Sickerwasserströmungen im Hauptdolomit beim Stollenbau der Engadiner Kraftwerke

Autor(en): **Könz, Peider**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **87 (1969)**

Heft 42

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-70799

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Sickerwasserströmungen im Hauptdolomit beim Stollenbau der Engadiner Kraftwerke

Von **P. Könz**, dipl. Bauing. ETH, Ardez

DK 627.842 : 624.131.6

Vortrag gehalten in Biel an der Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik vom 8. Nov. 1968

1. Die Anlage der Engadiner Kraftwerke

Die in Ausführung begriffenen Engadiner Kraftwerke (Bild 1) nutzen die Flüsse Inn und Spöl in zwei Stufen aus. Die im Spöltal gelegene Speicheranlage Livigno–Ova Spin einerseits nutzt das Gefälle zwischen dem 164 Millionen m³ fassenden Stausee Livigno und dem Ausgleichsbecken Ova Spin. Das Innwasser anderseits wird in S-chanf gefasst und durch einen 15 km langen Freispiegelstollen ebenfalls in das Ausgleichsbecken Ova Spin geleitet. Von hier bis Pradella wird das Gefälle der Hauptstufe ausgenützt. Ein 20 km langer Druckstollen mit einem Innendurchmesser von 5,20 m führt das Wasser von Ova Spin zum Wasserschloss Bain Crotsch.

Am Beispiel des Druckstollens der Stufe S-chanf–Pradella und insbesondere des Stollenabschnittes, welcher vom Fenster Sampuoir aus vorgetrieben wird, soll die Wirkung des anfallenden Kluftwassers und die für die Überwindung der aufgetretenen grossen Schwierigkeiten angewendeten Methoden erörtert werden.

2. Die geologische Situation

Der Druckstollen Ova Spin–Pradella liegt zum grössten Teil im Hauptdolomit. Dieser gehört der S-charldecke an und seine Gesamtmächtigkeit beträgt bis über 1500 m. Es handelt sich um aufeinandergetürmte, auch seitlich nebeneinanderverschobene Dolomitschollen, die von SO herangeschoben wurden. Diese ganze Dolomitmasse, bestehend aus einzelnen Schubpaketen, brandete an der Südfront des Silvrettakristallins, an der sogenannten Stragliavitalinie auf. Diese verläuft praktisch geradlinig und bildet eine scharfe OW verlaufende Grenze, die steil mit rund 60° nach Süden einfällt. Entlang dieser kristallinen Barriere wurden die aus SO herangeschobenen, sich rupturell verformenden Dolomite aufeinandergeschachtelt und der Schub aus einer SO-Richtung in eine O-Richtung umgedreht. Dass die Dolomitschollen dabei einer enormen Beanspruchung ausgesetzt waren, versteht sich. Es entstanden nach der Stragliavitalinie zu geschleppte Grossklüfte, wobei in der Endphase der Durchbewegung die kluftnahen Gesteinspartien eine totale Zertrümmerung erfuhren (Bild 2).

3. Die Wasserführung

Die Zusammenfassung der Quellbeobachtungen vor dem Baubeginn und der Erfahrungen beim Ausbruch des grössten Teiles des Stollens zeigt folgendes:

Die Kristallinbarriere im Norden, welche auch die Unterlage der Dolomiten bildet, mit den eingeschleppten tonhaltigen Kalken, bildet eine wasserundurchlässige Wanne in welcher das Sickerwasser

