

# Höhenänderungen der Fixpunkte im Gotthard-Bahntunnel zwischen 1917 und 1977 und ihre Beziehung zur Geologie

Autor(en): **Funk, Hanspeter / Gubler, Erich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **73 (1980)**

Heft 2: **Symposium alpine geotraverses with special emphasis on the Basel-Chiasso profile : Lausanne, 4-5 October 1979**

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164977>

## **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.

|                     |           |                |             |                  |
|---------------------|-----------|----------------|-------------|------------------|
| Eclogae geol. Helv. | Vol. 73/2 | Seiten 583-592 | 1 Textfigur | Basel, Juli 1980 |
|---------------------|-----------|----------------|-------------|------------------|

# Höhenänderungen der Fixpunkte im Gotthard-Bahntunnel zwischen 1917 und 1977 und ihre Beziehung zur Geologie

Von HANSPETER FUNK<sup>1)</sup> und ERICH GUBLER<sup>2)</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Jahre 1977 haben die Schweizerischen Bundesbahnen das Bundesamt für Landestopographie beauftragt, das 1917 durchgeführte Präzisionsnivellement durch den Gotthard-Bahntunnel zu wiederholen, weil für grössere Bauvorhaben genaue Höhen benötigt wurden. Ein grosser Teil der 1917 gesetzten Fixpunkte war noch vorhanden, so dass die neu bestimmten Höhen jenen von 1917 gegenübergestellt werden konnten. Dabei konnten Niveauunterschiede beobachtet werden.

Ein Vergleich dieser Messresultate mit der Geologie des Bahntunnels (STAPFF 1880) ergab eine erstaunliche Übereinstimmung zwischen den relativen Bewegungstendenzen und einzelnen tektonischen Blöcken. Zwei Blöcke mit Hebungstendenz (Urserenzone; südliches Gotthardmassiv) stehen zwei Blöcken mit relativer Senkungstendenz gegenüber (Aarmassiv; nördliches Gotthardmassiv).

Diese Resultate stehen weitgehend im Einklang mit geomorphologischen Beobachtungen nördlich und südlich der Urserenzone (JÄCKLI 1951; ECKARDT 1957, 1974; eigene Beobachtungen).

Während in der Urserenzone möglicherweise postglaziale isostatische Ausgleichsbewegungen die Ursache für die relative Hebung sein können, kommen für die Bewegungen im Gotthardmassiv eher tektonische Gründe in Frage.

## ABSTRACT

In 1977 the Swiss Federal Office of Topography repeated the precise levelling through the Gotthard railroad tunnel, first measured in 1917. Twenty-six of the 30 bench marks placed in 1917 could be identified and level differences were observed.

A comparison of these measurements with the geology of the railroad tunnel (STAPFF 1880) has revealed a surprisingly good correspondence between the tendencies of relative movement and single tectonic units. Two blocks (Urserenzone, southern Gotthard massif) show a tendency to rise while two others (Aar massif, northern Gotthard massif) seem to be sinking.

Some of the results are in good accordance with geomorphological observations north and south of the Urserenzone (JÄCKLI 1951; ECKARDT 1957, 1974; own observations).

The results suggest that postglacial isostatic movements might be the reason for the relative uplift of the Urserenzone. On the other hand tectonics seem to be responsible for the movements of the Gotthard massif.

<sup>1)</sup> Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

<sup>2)</sup> Bundesamt für Landestopographie, CH-3084 Wabern.

## 1. Einleitung

Durch den Vergleich von Präzisionsnivellements aus verschiedenen Epochen können unter günstigen Umständen Vertikalbewegungen der Erdkruste bestimmt werden. Das Bundesamt für Landestopographie hat systematisch alle doppelt gemessenen Linien des Landesnivellements untersucht und die Ergebnisse publiziert. Nachdem im Jahre 1977 auch das Präzisionsnivellement durch den Gotthard-Bahntunnel wiederholt wurde, konnten die neuen Höhen mit denen von 1917 verglichen werden. Dabei zeigten die Höhenänderungen der Fixpunkte im Tunnel ein unerwartet unregelmässiges Bild. Dies führte dazu, die Messresultate mit der Geologie des Bahntunnels zu vergleichen. Mit diesem Bericht sollen die Resultate und einige Gedanken dazu bekanntgegeben werden. Wir erheben nicht den Anspruch, im vorliegenden Aufsatz die Phänomene richtig zu deuten, vielmehr sollen die Resultate zur Diskussion und zu eigenen Überlegungen anregen.

