

**Gefügegeometrie und Felsspannungsmessungen im Triebwasser-  
stollen des Zillerkraftwerkes der Tauernkraftwerke AG im  
NW-Bereich des zentralen Tauernfensters**

von

**Klaus LIEGLER**

mit 4 Abb. und 5 Beil.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Klaus L. Liegler  
Tauernkraftwerke AG  
Mayrhofen, Tirol

### Inhalt

Zusammenfassung, Summary .....	118
1. Einleitung .....	118
2. Der geologische Aufbau .....	119
2.1. Petrographie .....	120
2.2. Gefüge .....	120
2.3. Felsentspannungen .....	122
2.4. Bergwasserzutritte .....	124
3. Ermittlung von Gebirgskennwerten .....	124
3.1. Konvergenzmessungen .....	124
3.2. Felsoberflächenspannungsmessungen .....	125
4. Meßergebnisse und Schlußfolgerungen .....	129
5. Literatur .....	130

### Zusammenfassung

Beim Bau des Triebwasserstollens des Zillerkraftwerkes im nordwestlichen zentralen Tauernfenster in Tirol wurden Felsoberflächenspannungsmessungen durchgeführt. Die Richtungen der größeren Hauptspannungen schwanken innerhalb charakteristischer Richtungen mit unterschiedlichen Größen. Im Zusammenhang mit dem Gefüge weisen verschiedene Bereiche unterschiedlich orientierter Hauptnormalspannungen vermutlich auf Grund aktiver tektonischer Einspannungen auf. Gleichzeitig kommen charakteristische Gebirgseinspannungen, bedingt durch die relativ oberflächennahe Stollenlage, vor.

### Summary

In the course of the construction of the power tunnel of the Ziller hydroelectric power station which is situated in the NW central Tauernwindow in the Tyrol measurements of the stresses acting on the rock surface in the tunnel were carried out. The directions of the principal stresses vary with different magnitude within characteristic orientations. As to texture various zones exhibit principle stresses of different orientations possible as a result of active tectonic strains. At the same time characteristic stress reliefs were observed which are due to the near surface location of the tunnel.

### 1. Einleitung

Die Kraftwerksgruppe Zemm-Ziller befindet sich im inneren Zillertal, einem rechten Seitental des Inntales, an der Nordabdachung der Zentralalpen. Es ist dies der nordwestliche zentrale Bereich des penninischen Tauernfensters, in dem die tiefsten tektonischen Einheiten der Ostalpen aufgeschlossen sind. Sie bestehen dort aus den in relativ junger Vergangenheit gehobenen präalpinen Tuxer-, Ahorn- und Zillertal-Venediger Zentralgneiskernen. Die zugehörigen darüber geschobenen und heute zwiebelschalenartig gelagerten Schieferhülledecken verlaufen randlich, greifen aber auch

zwischen die Ausläufer der Zentralgneiskeerne hinein. Es sind dies die Schönachmulde im Norden, die Realspitzzone im Nordwesten und die Greinermulde im Südwesten in der näheren Umgebung des zu betrachtenden Gebietes. Die Kraftwerksanlagen befinden sich zum größten Teil in den Gesteinen der Zentralgneiskeerne, im Westen und Norden erreichen sie teilweise gerade noch die Schieferhüllgesteine.

Das Arbeitsgebiet liegt im Bereich der konvergierenden Großstrukturen des Inntales im Norden, des Salzachtales im Nordosten und der tektonisch aktiven periadriatischen Naht mit ihren nach Norden abzweigenden Ästen im Süden (Abb. 1).

### LAGE DER HAUPTSTÖRUNGSLINIEN IN DER UMGEBUNG DES ARBEITSGEBIETES

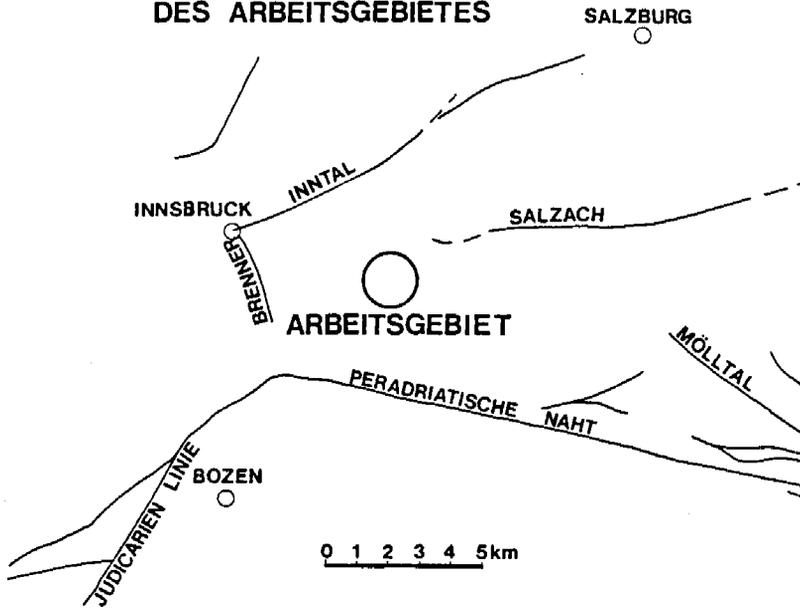


Abb. 1: Die Lage des Arbeitsgebietes

Im Rahmen des Zillerkraftwerksbaues wurden im Triebwasserstollen Zillergründl-Ofenwald während des Vortriebes in situ Felsoberflächenspannungsmessungen durchgeführt. Sie dienten der Erfassung der Spannungsverhältnisse im Hinblick auf die zu bemessende Stollenauskleidung. In der Folge wird versucht, einen Zusammenhang zwischen dem Gefüge und den orientierten Richtungen der Hauptnormalspannungen abzuleiten. Beobachtungen verschiedener Gebirgsdeformationen und ermittelte Felsspannungen lassen eine aktive tektonische Einspannung, die über die einfache Auflast des Gebirges hinausgeht, vermuten.

## 2. Der geologische Aufbau

Der Druckstollen durchfährt den nördlichen Rand des Zillertal-Venedigerkernes, einen Teil der paläozoischen Schieferhülle, die in diesem Bereich als Schönachmulde

bezeichnet wird und sich durch den Stollenbau als mit einer rd. 100 m breiten Zentralgneiseinschaltung zweigeteilt herausstellte. Weiters wird noch der Südrand des Ahorngneises, ein nördlicher Teillappen des Zillertal-Venedigerkernes, berührt.

## 2.1. Petrographie

Detaillierte petrographische Untersuchungen des „Zentralgneises“ wurden im gegenständlichen Bereich von RAASE (1972), RAITH (1971) und MORTEANI (1971) durchgeführt. Der Triebwasserstollen des Zillerkraftwerkes quert den Nordrand des Zentralen Tauernfensters.