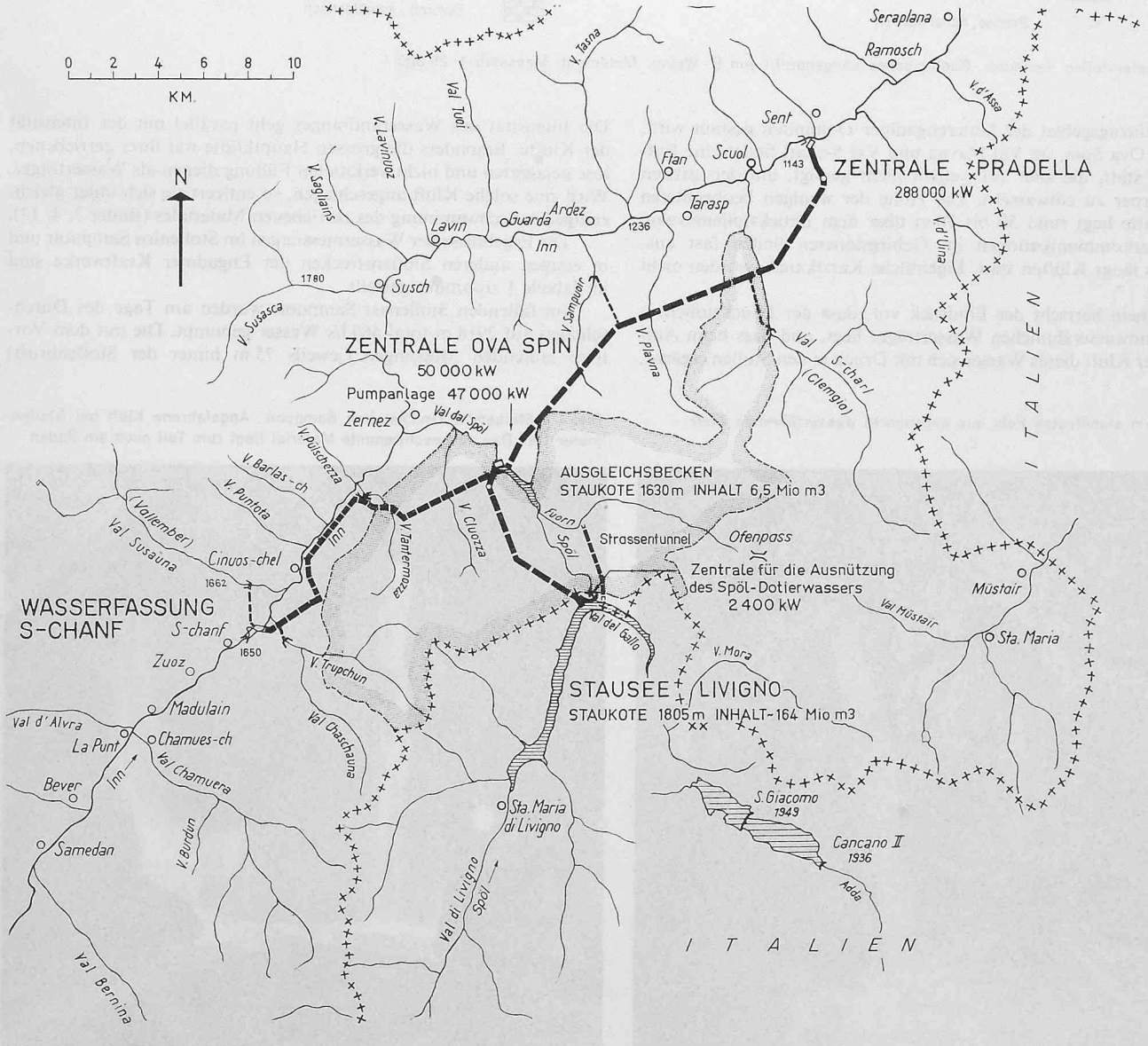


Bild 1. Gesamtsituation der Engadiner Kraftwerke. Massstab 1:300 000

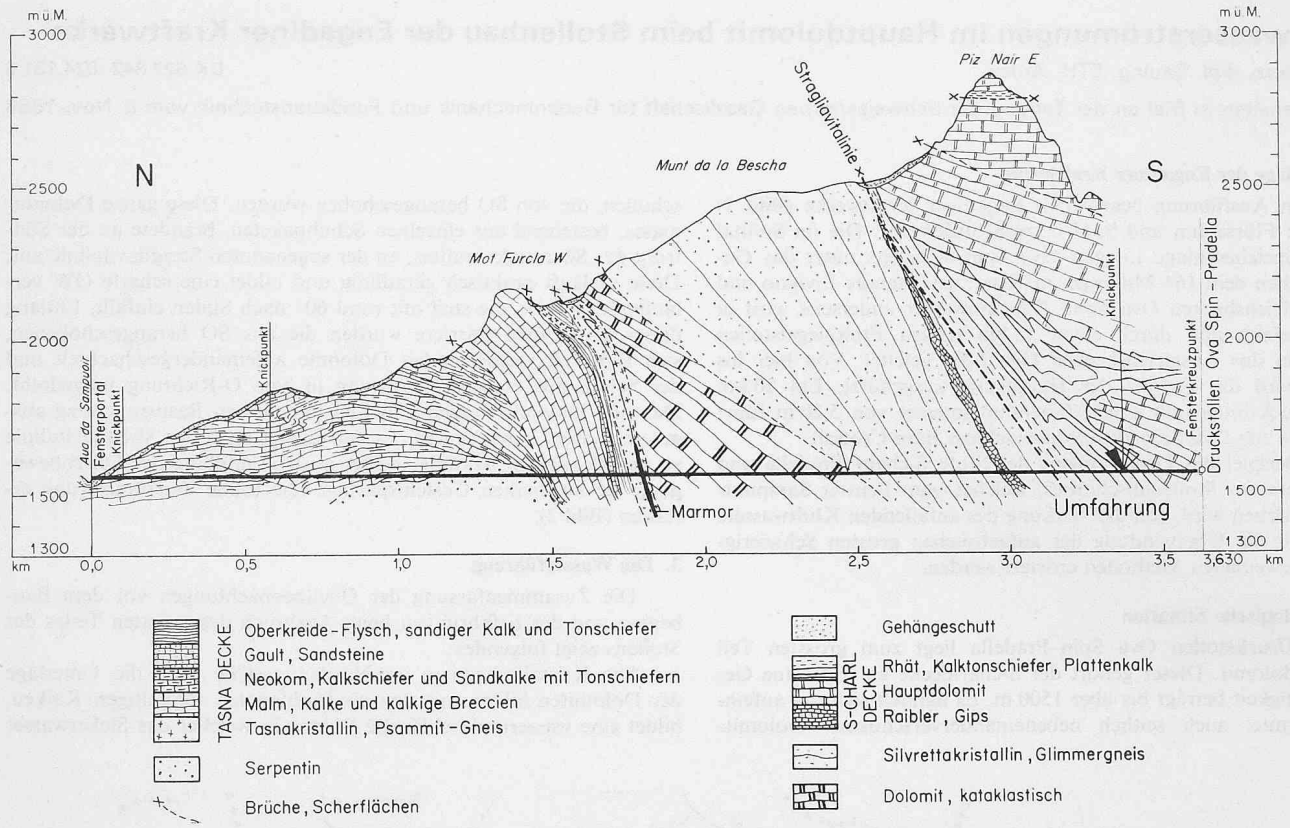


Bild 2. Fensterstollen Sampuoir. Geologisches Längenprofil von E. Weber, Maienfeld. Massstab 1 : 25 000

aus dem Einzugsgebiet der Unterengadiner Dolomiten gestaut wird. Einzig bei Ova Spin, im Val Plavna und Val S-charl findet eine Entwässerung statt, die aber bei weitem nicht genügt, um den ganzen Gebirgskörper zu entwässern. Die Höhe der wenigen beobachteten Quellaustritte liegt rund 50 bis 70 m über dem Druckstollenniveau. Die Wasserkommunikationen im Gebirgsinneren finden fast ausschliesslich längs Klüften statt. Eigentliche Karstkanäle wurden nicht festgestellt.

Allgemein herrscht der Eindruck vor, dass der Druckstollen in einem grundwasserähnlichen Wasserträger liegt, und dass beim Auffahren einer Kluft dieses Wasser sich mit Druck in den Stollen ergiesst. Die Intensität des Wasserandranges geht parallel mit der Intensität der Klüfte. Besonders die grossen Hauptklüfte mit ihrer zerriebenen, lose gelagerten und nicht verkitteten Füllung dienen als Wasserträger. Wird eine solche Kluft angeschlagen, so entleert sie sich unter gleichzeitiger Ausschwemmung des zerriebenen Materiales (Bilder 3, 4, 13).

Die Ergebnisse der Wassermessungen im Stollenlos Sampuoir und in einigen anderen Stollenstrecken der Engadiner Kraftwerke sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Im fallenden Stollenast Sampuoir wurden am Tage des Durchschlages auf 2918 m total 460 l/s Wasser gepumpt. Die mit dem Vortrieb laufenden Messungen (jeweils 75 m hinter der Stollenbrust)

Bild 3. Vom standfesten Fels aus angebohrte wasserführende Kluft

Bild 4. Steigender Druckstollen Sampuoir. Angefahrene Kluft bei Stollenmeter 160. Das ausgeschwemmte Material liegt zum Teil noch am Boden

Tabelle 1.