## 2. Die Nivellements des Bundesamtes für Landestopographie

Von 1903 bis 1925 hat das Bundesamt für Landestopographie das Landesnivellement durchgeführt mit dem Zweck, im ganzen Land Höhenfixpunkte in einem einheitlichen Höhensystem zu bestimmen. Im Rahmen dieser Arbeiten ist in der Zeit vom 15. bis 20. Juli 1917 auch ein Präzisionsnivellement durch den Gotthard-Bahntunnel gemessen worden. Dabei sind im Tunnel im Abstand von 500 m Höhenfixpunkte in der Form von Bronzebolzen in den Fundamentquadern der Tunnelwand verankert worden. Ihre Höhen wurden mit dem im Landesnivellement allgemein angewandten Verfahren des Präzisionsnivellements mit grosser Genauigkeit bestimmt.

Seit 1943 revidiert die Landestopographie sukzessive das Fixpunktnetz des Landesnivellements, indem ganze Linien neu gemessen werden. Bis heute ist der grösste Teil der östlichen Landeshälfte ein zweites Mal gemessen worden, unter anderem auch die Linie über den Gotthardpass. Der Vergleich dieser neuen Messungen mit jenen des ersten Landesnivellements hatte signifikante Höhenänderungen für die Fixpunkte im Alpenraum gegenüber jenen im Mittelland zum Vorschein gebracht (JEANRICHARD 1973; GUBLER 1976). Leider sind für diesen Vergleich nur eine sehr beschränkte Zahl von Fixpunkten brauchbar, weil viele der im ersten Landesnivellement bestimmten Fixpunkte in der Zwischenzeit durch Bauarbeiten, Rutschungen oder Senkungen für derartige Untersuchungen unbrauchbar geworden sind. Geringere Verluste und eine gute Stabilität der Fixpunkte waren demgegenüber im Gotthard-Bahntunnel zu erwarten. Auch die verhältnismässig grosse Zahl von Fixpunkten war vielversprechend. Als Ende 1976 die Kreisdirektion II der SBB für Ausbauarbeiten ein neues Nivellement durch den Tunnel benötigte, war das Bundesamt für Landestopographie gerne bereit, diese Aufgabe zu übernehmen. Die Messung fand in der Zeit vom 28. Februar bis 10. März 1977 statt. Das Messverfahren entsprach dem im Landesnivellement üblichen (vgl. MÜLLER & GUBLER 1976). Von den 1917 gesetzten 30 Fixpunkten konnten deren 26 erneut bestimmt werden.

Als Mass für die Genauigkeit eines Nivellements wird in der Geodäsie die

Standardabweichung einer Höhendifferenz zwischen zwei Fixpunkten angegeben, die 1 km voneinander entfernt sind. Dieser Wert dürfte sich bei beiden Nivellements in der Grössenordnung von 1 mm bewegen. Für grössere Entfernungen wächst die Standardabweichung der gemessenen Höhendifferenz und erreicht für die ganze Tunnellänge von 15 km einen Betrag von 3 bis 4 mm. Einen Hinweis auf die Genauigkeit der Nivellements gibt aber auch der Schleifenschlussfehler, der aus der Addition aller aufeinanderfolgenden Höhenunterschiede von Göschenen durch den Tunnel nach Airolo und über den Pass wieder zurück nach Göschenen berechnet werden kann. Wird berücksichtigt, dass die Niveauflächen des Erdschwerefeldes nicht parallel verlaufen, so erhalten wir für diesen Schleifenschlussfehler im ersten Nivellement + 3 mm und im zweiten – 3 mm. Die Länge der Nivellementsschleifen beläuft sich auf 48 km.

Die Vertikalbewegungen im Gestein lassen sich bestimmen, indem die neuen Höhen der erwähnten 26 Fixpunkte mit den 1917 bestimmten verglichen werden. Die dabei festgestellten Veränderungen sind in der Figur dargestellt. Als Ausgangspunkt für diese Darstellung ist ein geeigneter Fixpunkt beim Bahnhof Göschenen gewählt worden. Aus den oben angegebenen Standardabweichungen kann abgeleitet werden, dass eine Relativbewegung zwischen zwei Fixpunkten bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% signifikant ist, wenn sie die folgenden Signifikanzschranken übersteigt:

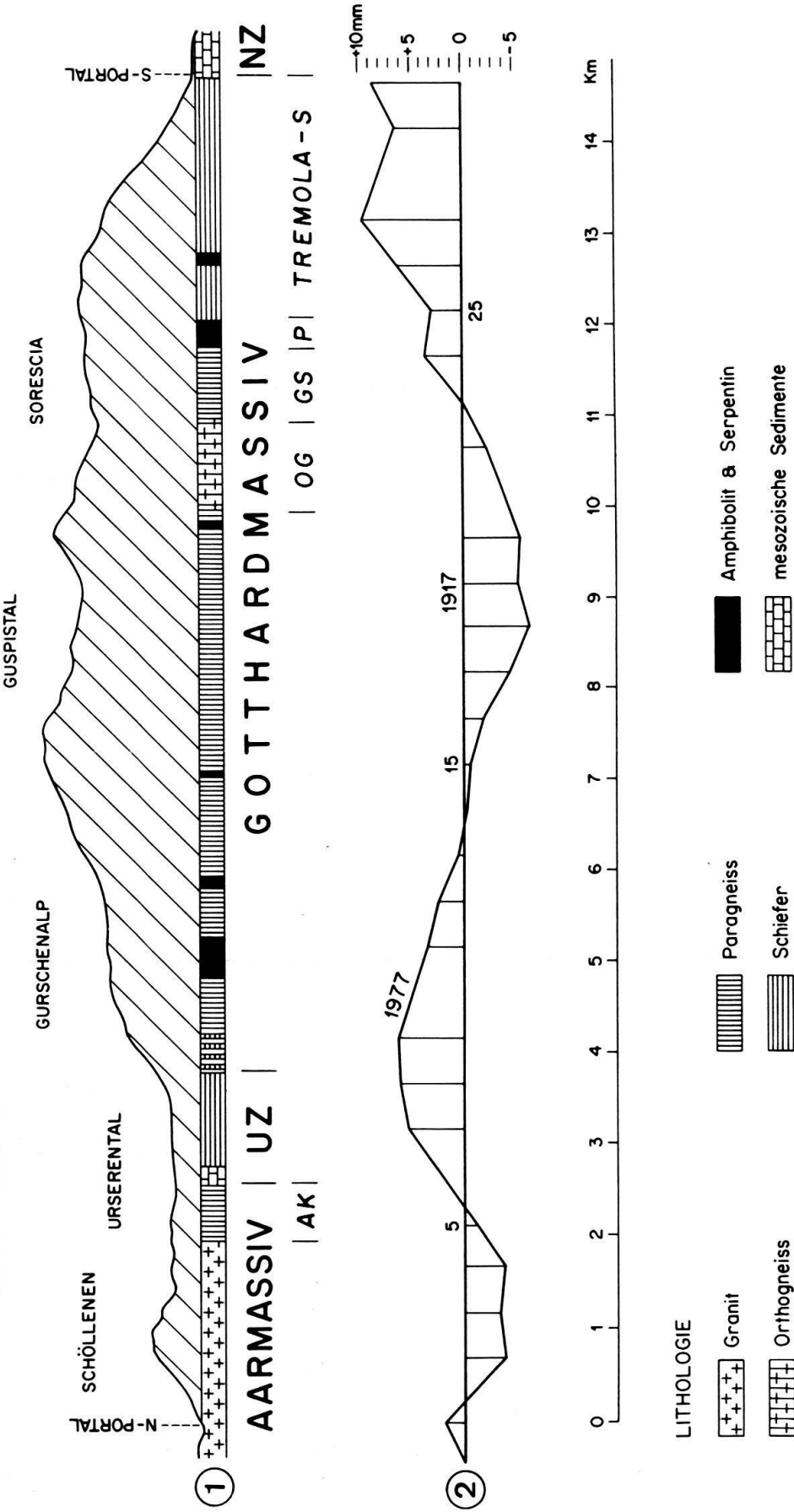
| Abstand der<br>Fixpunkte<br>km | Signifikanz-<br>schranke<br>mm |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 0,5                            | 1,5                            |
| 1                              | 2                              |
| 4                              | 4                              |
| 9                              | 6                              |
| 16                             | 8                              |