Der Nordrand des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes besteht im Ostbereich des Triebwasserstollens zunächst aus massivem Zweiglimmergneis mit Biotitschiefer einschaltungen. Kurz darauf folgt der nördliche Tonalitzug, bestehend aus massivem Metagranit mit zahlreichen, je nach Intensität der Schieferung runden bis stark gelängten dunklen basischen Schollen. Gegen Nordwesten wird er stärker geschiefert und augig. Die dunklen basischen Schollen sind in stark gelängter Form weiterhin vorhanden. Dünne Lagen und Schollen von Amphibolit kommen vor. Die Gesteine der Schönachmulde bestehen großteils aus ehemaligen Sedimenten und sauren Eruptivgesteinen, die heute als massive Paragneise, dünnbankige Quarzite mit Hellglimmerhäutchen und quarzreichen variierenden Glimmerschiefern und Gneisen bis Metatuffiten vorliegen. Die weiter im Osten massiv einsetzenden dunklen Habachphyllite sind im Bereich des Triebwasserstollens kaum zu erkennen und nur wenige dm dick. Die ebenso im Osten mächtigen Grünschiefer reichen nicht mehr bis zum Triebwasserstollen. Die Gesteine des Ahorngneises bestehen aus massigen, wenig augigen dunklen Migmatiten und einzelnen Biotitschieferlagen.

Die Grenzen zwischen dem „Zentralgneis“ und der Schönachmulde sind tektonisch überprägt, in dem gegenständlichen Bereich aber störungsfrei aneinandergefügt. Der Zentralgneis ist im Grenzbereich auf einige Zehnermeter stark geschiefert bis gebändert, Gesteinspartien der Schönachmulde sind mit verschuppt. Mylonite und Zerkhackungszonen kommen im Triebwasserstollen an keiner dieser Grenzen vor.

## 2.2. Gefüge

Die sehr verschieden intensive Schieferung der Gesteine aller drei geologischen Einheiten streicht gleichmäßig WSW–ENE und fällt unterschiedlich großteils NNW, selten SSE. Großräumige Falten kommen vor, sie werden besonders durch die gelängten, dunklen basischen Schollen in der Schieferung erkennbar. B-Achsenmessungen waren jedoch auf Grund der glatten Stollenwandung des gefrästen Stollens in den harten Gesteinen so gut wie unmöglich.

Große Störungen waren im Triebwasserstollen nicht vorhanden. Es gibt nur wenige Großklüfte mit bis zu 2 m mächtigen Zerrüttungssäumen und bis zu 50 cm dicken Myloniten, die meist aber wesentlich geringmächtiger sind. Eine Eigenheit der Quarzite der Schönachmulde sind häufig vorkommende s-parallele dünne Mylonithäutchen.

Kleinere Klüfte und Schieferzonen führen immer wieder Mylonit. Großteils benützen die Klüfte und Mylonitzonen die stark geschieferten Bereiche und Glimmerschieferlagen. Im massigen Granitgneis kommen kaum abrupt größere Störungen vor. Aus

Störungen und deren Myloniten wurden aus dem Triebwasserstollen und in der Überleitung Nord, die sich in der streichenden Fortsetzung der Gesteine befindet, Proben entnommen und tonmineralogische Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen ergaben einen relativ hohen Anteil an quellfähigem Montmorillonit, worüber zu einem anderen Zeitpunkt berichtet werden wird. Da die Mylonite den Stollen größtenteils in stumpfem Winkel queren und auch steil stehen, sind sie nicht von so großer Bedeutung, als daß sie Sondermaßnahmen der Stollenauskleidung erfordert hätten.

Die Verteilung des Gefüges läßt in den einzelnen Bereichen der drei durchfahrenen geologischen Einheiten charakteristische Unterschiede erkennen (vgl. Beilage 2). Dabei wird ersichtlich, daß die Klüfte sehr ähnlich streichen, in den einzelnen Stollenabschnitten aber doch unterschiedlich orientiert sind:

In den ost-südöstlichen 2.500 m des Triebwasserstollens ist der Metagranit größtenteils massig und selten stark geschiefert. Großräumige Falten lassen die Schieferung um die Vertikale streuend und teilweise sehr flachliegend erkennen. Biotitschieferereinschlüsse und Biotitanreicherungen, die nicht durchgerissene Ansätze zu Biotitschieferlagen darstellen, sind in ihrer Streichrichtung der regionalen Anordnung entsprechend, ausgebildet, stehen fast ausschließlich steil, auch wenn die Schieferung des umgebenden Metagranites flach einfällt. Großklüfte kommen nicht häufig vor. Flach WSW einfallende Fugen mit randlichen Bleichungssäumen der Gesteine und gelegentlicher drusenförmiger Mineralisation (Bergkristalle, Kalzit, Chlorit) sind in dieser Klüftgruppe relativ häufig. Ihre oberflächennahe Öffnung und Verfüllung mit Lehm und Sand war Grund für den tiefen Aushub der Sperre Zillergündl. Diese Gefügegruppe stellt ein Äquivalent zu der im östlichen Zentralbereich des Tauernfensters steil ESE einfallenden Klüftgruppe dar.

Der westliche Randbereich des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes zeigt nicht mehr diese großräumigen leicht welligen Verfaltungen. Die Gesteine sind größtenteils straff geschiefert, was auch deutlich in den Lagenkugeldiagrammen ersichtlich wird. Besonders die stark gelängten basischen Schollen lassen dies erkennen. Größere Klüfte nehmen an Häufigkeit zu, ebenso die Bergwasserzutritte. Die Klüftanlage erfolgt bevorzugt in der Schieferungsrichtung in den Biotitschieferereinschlüssen.

Die Gesteine der beiden Teile der Schönachmulde lassen in den geschieferten Abschnitten weiterhin die straffe Regelung erkennen. Nur in den Nordabschnitten fällt sie auch gegen Süden ein und ist in ihrer Gesamtheit etwas verdreht, so daß eine deutliche E–W-Ausrichtung erkennbar wird. Die flachen WSW einfallenden Klüfte mit ihren randlichen Bleichungssäumen und Mineralisationen sind weiterhin, aber nicht mehr so häufig, vorhanden. Die steilstehenden Klüfte benützen ebensogern die Schieferung oder stehen spitzwinkelig dazu.

Im Ahornzentralgneiskernlagen wird wieder eine breitere Streuung des Gefüges ähnlich dem Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern deutlich. Eine technisch erforderliche Stollenkrümmung führte zum spitzwinkligen Verschnitt einiger größerer Klüfte mit der Stollennachse. Dies erforderte zusätzliche technische Maßnahmen des Stollenbaues. Einige steil ESE einfallende Klüfte sind bemerkenswert.

Vergleicht man die Klüftdarstellungen der Lagenkugeldiagramme mit den größeren bekannten regionalen Strukturen, so sind die WSW einfallenden und damit NNW–SSE streichenden Klüfte mit ihren Bleichungssäumen und Mineralisationen dem nördlichen Teil, der in rd. 40 km Luftlinie entfernten Brennerfurche am Westrand des Tauernfensters, geometrisch betrachtet, zuordenbar. Wie bereits erwähnt, sind diese Klüfte scharfe Schnitte mit Bleichungssäumen und gelegentlichen Chloritfüllun-

gen und Mineralisationen. Größere mylonitführende Klüfte waren nach dieser Klüftgruppe im gegenständlichen Gebiet jedoch nur einmal zu beobachten.