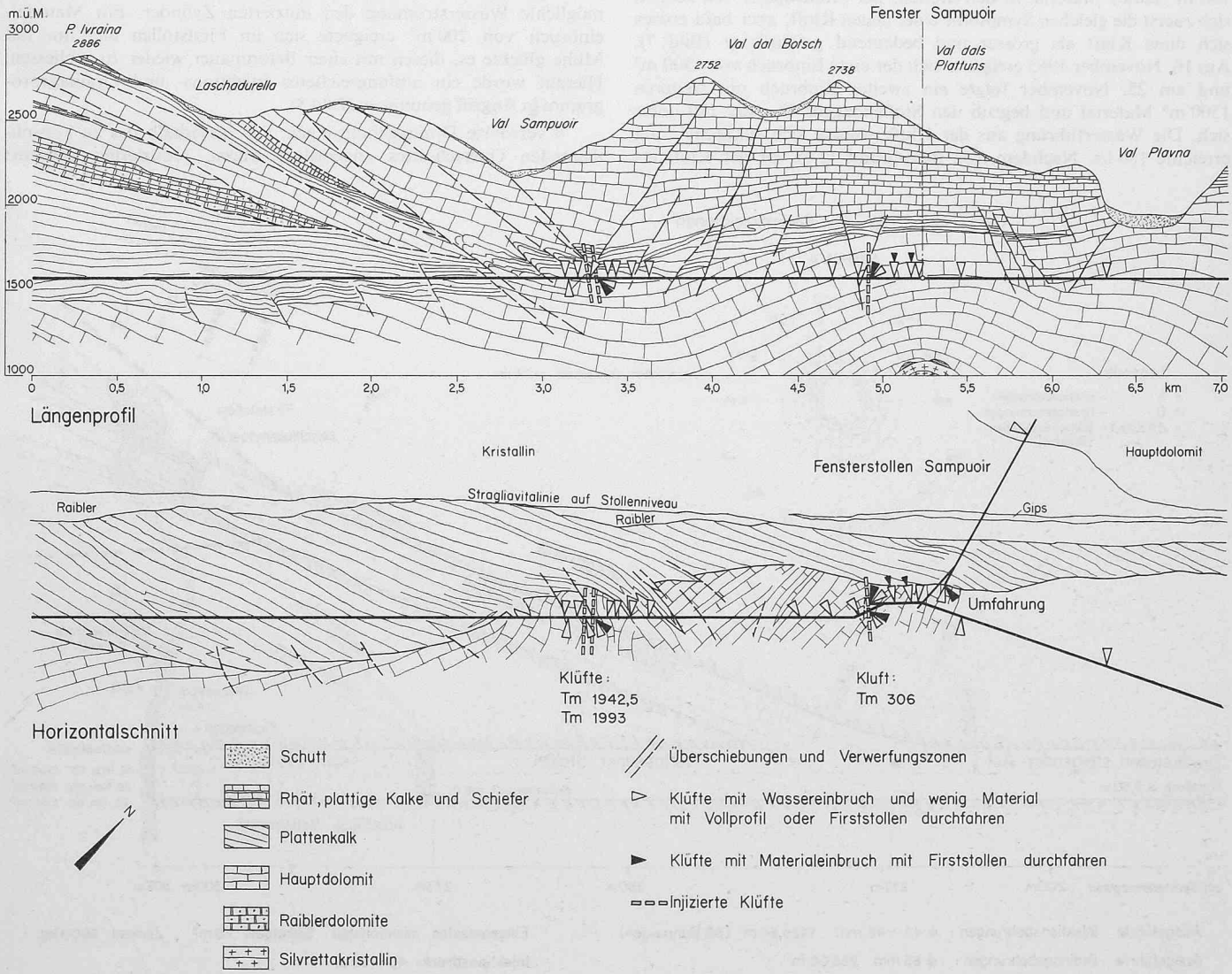
Stollenstrecke	Gestein	Wasserandrang l/s/km
Sampuoir fallender Ast auf 2918 m Länge	Dolomit	158
Sampuoir steigender Ast auf 2128 m Länge	Dolomit	309
Punt dal Gall–Ova Spin auf 5300 m Länge	Dolomit, der vom parallel verlaufenden und tiefer liegenden Spöltal entwässert wird.	36
Punt dal Gall–Ova Spin auf 2000 m Länge	Tonige Kalke mit Dolomitschuppen	20
Tantermozza–Ova Spin auf 5500 m Länge	Tonige Kalke mit Dolomitschuppen	30–40
Laschadura–Sampuoir auf 1640 m Länge	Tonhaltige Kalke	9

liessen auf einen totalen Wasserandrang, ohne die Reduktion des Wasserandranges mit der Zeit in Rechnung zu stellen, von 1440 l/s schliessen. Die Reduktion über 2 Jahre vom Beginn der Vortriebsarbeiten bis zum Durchschlag beträgt demnach 68%. Ähnliche Messungen im kluftreicheren steigenden Ast auf 2128 m ergeben, dass die Wassermenge während 3 Jahren einen Rückgang von nur 58% erfahren hat. Sie beträgt heute 660 l/s. Betrachtet man die Kluftzonen im steigenden Stollenast für sich, so ergibt sich eine Reduktion der Wassermenge bei der ersten Kluftzone vom Stollenmeter 0 bis 320 von 80% in 3 Jahren und von 40% in 1½ Jahren bei der zweiten Kluftzone vom Stollenmeter 1600 bis 2128. Diese Wassermengen betragen heute 110 bzw. 320 l/s.

