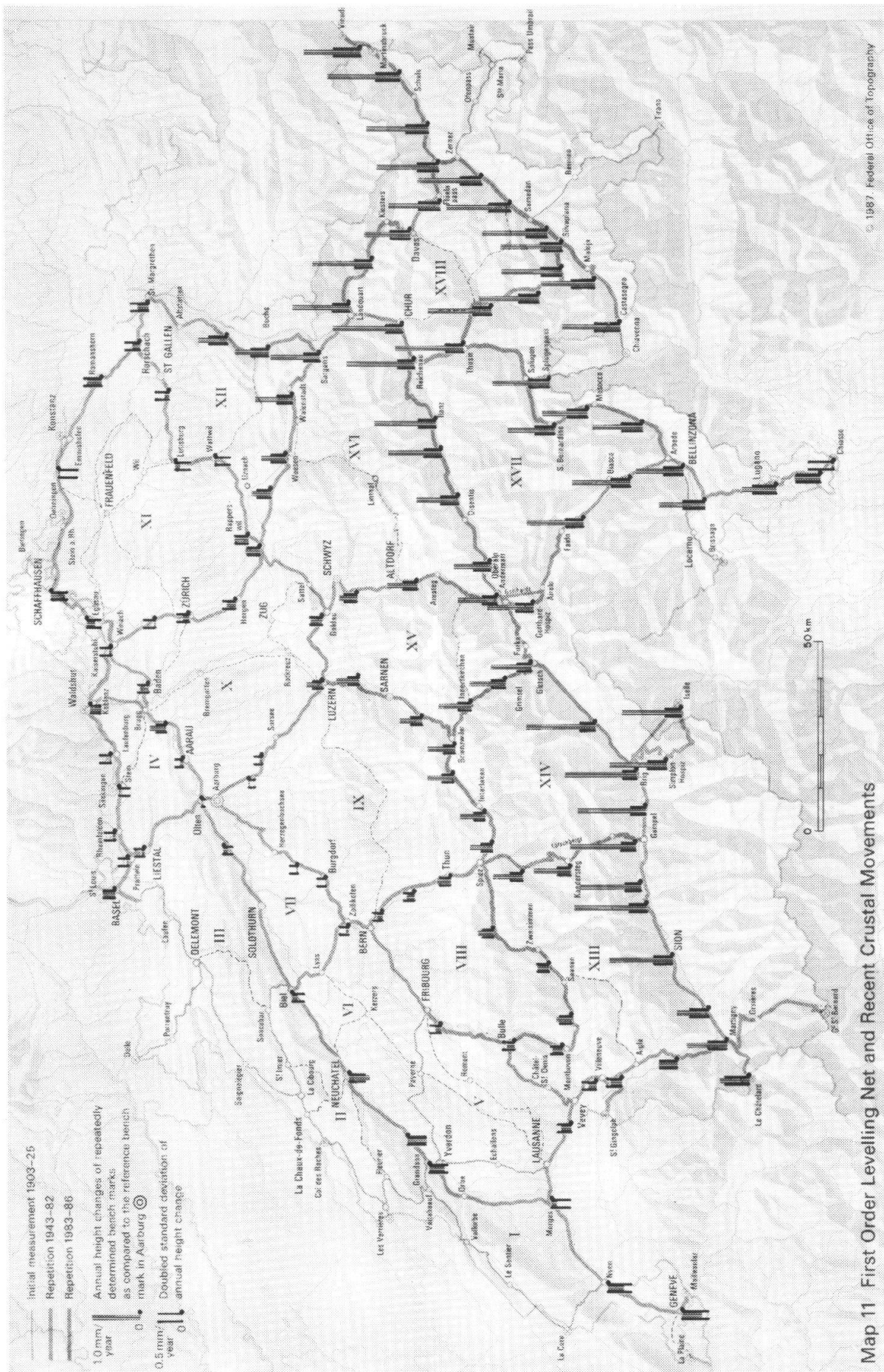
Für die Auswertung wurde gleich vorgegangen wie auf der Linie Bellinzona - Brissago. Als Ausgangspunkt diente der Fixpunkt 81 in Visp, der in der gesamtschweizerischen Ausgleichung eine Hebungsrate von 1.5 mm/Jahr gegenüber Aarburg aufweist. Die Hebungsraten sind in der untenstehenden Tabelle wiedergegeben.

Ort	Punkt	Objekt	Klasse	Höhe [m]	Vertikal- geschw. [mm/J]	Diffe- renz [mm/J]	Standard- abw. [mm/J]
Lalden	189	Geb.	1	656	1.36	- 0.15	0.05
Visp	81	Fels	-	651	1.51	Ref.	Ref.
Visp	736	Geb.	1	664	1.39	- 0.12	0.04
Neubrück	856	Geb.	1	695	1.39	- 0.12	0.06
Neubrück	855	Mauer	1	688	1.38	- 0.13	0.06
Stalden	B	Geb.	2	790	1.24	- 0.27	0.07
St.Niklaus	277	Fels	2	1096	1.04	- 0.47	0.12
Herbriggen	B	Fels	2	1257	1.06	- 0.45	0.14
Randa	A	Fels	2	1410	0.88	- 0.63	0.15
Zermatt	1432	Geb.	1	1621	0.84	- 0.67	0.18

Offensichtlich nehmen die Hebungsraten von Visp Richtung Zermatt kontinuierlich ab. Betragen sie in Visp 1.5 mm/Jahr, so bleiben in Zermatt nur noch 0.8 bis 0.9 mm/Jahr. Die Abnahme beträgt 0.6 bis 0.7 mm/Jahr, also mehr als das dreifache der entsprechenden Standardabweichung. Trotz der verhältnismässig grossen Massstabsunsicherheit ist diese Abnahme in hohem Masse signifikant. Ein Vergleich mit den Ergebnissen im Simplongebiet zeigt eine gute Übereinstimmung. Dort nimmt die Hebungsrate von Brig bis Iselle von 1.5 auf 1.2 mm/Jahr ab.

5. Literatur

- GUBLER E., KAHLE H.-G., KLINGELÉ E., MÜLLER St. und OLIVER R., 1981. Recent crustal movements in Switzerland and their geophysical interpretation. *Tectonophysics*, 71, p. 125-152.
- GUBLER E., SCHNEIDER D. und KELLERHALS P., 1984. Bestimmung von rezenten Bewegungen der Erdkruste mit geodätischen Methoden. Technischer Bericht Nr. 84-17 der NAGRA, Baden 1984.
- KAHLE, H.-G., GUBLER, E. und BAUERSIMA, I., 1986. Geodäsie, Präzisionsnivellements und GPS-Satelliten-geodäsie: Beitrag zur geologischen Tiefenstruktur und zur Alpendynamik. NFP 20, Bulletin 1, 1986.
- SCHNEIDER, D. und GEIGER A., 1986. Geodäsie: Nivellementslinie, astrogeodätisches Profil und GPS-Satelliten: Vermessung zwischen Visp und Zermatt. NFP 20, Bulletin 2, 1986.
- WIRTH, B. und MARTI, U., 1988. Beitrag der Geodäsie zur Dichtebestimmung der geologischen Tiefenstruktur. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Bericht Nr. 148, April 1988.



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 7.12.1988