In der Figur erkennt man unschwer, dass die kleinen Unregelmässigkeiten im Kurvenverlauf nicht signifikant sind, so etwa zwischen den Bolzen 2, 3 und 4 oder 18, 19, 20, aber auch zwischen 24 und 25. Demgegenüber sind signifikante relative Höhenänderungen zwischen einzelnen Tunnelabschnitten offensichtlich. Die Bolzen 2 bis 4 senkten sich gegenüber den Bolzen in Göschenen. Die anschliessenden Punkte 7 bis 9 sind eindeutig gehoben. Dann scheint eine Zone mit differentieller Senkungstendenz anzuschliessen, die in ihrer Gesamtheit ebenfalls signifikant ist und von einer Zone mit ähnlicher differentieller Hebung abgelöst wird. Ein Vergleich mit den an der Erdoberfläche festgestellten Vertikalbewegungen ist schwierig, weil entlang der Paßstrasse nur wenige Punkte für diese Untersuchung geeignet sind. Zudem verläuft die Linie an der Oberfläche bis zu 3 km westlich der Tunnelachse. Immerhin ist die Übereinstimmung in Andermatt und Airolo gut.

### 3. Die Geologie des Gotthard-Bahntunnels

Eine detaillierte Beschreibung der lithologischen Aufnahme des gesamten Gotthard-Bahntunnels hat der Ingenieur-Geologe der Gotthardbahngesellschaft, STAPFF, 1880 publiziert. Die tektonische Einteilung erfolgt nach HAFNER (1958),

# Höhen im Gotthard – Bahntunnel 1917 und 1977



dem Blatt Nr. 68 des Geologischen Atlas der Schweiz (Val Bedretto) und der Karte 1:200 000 aus LABHART (1977). Hier sollen nur die wichtigsten geologischen Züge der verschiedenen tektonischen Einheiten kurz dargestellt werden (vgl. Figur).

### 3.1 Aarmassiv

In dem beim Tunnelbau durchfahrenen Anteil des Aarmassivs ab dem Nordportal bei Göschenen (0–2582 m) können zwei tektonische Einheiten unterschieden werden, die sich auch im Gesteinstypus unterscheiden: der zentrale Aargranit und das Altkristallin.

Der *zentrale Aargranit* ist ein heller, oft leicht grünlicher Granit, selten massig, meist mehr oder weniger parallel texturiert. Die von STAPFF (1880) dargestellte Zone mit «Gneis» zwischen Hevenkehle und Reuss wird in der neueren Literatur als «Schöllenen-Syenit» bezeichnet (vgl. LABHART 1977). Grössere Verwerfungen fehlen, und die Klüfte sind zum grossen Teil geschlossen. Der Granit hat ein Alter von etwa 280 Mio. Jahren (WÜTHRICH 1965). Rb/Sr-Alterbestimmungen an Biotiten und Mineralneubildungen deuten auf eine alpidische metamorphe Überprägung (vgl. auch STECK 1968).

Das *Altkristallin* (auch südliche Gneiszone oder südliche Schieferhülle genannt) zeigt eine deutliche alpinktektonische Schieferung. Der schmale Streifen, der mit scharfem Kontakt an den Aargranit anschliesst (2010–2582 m), umfasst Biotit- und Serizitgneise mit häufigen Lagen von basischen Gesteinen. STAPFF nennt diese Zone «Urserngneis». Offene und nicht verheilte Klüfte, z. T. mit Lettenfüllung, verlaufen meist schieferungsparallel. Auch grosse Kristalldrüsen sind häufig.

### 3.2 Urserenzone

Die aus metamorphen Sedimentgesteinen aufgebaute Zone zwischen dem Aar- und dem Gotthardmassiv enthält Gesteine von Paläozoikum und Mesozoikum

Figur: Höhenänderungen der Fixpunkte im Gotthard-Bahntunnel zwischen 1917 und 1977 und ihre Beziehung zur Geologie.

① Tektonische Einheiten und Lithologie im Bereich des Gotthard-Bahntunnels (nach LABHART 1977, HAFNER 1958, HAFNER et al. 1975, STAPFF 1880).

② Höhenänderungen der Fixpunkte zwischen den Messungen 1917 und 1977 (kumuliert).

UZ = Urserenzone; NZ = Nufenenzone; AK = Altkristallin; OG = Orthogneis; GS = Giubine-Serie und Sorescia-Gneis; P = Prato-Serie.

Die relativen Hebungs- und Senkungstendenzen einzelner Gebiete decken sich recht gut mit einzelnen tektonischen Blöcken, die durch Schiefer- oder Gneiszonon begrenzt sind.