Der Großteil der größeren mylonitführenden Klüfte streicht WSW–ENE und fällt, wie beschrieben, oft aber nicht immer mit der vorherrschenden Schieferung zusammen. Sie streichen großteils parallel zum rd. 35 km Luftlinie entfernten Inntal, teilweise auch parallel zur weiter entfernten und deutlich ausgeprägten, im Detail bekannten Salzachlängstalstörung. Auch die beiden größeren beobachteten Störungen dieses Gebietes sind parallel zum Inntal orientiert.

### 2.3. Felsentspannungen

Ein Charakteristikum dieses Stollens waren Deformationen der Stollenlaibung in Form von Scherbrüchen und plattigen Lockerungen im talseitigen hohen Kämpfer und der bergseitig tiefen Ulme ähnlich einem Lehnstollen. Sie reichen über weite Strecken vorwiegend im Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern. Im Ahorngneis trat dies nur untergeordnet, in der Schönachmulde nur an einer Stelle, dafür aber besonders deutlich auf.

Diese plattigen Ablösungen griffen bis zu 1 m tief in den Fels. Es konnte immer wieder beobachtet werden, daß die Felsablösungen häufig an Klüften begannen, aber nicht nur mit dem Vortrieb mitschreitend, sondern auch teilweise entgegen der Vortriebsrichtung vorkamen: sobald die Kluft durch die Vortriebsmaschine angefahren wurde, brachen aus einem bis dahin unversehrten Kämpfer, entgegen der Vortriebsrichtung, also quasi rückschreitend, Keile über mehrere m Länge aus (s. Abb. 2).

An der gegenüberliegenden tiefen bergseitigen Ulme entspannte sich der Fels in Form plattiger Auflockerungen. Dies setzte sich noch lange nach dem Abschluß des Fräsvorganges fort: der zunächst anscheinend unzerstörte Fels öffnete sich plattenförmig an immer neuen Stellen, die diese Deformation früher nicht erkennen ließen.



Abb. 2: Plattige Felsablösungen im talseitig hohen Kämpfer.

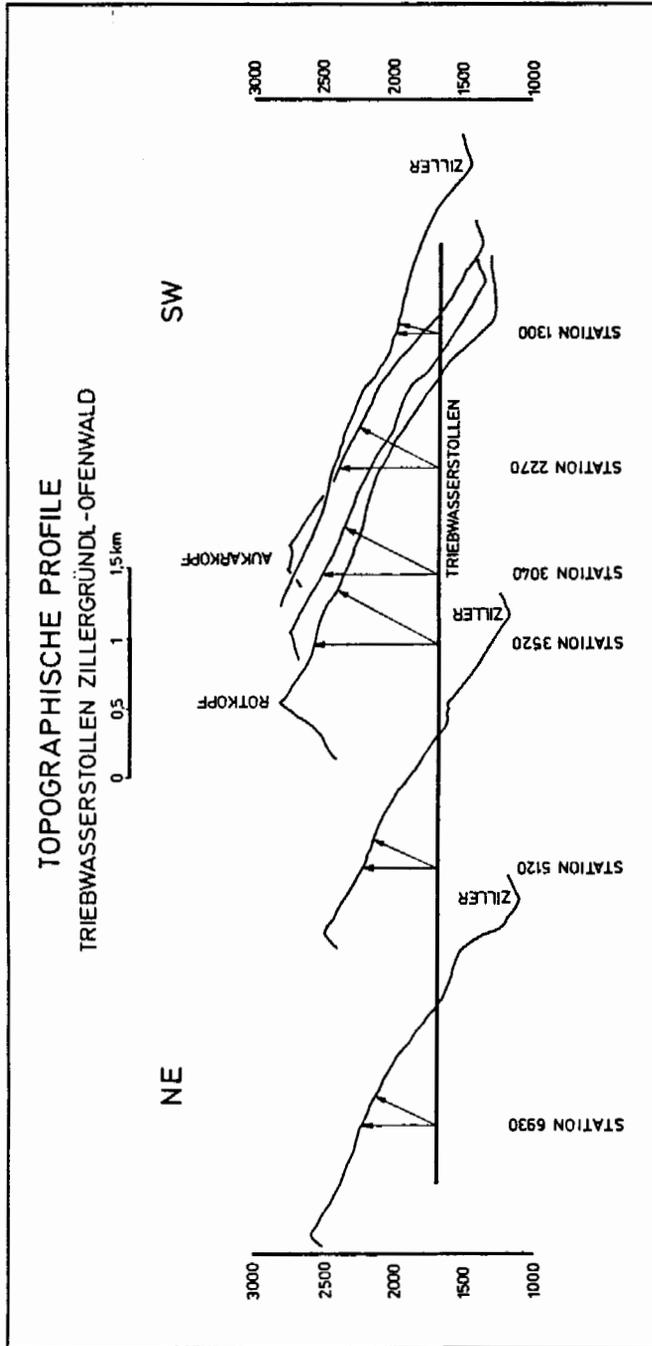


Abb. 3: Kulisse von Talquerprofilen. Die Lage des Triebwasserstollens zwischen dem Zillertal und der Gipfelregion.

Der Stollen verläuft von Ost nach West, in Vortriebsrichtung betrachtet zunächst relativ oberflächennah. Die Vertikalüberlagerung beträgt im Osten rd. 300 m, die kürzeste Entfernung der Oberfläche rd. 250 m. Die größeren Felsablösungen beginnen bereits zwischen Station 400 und 700 m und setzen sich nach Station 2000 m fort. Die Überlagerung beträgt dort dann zwischen 800 und 900 m. Die Stollentrasse verläuft nahezu parallel zwischen dem tief unten liegenden Zillertal und dem Bergkamm zwischen Aukarkopf und dem Brandberger Kolm (vgl. Abb. 3). Erst beim Auftreten vermehrter Diskontinuitäten mit Wasserzutritten (ab Station 3400) nehmen die Felsablösungen wieder ab.

Die Gesteine der Schönachmulde sind großteils wesentlich stärker geschiefert und weisen mit einer einzigen Ausnahme nur selten solche Felsentspannungen auf. Sie sind daher dort umso auffällender: im talseitig hohen Kämpfer und der bergseitig tiefen Ulme kommen intensive, gekrümmte, plattenförmige Felsablösungen vor. Dieser Bereich erscheint als ein besonders auffällender Hinweis auf aktive rezente Verformungen und damit zusammenhängende Spannungen, wie sie in der Literatur bei der Hebung des Alpenkörpers dargestellt werden und teilweise aus Vermessungen über große Zeitabstände bekannt sind (EXNER & SENFTL 1978).

Im Ahorngneis treten diese Felsablösungen nur in geringfügigem Maße auf. Möglicherweise beinhaltet der vom Hauptkörper des Zillertal-Venediger-Kernes abgesetzte Zentralgneissteyllappen nicht mehr diese Spannungen, wie sie anscheinend im Hauptkörper des Zentralgneiskomplexes vorhanden sind.