Figure: *Height changes of bench marks in the Gotthard railway tunnel between 1917 and 1977 and their relation to geology.*

① *Tectonic units and lithology in the Gotthard railway tunnel (after LABHART 1977, HAFNER 1958, HAFNER et al. 1975, STAPFF 1880).*

② *Cumulative height changes of the bench marks between the measurements of 1917 and 1977.*

UZ = Zone of Urseren; NZ = Zone of the Nufenen; AK = Altkristallin; OG = Orthogneiss; GS = Giubine Series and Sorescia Gneiss; P = Prato Series.

*Relative rising and sinking tendencies of certain regions are in good correspondence to individual tectonic blocks, which are separated by schistose or gneissic zones.*

(2582–3800 m). Im Norden trifft man die tektonisch in ihrer Mächtigkeit stark reduzierten mesozoischen Marmore, Kalk- und Graphitschiefer (2582–2784 m). Nach Süden anschliessend folgen serizitische und z.T. schwarze Schiefer, die meist dem Permokarbon zugeordnet werden (TRÜMPY 1966) (2784–3800 m). Stärkere Klüftung ist vor allem im südlichen Teil recht häufig.

### 3.3 Gotthardmassiv

Die Lithologie des Gotthardmassivs ist recht wechselhaft. Bei STAPFF wird die Zone zwischen den schwarzen Schiefern und dem eigentlichen Gotthardmassiv (3800–4325 m Zeichnung, 3692–4325 m Text?) «Urserngneis» genannt und der Urserenzone zugerechnet, wie sein «Urserngneis» nördlich der mesozoischen Sedimente. Immerhin unterscheiden sie sich von diesen nördlichen nach STAPFF durch Zwischenlagerung von schwarzen Schiefern. Ob diese Schiefer permokarbonische Einschuppungen oder noch älter sind, ist noch nicht abgeklärt. Auch das Alter der Gneise ist noch unbekannt.

Der Hauptteil des nördlichen Gotthardmassivs wird gebildet durch *Paragneise* (4325–10050 m). STAPFF nennt sie Gurschengneise. Es handelt sich hauptsächlich um Biotit–Plagioklas–Gneise. Eine bedeutende Linse von Serpentin wurde zwischen 4870 und 5310 m durchfahren. Untergeordnet treten eine Menge weiterer Gesteinstypen auf (vgl. LABHART 1977, S. 43). Die Sedimente, welche später zu diesen Paragneisen umgewandelt wurden, sind sicher präherzynisch gebildet worden. Das genaue Alter lässt sich nicht ermitteln. Immerhin lässt das hohe Alter der darin enthaltenen detritischen Zirkone von etwa 1000 Mio. Jahren (GRÜNENFELDER et al. 1964) präkambrische Genese der Sedimente als möglich erscheinen. Im Norden sind die Gneise stark alpin verschiefert und in ihrer Gesamtheit häufig von Klüften und Verwerfungen durchsetzt, deren Streich- und Fallrichtungen recht stark variieren. Auffallend ist eine grosse Verwerfung bei 8970 m, die nach STAPFF gegen den St.-Anna-Gletscher durchzieht.

Die *Orthogneise* oder Streifengneise (ALB. HEIM 1891) (Gneise der Sellaalp nach STAPFF) treten im Tunnel zwischen km 10 und 11 auf. Es sind helle Zweiglimmer–Alkalifeldspat–Gneise mit meist granitischem Chemismus. Rb/Sr-Gesamtgesteinsisochronen ergeben ein Alter von  $421 \pm 17$  Mio. Jahren (ARNOLD 1970). Es könnte sich also um kaledonische, später überprägte Granite handeln. Steilstehende, alpine und z.T. auch ältere flache Klüfte und Spalten sind auch hier oft anzutreffen. Kristalldrusen sind in diesem Abschnitt des Gotthardmassivs nach STAPFF (S. 33) ebenfalls häufig.

In der südlichen *Paragneiszone* finden sich dunkle Biotit–Plagioklas–Gneise mit grossen Feldspatkristallen (Sorescia–Gneis, VON FRISCH 1873) wie auch Biotit–Serizit–Gneis mit Schiefern und hellen, quarzitischen Gneisen wechsellagernd aus der *Giubine-Serie* (STEIGER 1962) (km 10,9–11,8). STAPFF ordnete diese Serien einer sog. «Tessinmulde» zu. Die Schichten fallen steil nach Norden ein und lassen sich, im Gegensatz zum nördlichen Teil des Gotthardmassivs, relativ gut mit den Abfolgen an der Gebirgsoberfläche korrelieren (vgl. Profil bei STAPFF 1880).

In Gesteinen der Giubine-Serie und im Sorescia–Gneis konnten NUNES & STEIGER (1974) ein sehr hohes Alter der Zirkonfraktion nachweisen (1400 Mio. Jahre).

Im Vergleich zum Nordteil des Gotthardmassivs findet man hier relativ wenig grössere Störungen. Dies mag mit der starken Metamorphose und der durchgreifenden spätalpinen Kristallisation zusammenhängen, da die alpidische Überprägung doch recht stark zum Ausdruck kommt (T. Labhart, mündl. Mitt.).

Die *Prato-Serie* (HAFNER 1958), eine Amphibolit und Hornblendeschiefer führende schmale Zone von Glimmergneisen und Biotitschiefern, ist im Bahntunnel gut erkennbar (km 11,8–12,1). NUNES & STEIGER bestimmten hier ein Alter von 400 Mio. Jahren.

Die *Tremola-Serie* (HEZNER 1908) (km 12,1–14,8) wird nach STEIGER (1962) dreigeteilt. Diese Dreiteilung lässt sich in etwa nach dem Atlasblatt Val Bedretto (HAFNER et al. 1975) nach der Korrelation von STAPFF auch im Tunnelprofil durchführen:

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Pontino-Zone         | km 12,1–13,0 |
| Zone des Sasso Rosso | km 13,0–13,7 |
| Nelva-Zone           | km 13,7–14,8 |

Die ganze Serie führt Glimmergneise und -schiefer, Chlorit-Glimmergneise und vor allem in den zwei nördlichen Zonen auch Hornblendgneise und -schiefer mit z.T. schönen Hornblendegarben und Granatporphyroblasten.

Das Alter der Serie ist noch umstritten; vermutlich handelt es sich um paläozoische Sedimentserien mit stark wechselnder Lithologie.

### 3.4 Nufenenzone

Zur *Nufenenzone* (vgl. HAFNER et al. 1975, Tekt. Karte) gehören die letzten rund 80 m des Tunnels im festen Fels. Es sind Dolomite und Rauhwacken; eine geringmächtige Serie von Triassedimenten, welche weiter im Osten zusammen mit Liaskalken die Pioramulde aufbauen und als «gotthardmassivisches Mesozoikum» (BOLLI & NABHOLZ 1959) bezeichnet werden; sie wären also die ursprünglich mesozoische Bedeckung des Gotthardmassivs.

## 4. Interpretation

Bei der Interpretation der festgestellten Höhenänderungen ist zu beachten, dass die Fixpunkte in den Fundamentquadern der Tunnelwand verankert sind. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Fixpunkte relativ zum anschliessenden Gestein bewegt haben. Der regelmässige Verlauf der Höhenänderungen in einzelnen Abschnitten lässt diese Ursache als eher unwahrscheinlich erscheinen. Die generellen Bewegungstendenzen sind aus der Figur ersichtlich. Ein Vergleich mit der Lithologie zeigt, dass die Grenzen der Blöcke mit einheitlicher Bewegungstendenz jeweils annähernd mit Grenzen tektonischer Blöcke übereinstimmen.

So fallen vor allem auf:

1. Die Urserenzone, begleitet von Altkristallin (teilweise) und den Paragneisen des nördlichen Gotthardmassivs (zu einem kleinen Teil), bewegt sich relativ zum

aarmassivischen Granit und zum nördlichen Teil des Gotthardmassivs gegen oben.

2. Der nördliche Teil des Gotthardmassivs (nördlich km 8,5) bewegt sich regelmässig nach unten, der südliche Teil wieder nach oben.
3. Während sich die Bewegungen nördlich der Urserenzone in einem schmalen Bereich abzuspielen scheinen, verteilt sich die Bewegung im Gotthardmassiv über die ganze Zone.

Die Aufwärtsbewegung der Urserenzone wurde hier nicht zum ersten Mal beobachtet. Auf sicher postglaziale Bewegungen am Südabhang des Aarmassivs wurde aufgrund geologisch-geomorphologischer Beobachtungen schon mehrfach hingewiesen (JÄCKLI 1951; ECKARDT 1957, 1974). Auffallend sind vor allem Verwerfungszonen mit talseitig gehobener Flanke, welche Verwerfungsbeträge bis gegen 15 m beobachten lassen. Im Rahmen des Internationalen Geodynamischen Projektes wurden diese Strukturen von einer schweizerischen Arbeitsgruppe untersucht. Dabei zeigte sich, dass auch auf der Nordseite des Gotthardmassivs ähnliche Verwerfungen mit talseitiger Hebung, also in entgegengesetztem Sinne, festzustellen sind.