Diese Felsablösungen der Stollenlaibung stehen aber in keinem simplen Zusammenhang mit der Häufigkeit der Klüfte. Es gibt einerseits geklüftete Bereiche, in denen solche Deformationen vorkommen, andererseits aber sehr massige Bereiche, in denen dies überhaupt nicht zu beobachten war. Es drängt sich daher der Verdacht auf, daß einzelne Gebirgsbereiche unter höherer Spannung stehen als andere. Auch die Beobachtung der intensiven Verformungen in der Schönachmulde an der oben beschriebenen Stelle weist auf solche Gegebenheiten hin.

Eine weitere charakteristische Form der Felsentspannung sind dünne plättchenförmige Ablösungen bis zu 5 cm Durchmesser. Sie kommen bevorzugt im talseitigen oberen Kämpferbereich vor, wo sonst die keilförmigen Ausbrüche erfolgen. Besonders auffallend waren diese plättchenförmigen Ablösungen in den massigen Granitgneisen der Beileitung Süd.

#### 2.4. Bergwasserzutritte

Es gab keine Wassereinbrüche, aber zahlreiche kleine tropfende und rinnende Bergwasserzutritte, deren Gesamtschüttungsmenge auf rd. 7,5 km Stollenlänge 30 l/sec. nie überschritt. Trotzdem waren nur selten 100 lfm des Stollens ohne Feuchtstellen.

### 3. Ermittlung von Gebirgskennwerten

#### 3.1. Konvergenzmessungen

Während des Vortriebes wurden an 18 verschiedenen Stollenquerschnitten Konvergenzen gemessen. Die gemessenen Werte lagen im allgemeinen bei 2–4 mm. Dabei ist

zu beachten, daß die Meßbolzen vereinzelt in geklüftetem Fels versetzt werden mußten. Auf Grund der Konstruktion der Fräsmaschine konnte dies nur in einem bestimmten Maschinenbereich erfolgen.

Die aufgefahrenen drei unterschiedlichen Gebirgsabschnitte des Zillertal-Venediger-Zentralgneiskernes, der Schönachmulde und des Ahorngneises zeigen unterschiedliche Verformungen sowohl in deren Größenordnung als auch in der Art und Weise des Verlaufes der Verformungen. Die größten Konvergenzen treten im Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern auf. Häufig erfolgt die Stollenverengung in zwei Schüben in Form einer Konvergenzbeschleunigung mit nachfolgendem Ausklingen. In der Schönachmulde zeigt der Stollen geringere Verformungen. Sie gehen eher stetig und nicht ruckartig vor sich. Das gleichmäßigste Verformungsbild zeigt der Stollen im Ahorngneis. Nach einer anfänglichen Verengung kurz nach dem Ausbruch beruhigt sich die Verformung. Eine spätere zweite Phase der Verengung, wie sie für den Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern typisch ist, tritt in nur geringfügigem Ausmaß auf.

Eine erste Betrachtung vermittelt den Eindruck, als würde der zweite Konvergenzschub eine Folge des schonenden Vortriebes und der damit verbundenen langsamen Spannungumlagerung sein. Bei Betrachtung und zeitlichem Vergleich der einzelnen Konvergenzkurven entsteht der Eindruck, als würde der zweite Konvergenzschub in einem bestimmten Zeitabschnitt vor sich gehen. Er erfolgt großteils nach mehr als 100 Tagen des Auffahrens der entsprechenden Gebirgsbereiche, manchmal auch mehrere Monate später. Der Zeitpunkt dieses zweiten Konvergenzschubes wird im Laufe des Stollenvortriebes immer mehr vorverlegt und rückt bei später aufgefahrenen Stollenabschnitten ständig näher an die 100-Tage-Zeitspanne des anfänglichen Bereiches unmittelbar nach dem Ausbruch. Gleichzeitig vergrößern sich die anfänglichen Konvergenzen der Meßquerschnitte ab Station 2083,5 m. Daher entsteht der Eindruck, daß diese Verformungen des zweiten Konvergenzschubes und die Vergrößerung der ersten Konvergenz der östlichen Stollenstrecken in einer bestimmten Zeitspanne vor sich gehen. Laut Auskunft der Seismik (Kaprun und Schlegeis) kamen in diesem Zeitraum jedoch keine größeren Erdbeben in Europa vor.

### 3.2. Felsoberflächen Spannungsmessungen

Vor allen weiteren Ausführungen muß bemerkt werden, daß die Felsoberflächen Spannungsmessungen im Triebwasserstollen Zillergündl-Ofenwald keinem Programm zur regionalen Erfassung von Gebirgsspannungen mit Bezug zu Großstrukturen angehört, sondern der Erfassung lokaler Felsspannungszustände im Hinblick auf die zu wählende Auskleidung des Triebwasserstollens dienen sollten.

Die Messungen der Felsoberflächen Spannungen erfolgten in allen drei durchfahrenen geologischen Haupteinheiten: dem Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern, in den paläozoischen metamorphen Sedimenten der unteren Schieferhülle zugehörigen Venediger Decke und in dem vom Hauptkörper des Zentralgneises etwas abgesetzten Ahornlappen.

Es wurden zunächst großteils rund 20 m hinter dem Fräskopf in einem zugänglichen Teil der Stollenvortriebsmaschine Dehnungsmeßstreifen auf die frisch ausgebrochene und für die Messung polierte Felsoberfläche oberhalb und seitlich der Sohle an der tiefen Ulme aufgeklebt (vgl. Beil.11), im Gegensatz zu den Triaxialzellen, die KOHLBECK, LAHODYNSKY, SCHEIDEGGER (1986) verwendeten. Die Meßstellen

sind daher nicht streng horizontal ausgerichtet, sondern entweder SSE oder NNW (Nord- oder Südulme) gekippt, da der Großteil der Messungen während des laufenden Stollenvortriebes in einem einigermaßen freien Raum der ständig langsam vorrückenden Vortriebsmaschine erfolgen mußte. An der Stollensole waren Messungen nicht möglich, da Wasser- und Ölrreste zumindest einen Teil der Stollensole ständig bedeckten. Als Dehnmeßstreifen wurden großteils Rosetten von HOTTINGER 15/120RY 11 zur Erfassung eines ebenen Spannungszustandes mit rechtwinkelig aufeinanderstehenden Hauptnormalspannungen verwendet, ähnlich SCHÄFER-KEIL (1979).