Die Ursache dieser Hebung ist noch unbekannt. SCHAER & JEANRICHARD (1974) haben gezeigt, dass isostatischer Ausgleich nach dem Abschmelzen der Gletscher kaum für die von JEANRICHARD (1972) festgestellte Hebung des gesamten Alpenkörpers gegenüber dem Vorland allein verantwortlich gemacht werden könne. Trotzdem kann man sich vorstellen, dass in Tälern, wie dem Urserental, wo die Eismassen im Vergleich zu den Bergkämmen recht mächtig waren, regional die Isostasie eine wichtige Rolle gespielt haben könnte. Die subvertikal geklüfteten Gneise des Altkristallins am Südrand des Aarmassivs, deren Klüfte oft schräg zur Streichrichtung der ebenfalls praktisch senkrechten Verwerfungen verlaufen, würden eine rein vertikale Bewegung begünstigen. Für die Hebung im Bereich der Urserenzone sollten also isostatische Ausgleichsbewegungen als Hauptursache nicht ausgeschlossen werden.

Etwas anders ist wohl die Hebung des südlichen Gotthardmassivs zu deuten. Beim Studium des Profils von STAPFF (1880) fällt auf, dass genau an jener Stelle (km 8,97), wo wir einen Wechsel in der Bewegungsrichtung feststellen, eine bedeutende südfallende Störung die Tunnelspur kreuzt, welche nach STAPFFS etwas geometrischer Darstellung gegen den St.-Anna-Gletscher zieht. Leider äussert sich STAPFF im Text nicht darüber, ob er darin eine Aufschiebung des Südblocks gegen Norden sieht oder eine Abschiebung gegen Süden. Die allgemeine Spannungstendenz in diesem Gebiet (vgl. PAVONI 1977) deutet eher auf Kompression. Das Bild der Bewegung gibt den Eindruck einer Einmuldung.

Damit müsste die Genese der zwei festgestellten Hebungszone im Bereich des Gotthard-Bahntunnels auf zwei verschiedene Ursachen zurückgeführt werden, eine isostatische und eine tektonische. Beide würden sich im gesamten Alpennivellement von JEANRICHARD (1972) nur als kleine Schwankungen abzeichnen.

Sicher ist das hier vorgestellte Modell viel zu einfach dargestellt. So haben sich die Bewegungen kaum an einer Fläche, sondern innerhalb breiterer Scherzonen abgespielt, wie dies z. T. in der Urserenzone festgestellt werden kann. Ausserdem ist

noch unklar, ob sich das Gotthardmassiv als Ganzes verformt hat oder ob sich kleinere Blöcke und Schuppen unterschiedlich bewegt haben.

Gerade aus diesen Gründen ist die von F. Kobold vorgeschlagene Installation von Vermessungsfixpunkten im *Gotthard-Autobahntunnel* sehr zu begrüßen. Da neben Nivellementmessungen auch Distanzmessungen vorgesehen sind, stehen für spätere Beurteilungen sichere Messwerte zur Verfügung, die es erlauben, neben reinen Vertikalbewegungen auch Kompressions- und Zerrungsbewegungen, eventuell Auf- und Abschiebungen nachzuweisen.

## 5. Schlussbemerkungen

Wie schon einleitend bemerkt, soll dieser Bericht alle Interessierten über die Ergebnisse des Nivellements orientieren und auf einige Überlegungen aufmerksam machen, die sich aus dem Vergleich mit der Geologie ergeben. Der Interpretationsversuch beansprucht nicht, eine hinreichende Erklärung zu geben.

## Verdankungen

Die Autoren möchten den SBB für ihr Verständnis herzlich danken, das sie diesen Untersuchungen entgegengebracht haben, wie auch für die Erlaubnis zur Publikation der Vermessungsdaten. Ein herzlicher Dank geht auch an Dr. T. Labhart für die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Dem Schweizerischen Nationalfonds, der die geologisch-geomorphologischen Untersuchungen im Rhein-Rhone-Gebiet im Rahmen des Projektes Nr. 2.151-0.74 unterstützt hat, sei ebenfalls bestens gedankt.