Für die Ermittlung der Gebirgsspannungen wurde das Überbohrverfahren angewendet. Durch die beim Überbohren eintretende Entspannung des Bohrkernes erfolgte Dehnung wird aus elektrischen Widerstandsmessungen vor und nach dem Überbohren der Meßstelle errechnet. Die Elastizitätsmoduli wurden im Labor ermittelt, teilweise in Anlehnung an die erfolgten Messungen angenommen. An 37 Meßstellen wurden im Triebwasserstollen die Beträge der Hauptnormalspannungen festgestellt. Die Vertikalüberlagerungen betragen an den Meßstellen 300–900 m, größere seitliche Überlagerungen an den Bergkämmen reichen beträchtlich höher (vgl. Abb. 3). Bei allen Meßstellen läßt der betrachtete zweiachsige ebene Spannungszustand trotz der leicht gekippten Meßstellen bevorzugte Richtungen erkennen. Die senkrecht aufeinanderstehenden Hauptnormalspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  wurden im Lageplan M 1:25.000 auf Nord bezogen dargestellt (vgl. Beil. 9).

Es brachten nicht alle Meßstellen verwendbare Meßergebnisse. Einzelne Meßstellen lagen in Bereichen, die durch benachbarte Bohrlochhöhlräume dermaßen gestört wurden, daß keine Meßergebnisse zustande kamen. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich im Bereich der Schönachmulde mit den auffallend starken Felsablösungen (Station 5124). Der Fels enthielt dort so hohe Spannungen, daß sich die Bohrkernschneide nach wenigen Zentimetern des Überbohrens in Scheiben zerlegte. Gelang dennoch ein Bohrkern von wenigen cm Länge, bei 10 cm Bohrkerndurchmesser, so dehnte er sich in der Bohrkronenzone dermaßen aus, daß er klemmte und nur mehr herausgeschlagen werden konnte. Es zerbrachen auch die Felsstege zwischen den einzelnen Bohrlöchern.

**Die einzelnen Meßbereiche, Detailbetrachtungen (vgl. Beil. 9, 10, 11):**

#### **Der Meßbereich 1 (Station 1348–1350)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 1 und 2 befindet sich im Metagranit, der dort mäßige Felsablösungen zeigt. Eine Konvergenzmeßstelle befand sich in unmittelbarer Umgebung. Die beiden Meßstellen an der Nordulme weisen eine ausgeprägte NE–SW Orientierung der Hauptspannung auf. Die Größe der ermittelten Spannungen entspricht mehr als der einfachen Überlagerung (REIK 1985) und ist u. a. mit dem seitlich hoch aufragenden Felskamm in Verbindung zu bringen. Auf Grund dieser hohen Spannungen kurz nach dem Stollenausbruch wurden zur Erfassung evtl. zeitlicher Veränderungen der Spannungen weitere Messungen durchgeführt. Die Messungen an den Meßstellen 3 und 6 erfolgten etwa zwei Wochen später und sind in etwa demselben Bereich an der Nordulme situiert.

Während die Meßstelle 3 eine deutliche Abnahme der Spannungen bei gleicher Spannungsrichtung erkennen läßt, zeigt die Meßstelle 6 abermals hohe Spannungen,

jedoch in anderer Orientierung. Knappe 2 Jahre später erfolgten dort die neuen Meßstellen 36 und 37. Dabei ergaben sich wieder die beiden Spannungsrichtungen.

Die Meßgrößen zeigten abnehmende Tendenz. Während des Bohrens lösten sich vom Bohrkern ca. 2 cm dicke Scheiben, so daß an zwei Stellen keine Meßergebnisse zu erreichen waren. Die Bohrlöcher selbst deformierten sich in kurzer Zeit derart, daß im Bohrloch Gesteinsabsplitterungen auftraten und eine Ovalform der Bohrlöcher mit freiem Auge erkennbar wurde.

#### Der Meßbereich 2 (Station 2270–2275)

Der Meßbereich befindet sich im Metagranit mit mäßigen Felsablösungen. Die Messungen an der Nordulme ergaben nicht mehr so hohe Werte, die räumliche Orientierung verhält sich ähnlich zum vorigen Meßbereich. Die Messung 8 war trotz massiven Felses zu nahe dem Bohrloch der Meßstelle 7 situiert, so daß keine brauchbaren Meßwerte gewonnen werden konnten. Die Messungen 9 und 10 an der Südulme zeigten ebenso keine hohen Werte, die Spannungen waren NW orientiert. Da sich in diesem Bereich bei weitem nicht so hohe Spannungen wie bei Station 1348 ergaben, wurde auf erneute Messungen zu einem späteren Zeitpunkt verzichtet.

#### Der Meßbereich 3 (Station 3055–3038)

Auch dieser Meßbereich befindet sich noch im Metagranit, starke Felsablösungen kamen vor. Etwa 10 m weiter befand sich eine Konvergenzmeßstelle. Die Felsspannungsmessungen ergaben teilweise hohe Werte, weshalb zu mehreren Zeitpunkten gemessen wurde. Die Spannungsverteilung der Meßstellen 13 und 14 an der Nordulme ist generell NE–SW orientiert, die Werte liegen ziemlich hoch. Bei der Meßstelle 16 konnten noch 10 Tage später erhebliche Spannungen gemessen werden, 14 Tage später sind sie bei der Meßstelle 18 bereits abgemindert. Zwei Jahre später wurde dieser Bereich erneut mit den Meßstellen 34 und 35 untersucht. Sie zeigten die gleiche Orientierung mit geringen Spannungsgrößen. Die Meßstellen 11 und 12 an den Südulmen ergaben eine ENE orientierte Spannungsverteilung, die Meßwerte sind eher klein, es treten sogar Zugspannungen auf. Bei den weiteren Meßstellen 15 und 17 an der Südulme wurden ganz in der Nähe der Meßstelle 11 hohe Spannungen ermittelt, die sich NNW–SSE orientieren, also nahezu rechtwinkelig zur Meßstelle 11 und 12.

In diesem Meßbereich befindet sich in unmittelbarer Nähe der Meßstellen eine große Aplitlinse, deren Lage diese sonderbaren Meßwerte vermutlich beeinflusst. Zusätzlich kommen in den Ulmen starke Felsablösungen vor. Trotz dieser Faktoren werden sowohl die spezifischen Richtungen der Spannungen als auch lokale in Größe und Richtung stark schwankende Spannungsbereiche erkennbar.

#### Der Meßbereich 4 (Station 3516–3517)

Der Meßbereich mit den Meßstellen 19 und 20 liegt bereits am Nordrand des Zillertal-Venedigergneiskernes in grobkörnigem Augengneis. Zwischen mehreren WSW fallenden Klüften erfolgten die Messungen in einem massigen Fels. An der Südulme ergaben sich NE-orientierte Spannungsverteilungen vermutlich auf Grund der geklüfteten Umgebung der Meßstellen in geringer Größe. Aus diesem Grund wurden an diesen Stellen keine weiteren Messungen durchgeführt.

**Der Meßbereich 5 (Station 4457)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 21 und 22 befindet sich in Hellglimmerquarzit der Schönachmulde ohne nennenswerte Klüftung an der Südulme. Die Spannungsverteilung erscheint wieder in charakteristischer Orientierung, aber mit auffallend geringen Größen der Meßwerte.

**Der Meßbereich 6 (Station 5124)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 32, 33 befindet sich in massigen hellen Gneisen. Es ist dies der sich so auffallend entspannende Bereich in der Schönachmulde. Nach der Fertigstellung des Ausbruches des Triebwasserstollens wurde auf Grund dieser auffallenden Deformationen der Stollenlaibung versucht, in diesem Bereich Felsoberflächenspannungen zu messen. So weit dies bei den bereits ausführlich beschriebenen Verformungen möglich war, wurden ähnlich hohe Spannungen wie bei Station 1349,80 ermittelt.

**Der Meßbereich 7 (Station 6223)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 23, 30, 31 an der Nordulme befindet sich am Nordrand der Schönachmulde in dunklen mittelkörnigen Gneisen unweit der habachphyllitverwandten Gesteinseinschaltungen. Die ersten Messungen ergaben sehr hohe NE-orientierte Spannungen. Nachfolgend ließen sie eine deutliche Verminderung erkennen.

**Der Meßbereich 8 (Station 6926–6930)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 25, 28, 29 an der Nordulme befindet sich im geflaserten Migmatit am Südrand des Ahornzentralgneislappens. Der Fels ist dort etwas geklüftet, Feucht- und Tropfstellen kommen in der Umgebung vor. Die Spannungsverteilung ist ENE orientiert. Eine Abminderung der teils hohen Spannungen wird bis zur Beendigung des Ausbruches des Triebwasserstollens deutlich. Auch an der Südulme ist die Hauptspannung ENE–WSW orientiert.

**Der Meßbereich 9 (Station 7538)**

Der Meßbereich mit den Meßstellen 26, 27 befindet sich im Schollenmigmatit des Ahornzentralgneiskernlappens. Der Fels ist in der Umgebung geklüftet, Feuchtstellen kommen vor. Die Spannungsverteilung ist NE-gerichtet, die Spannungen sind der nahen Klüftung entsprechen relativ gering.

#### 4. Meßergebnisse und Schlußfolgerungen

In der Zeitspanne von knapp zwei Jahren (März 1982 bis Februar 1984) erfolgten an 37 Stellen Messungen von Dehnungsänderungen, wovon die Hauptnormalspannungen abgeleitet wurden. Es wurde jeweils eine Meßstelle nur einmal überbohrt. Die an den Bohrkernen im Labor ermittelten Elastizitätsmoduli liegen zwischen  $18,4 \text{ kN/mm}^2$  und  $17,5 \text{ kN/mm}^2$ . In der Beilage 1 sind die Hauptnormalspannungen in ihrer Orientierung auf Nord bezogen dargestellt. Die Meßwerte schwanken zum Teil örtlich bedingt beträchtlich in ihrem Ausmaß, nicht so sehr in ihrer Orientierung. Zur genauen Erfassung zeitbedingter Veränderungen wären Messungen immer an denselben Meßstellen erforderlich gewesen, was bei laufendem Stollenvortrieb problematisch ist.

Zur besseren Übersicht wurden die jeweils größeren Hauptnormalspannungen in ihren prozentuellen Häufigkeiten nach Art einer Kluftrose dargestellt (vgl. Abb. 4). Dabei tritt ein Maximum mit NNE–SSW Orientierung deutlich hervor. Die beiden anderen Häufungsbereiche erstrecken sich NNW–SSE bzw. SW–NE.

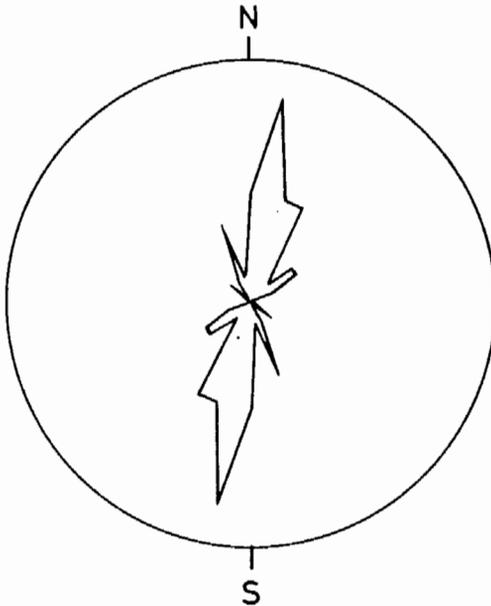


Abb. 4:  
Häufigkeiten der Hauptnormalspannungen.

Für eine aussagekräftige statistische Auswertung liegt leider eine sehr geringe Anzahl der Ermittlungen der Hauptnormalspannungen vor, um die Gefügegeometrie damit direkt in Beziehung setzen zu können. Bei der vorliegenden Anzahl der Messungen ist aber dennoch eine deutliche NNE–SSW Ausrichtung der jeweils größeren Hauptnormalspannungen in Beziehung zu bringen. Am deutlichsten wird dies im einigermaßen homogenen Zillertal-Venediger-Zentralgneiskern, wo die NNE orientierte größere Hauptnormalspannung als Winkelhalbierende zwischen die WSW einfallende Kluftschar und die nahezu s-

parallelen Klüfte als konjugierende Gefügeelemente zu liegen kommt. Dies kann trotz eines streuenden Gesamtbildes der Einzelelemente und der relativ geringen Anzahl der Messungen mit den beschriebenen Gebirgsdeformationen als ein Hinweis auf eine aktive tektonische Einspannung, die auf Grund unterschiedlicher Lokalbedingungen nicht streng einheitlich ausgerichtet sein muß, gedeutet werden.

Es kann aber auch die Lage des untersuchten Gebietes im möglichen Einflußbereich der Großstrukturen des Inntales, des Salzachtales und der periadriatischen Naht der Grund dafür sein.

Vielleicht könnte eine größere Anzahl von Messungen in Verbindung mit der Erfassung des Gefüges bereichsweise aufgliedert trotz der relativ einfachen Meßmetho-

de eine Unterscheidung und genauere Definition einzelner Spannungsfelder erkennen und unterscheiden lassen. Mit den vorliegenden Meßergebnissen läßt sich aber doch eine lokal differenzierte, gesetzmäßige Ausrichtung der Hauptnormalspannungen in bezug auf Orientierung und Größe erkennen. Dabei wird der Spannungszustand durch vermutlich örtlich variierende tektonische Einspannung, durch die Hebung des Alpenkörpers und durch die Hanglage des Stollens beeinflußt.