## LITERATURVERZEICHNIS

- ARNOLD, A. (1970): *On the history of the Gotthard Massif (Central Alps, Switzerland)*. – *Eclogae geol. Helv.* 63/1, 29–30.
- BOLLI, H. M., & NABHOLZ, W. (1959): *Bündnerschiefer, ähnliche fossilarme Serien und ihr Gehalt an Mikrofossilien*. – *Eclogae geol. Helv.* 52/1, 237–270.
- ECKARDT, P. M. (1957): *Zur Talgeschichte des Tavetsch, seine Bruchsysteme und jungquartären Verwerfungen*. – Diss. ETH Zürich.
- (1974): *Untersuchung von rezenten Krustenbewegungen an der Rhein-Rhone-Linie*. – *Eclogae geol. Helv.* 67/1, 233.
- FRISCH, K. VON (1873): *Das Gotthardgebiet*. – *Beitr. geol. Karte Schweiz* 15.
- GRÜNENFELDER, M., HOFMÄNNER, F., & GRÖGLER, N. (1964): *Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrogenetische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. II. Präkambrische Zirkonbildung im Gotthardmassiv*. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 44/2, 543–558.
- GUBLER, E. (1976): *Beitrag des Landesnivellements zur Bestimmung vertikaler Krustenbewegungen in der Gotthard-Region*. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 56, 675–678.
- HAFNER, S. (1958): *Petrographie des südwestlichen Gotthardmassivs (zwischen St.-Gotthardpass und Nufenenpass)*. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 38/2, 255–362.
- HAFNER, S., GÜNTHER, A., BURCKHARDT, C. E., STEIGER, R. H., HANSEN, J. W., & NIGGLI, C. R. (1975): *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt Val Bedretto*. – *Schweiz. geol. Komm.*
- HEIM, ALB. (1891): *Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein*. – *Beitr. geol. Karte Schweiz* 25.
- HEZNER, L. (1908): *Petrographische Untersuchungen der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard (Tremola-Serie)*. – *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. [Beilbd. 27]*, 157–218.
- JÄCKLI, H. (1951): *Verwerfungen jungquartären Alters im südlichen Aarmassiv bei Somvix-Rabius (Graubünden)*. – *Eclogae geol. Helv.* 44/2, 332–337.

- JEANRICHARD, F. (1972): *Contributions à l'étude du mouvement vertical des Alpes*. – Boll. Geodesia sci. aff. 31/1, 17–40.
- (1973): *Nivellement et surrection actuelle des Alpes*. – Rev. Mensur., Photogramm., Génie rural 1, 3–12.
- LABHART, T. (1977): *Aarmassiv und Gotthardmassiv*. – Samml. geol. Führer 63 (Bornträger).
- MÜLLER, B., & GUBLER, E. (1976): *Das Schweizer Landesnivellement, Fixpunktanlage und Beobachtung*. – Vermess., Photogramm., Kulturtech. 9/76, 237–240.
- NUNES, P.D., & STEIGER, R.H. (1974): *A U-Pb Zircon, and Rb-Sr and U-Th-Pb Whole Rock Study of a Polymetamorphic Terrane in the Central Alps, Switzerland*. – Contr. Mineral. Petrol. 47, 255–280.
- PAVONI, N. (1977): *Erdbeben im Gebiet der Schweiz*. – Eclogae geol. Helv. 70/2, 351–370.
- SCHAER, J.P., & JEANRICHARD, F. (1974): *Mouvements verticaux anciens et actuels dans les Alpes suisses*. – Eclogae geol. Helv. 67/1, 101–119.
- STAPFF, F.M. (1880): *Geologisches Profil des St. Gotthard in der Axe des grossen Tunnels [während des Baues (1873–1880) aufgenommen]*. – Spezialbeilage zu den Quartalsberichten (No. 31) des schweizerischen Bundesrathes über den Gang der Gotthardbahn-Unternehmung.
- STECK, A. (1968): *Die alpidischen Strukturen in den zentralen Aaregraniten des westlichen Aarmassivs*. – Eclogae geol. Helv. 61/1, 19–48.
- STEIGER, R.H. (1962): *Petrographie und Geologie des südlichen Gotthardmassivs zwischen St. Gotthard und Lukmanierpass*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 42/2, 381–577.
- TRÜMPY, R. (1966): *Considérations générales sur le «Verrucano» des Alpes Suisses. Symposium sul Verrucano*. – Soc. Toscana Sci. nat. 66, 212–232.
- WÜTHRICH, H. (1965): *Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin überprägten Aarmassiv*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 45/2, 875–971.