### 5. Literatur

- BUCHROITHNER, M.: Computer-aided evaluation of the major fracture pattern in Austria, derived from Landsat Data. – *Jahrb. Geol. B.-A.*, 125, 219–271, Wien 1982.
- CHRISTA, E.: Das Gebiet des oberen Zemmgrundes in den Zillertaler Alpen. – *Jahrb. Geol. B.-A.*, 81, 533–635, Wien 1931.
- Das Greiner-Schwarzensteingebiet der Zillertaler Alpen in geologisch-petrographischer Betrachtung. – Universitätsverlag Wagner, Innsbruck 1934.
- ECKHARDT, P., FUNK, W. & LABHART, T.: Postglaziale Krustenbewegungen in der Rhein–Rhone-Linie. – *Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich*, N. F. 233, 42–55, Zürich 1983.
- EXNER, CH.: Beitrag zur Kenntnis der jungen Hebung der östlichen Hohen Tauern. – *Mitt. geograph. Ges. Wien*, 91, 186–196, 1 Taf., Wien 1949.
- & SENFTL, E.: Rezente Hebung der Hohen Tauern und geologischen Interpretation. – *Verh. Geol. B.-A.*, 1973(2), 209–234, 3 Abb., Wien 1973.
- KIESLINGER, A.: Restspannung und Entspannung im Gestein. – *Geologie und Bauwesen*, 24, 95–112, Wien 1958.
- KOHLBECK, F.: In situ Spannungsmessungen im Tertiärbecken von Fohnsdorf. – *Berg- und Hüttenmänn. Mh.*, 124, 367–376, Wien 1979.
- & LAHODYNSKY, R.: Spannungsmessungen im Ruetzstollen der österreichischen Bundesbahnen (Stubai Alpen). – *ÖIZ*, 127/9, 320–327, Wien 1982.
- & SCHEIDEGGER, A. E.: Gebirgszustand und neotektonische Spannungen im Gebiet des Bergbaues von Bleiberg, Kärnten. – *Rock Mech.*, 14, 1–25, Wien 1981.
- , LAHODYNSKY, R. & SCHEIDEGGER, A. E.: Gebirgsspannungsmessungen im Ischler Salzberg, Oberösterreich. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, 32, 67–78, 6 Abb., 1 Tab., 2 Beil., Wien 1986.
- KRONBERG, P.: Die regionale und überregionale Bruchtektonik Mitteleuropas. Bestandsaufnahme und Interpretationen. – *Geotekt. Forsch.*, 53, 7–41, 21 Abb., 2 Beil., Stuttgart.
- LEEMANN, E. R.: The determination of the complete state of stress in rock in a single borehole – laboratory and underground measurements. – *Int. Journ. Rock Mech. and Min. Sci.*, 5, 31–56, Oxford 1968.
- The „doorstopper“ and triaxial rock stress measuring instruments developed by the CSIR. – *Journ. South Afr. Inst. Min. & Metall.*, 69, 305–339, Johannesburg 1969.
- MANDL, G. et al.: Shear zones in granular material. An Experimental Study of Their Structure and Mechanical Genesis. – *Rock Mechanics*, 9(2–3), 95–144, 33 figs., Wien 1977.
- Bruchtektonik-Einführung in Mechanik und Modelle. – *Schrift. Unterlagen und Arbeitsblätter zu einem Blockkurs in Salzburg*, 1980.

- MORTEANI, G.: Gliederung und Metamorphose der Serien zwischen Stillupptal und Schlegeistal (Zillertaler Alpen, Nordtirol). – Verh. Geol. B.-A., 1971, 287–314, Wien 1971.
- RAASE, P.: Petrographie und Geologie des oberen Zillergrundes und Sondergrundes (Zillertaler Alpen, Österreich). – 1972.
- RAITH, M.: Seriengliederung und Metamorphose im östlichen Zillertaler Hauptkamm (Tirol, Österreich). – Verh. Geol. B.-A., 1971, 163–207, Wien 1971.
- REIK, G.: Primärspannung und Gebirgsdruck. – Felsbau, 3(1985/2), 101–106, 13 Bilder, Essen 1985.
- RIEDEL, W.: Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. – Cbl. Min. Geol. Paläont., B1929, 354–368, 12 Abb., Stuttgart 1929.
- SCHEIDEGGER, A. E.: Beziehungen zwischen Orientationsstruktur der Talanlagen und der Klüftstellungen in Österreich. – Mitt. Österr. Geogr. Ges., 121(II), 187–195, 8 Abb., Wien 1979.
- SCHÄFER, K. & KEIL, St.: In situ Gesteinsspannungsermittlungen in Island. – Meßtechnische Briefe 15/2, 35–47, 1979.
- SENFEL, E.: Ein Beitrag zum Nachweis rezenter Bewegungen in den Hohen Tauern. – ÖZV, 58, 41–46, Wien 1970.
- SKEMPTON, A. W.: Some observations on tectonic shear zones. – Proceedings First Congr. Intern. Soc. Rock Mechanics, 329–335, 7 figs., Lissabon 1966.
- STEINHAUSER, P.: Rezente Krustenbewegungen an der Novellemant-Linie Villach-Thörl Maglern. – Mitt. österr. geol. Ges., 71/72, 317–322, Wien 1980.
- TOLLMANN, A.: Ostalpen-Tektonik I. Die bruchtektonische Zyklenordnung im Orogen am Beispiel der Ostalpen. – Geotekt. Forsch., 34, 90 S., 21 Abb., 1 Tab., 1 Taf., Stuttgart 1970.
- Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 153, 1–27, Stuttgart 1977.

Manuskript eingelangt am 7. Juli 1986  
angenommen am 14. Juli 1986

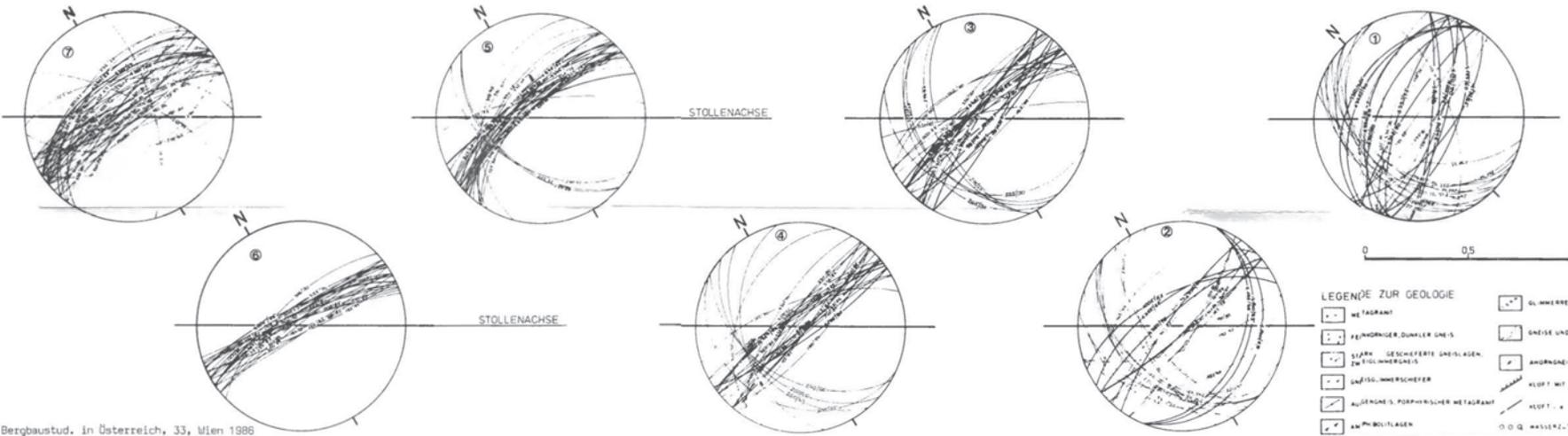
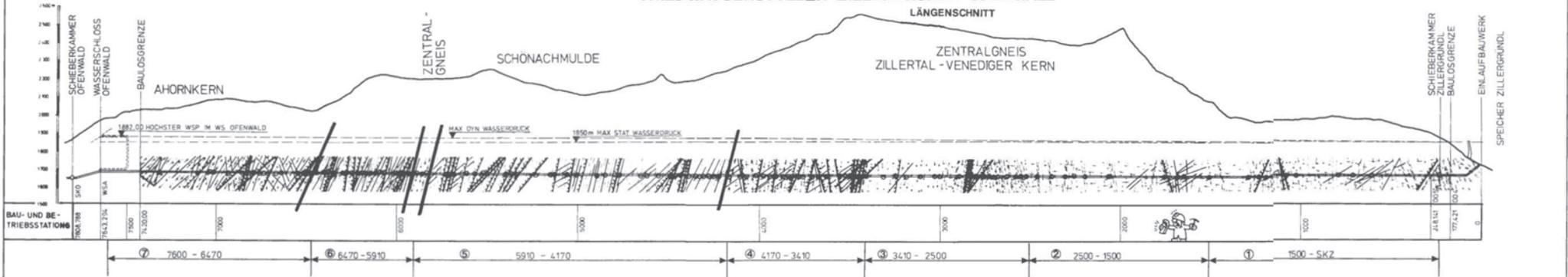


**GRÖSSE UND RICHTUNG DER FELS-OBERFLÄCHENSpannungen IM TRIEBWASSERSTOLLEN ZILLER - GRÜNDL - OFENWALD**



TRIEBWASSERSTOLLEN ZILLERGRÜNDL-OFENWALD

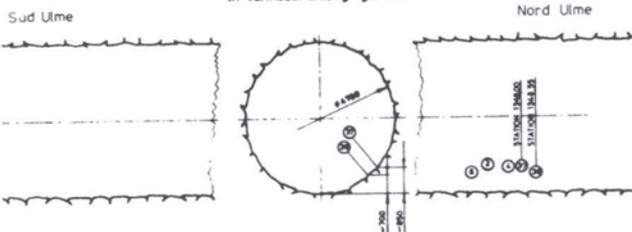
LÄNGENSCHNITT



- LEGENDE ZUR GEOLOGIE
- METAGRANIT
  - FEINSÖRNIGER, DUNKLER GNEIS
  - STARK GESCHICHTETE GNEISLAGEN IM ZILLERTAL
  - AMPHIBOL- UND HORNFELSCHIEFER
  - AULIGNAIS- UND PORPHYRISCHER METAGRANIT
  - AMPHIBOLITE
  - GLIMMERREICHE LAGEN
  - GNEIS UND QUARZITE DER SCHÖNACHMULDE
  - AMPHIBOLITE
  - KLUFT MIT MYLONIT (UND ZERKNACKUNG)
  - KLUFT -
  - AMPHIBOLITE
  - WASSER MIT FEUCHT TROPFEND RINNEND

**STATION 1348**

in Vortriebsrichtung gesehen

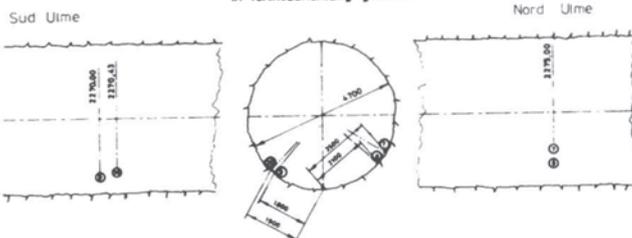


**LAGE DER EINZELNEN FLSOBER-  
FLÄCHENSPEANUNGSMESSUNGEN IM  
TRIEBWASSERSTOLLEN  
ZILLERGRÜNDL – OFENWALD**



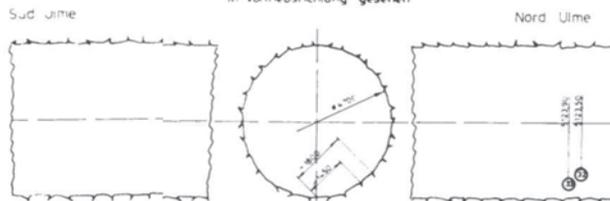
**STATION 2270**

in Vortriebsrichtung gesehen



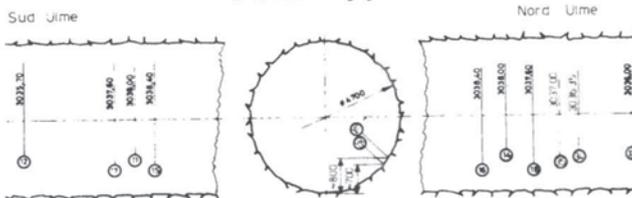
**STATION 5124**

in Vortriebsrichtung gesehen



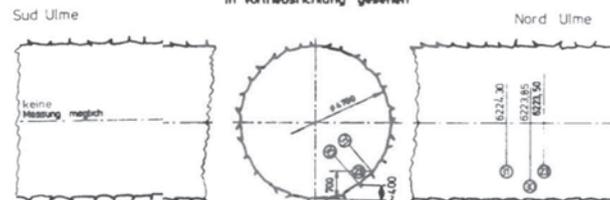
**STATION 3035**

in Vortriebsrichtung gesehen



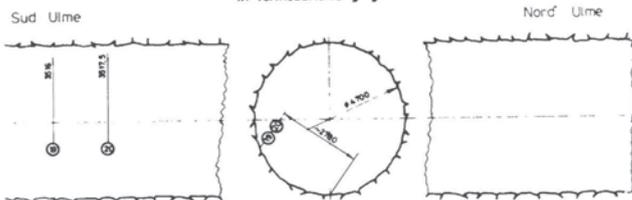
**STATION 6223**

in Vortriebsrichtung gesehen



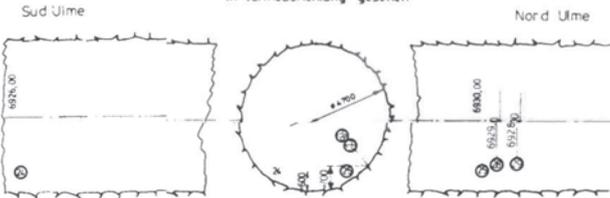
**STATION 3516**

in Vortriebsrichtung gesehen



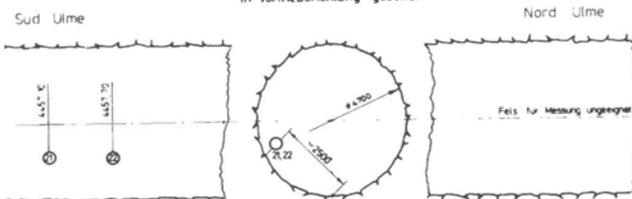
**STATION 6926**

in Vortriebsrichtung gesehen



**STATION 4457**

in Vortriebsrichtung gesehen



**STATION 7538**

in Vortriebsrichtung gesehen