Für die Überwindung von wasserführenden Klüften ist der herrschende Wasserdruck von massgebender Bedeutung. Im steigenden Ast des Bauloses Sampuoir sind im Dolomit folgende Drücke gemessen worden: Bei der ersten angetroffenen grossen Kluft bei Tm 306 wurde ein anfänglicher Wasserdruck von 25 atü gemessen. Bei den folgenden grossen Klüften bei Tm 1942 und 1993 sind Drücke von 17 und 10 atü gemessen worden. Nach der Durchörterung dieser Klüfte und nachdem Wassermengen bis 600 l/s während 3 Jahren ausgeflossen sind, ist der Druck heute in den letzten Metern des aufgeschlossenen Gebirges auf 3 atü gesunken.

4. Die Durchörterung der wasser- und materialführenden Klüfte im steigenden Vortriebe des Bauloses Sampuoir

Im geologischen Längenprofil und Horizontalschnitt sind alle bis heute angetroffenen und durchfahrenen Klüfte eingetragen (Bilder 5 und 6). Daraus ist die auffallende Massierung der Klüfte zwischen Stollenmeter 0 bis 320 und Stollenmeter 1600 bis 2128 ersichtlich. Diese Kluftzonen bilden die Grenze zwischen verschiedenen Hauptschollen des Dolomites. Im ganzen handelt es sich um 16 Klüfte, die bis heute überwunden wurden. 13 davon konnten mit Vollprofil oder Firststollen durchfahren werden. Die Durchörterung der 3 mit Injektionen konsolidierten Klüfte bei Stollenmeter 306, 1942 und 1993 wird noch im einzelnen behandelt werden. Folgende allgemeine Bemerkungen gelten aber für alle angetroffenen Klüfte: Die Kluftfüllung besteht aus zerriebenem Dolomit, das Material ist lose gelagert und es fehlt jede Verkittung, die Kluftfüllung ist wasserdurchlässig. Eine aus der Kluft bei Stollenmeter 306 möglichst ungestört entnommene Probe weist eine Kornzusammensetzung gleich der Fullerkurve für 30 mm Korn auf. Eine zweite Probe weist in der mittleren Partie eine um 30% feinere Kornverteilung auf. Es ist aber zu bemerken, dass beide Proben zum Teil ausgewaschen wurden und somit



Bilder 5 und 6. Druckstollen Sampuoir. Geologische Schnitte 1:40 000 von E. Weber, Geologe, Maienfeld

zu wenig feines Material aufweisen. Die Klüfte können dazwischen auch bedeutend grössere Blöcke enthalten. Die Breite der Klüfte ist sehr variabel. Eine zum Beispiel 2 m breite Kluft kann sich nach wenigen Metern fast ganz schliessen, um sich dann wieder zu erweitern.

Der Wechsel vom standfesten, kompakten Fels zur eigentlichen Kluft mit ihrer losen Füllung erfolgt fast immer ohne Übergangszone. Durch Vorbohren ist es deswegen möglich, die Klüfte festzustellen. Für die zu wählende Vortriebsmethode ist es aber von grösster Wichtigkeit zu erfahren, wie sich die Kluftfüllung beim Ausbrechen des Stollens verhalten wird, z. Beispiel ob die Kluft mit einem Sondierstollen durchfahren werden kann, ohne dass ein Einbruch zu befürchten ist, oder ob die Kluft vorerst mit Spezialmethoden zu konsolidieren ist. Die Antwort auf diese Frage ist sehr schwer zu geben und nur extreme Fälle können eindeutig erfasst werden. In Sampuoir wurde zu diesem Zwecke bei jedem Abschlag von 3 m eine 10 bis 12 m lange Vorbohrung mit 65 mm ⌀ ausgeführt. Nach jedem grösseren Arbeitsunterbruch wurde sogar eine bis 120 m lange Sondierbohrung ausgeführt.

Praktisch sind die Entscheidungen für die zu wählende Vortriebsmethode auf Grund der Angaben des Mineurs oder des Bohrmeisters über Bohrwiderstand, anfallende Wassermenge und auf Grund des gemessenen Wasserdruckes zu treffen. Auf die im tektonisch beanspruchten Dolomit allgemein auch bei Verwendung des Doppelkernrohres geringe Kernausbeutung, kann für die Beurteilung der Gefährlichkeit einer Kluft beim Stollenvortrieb nicht abgestellt werden.

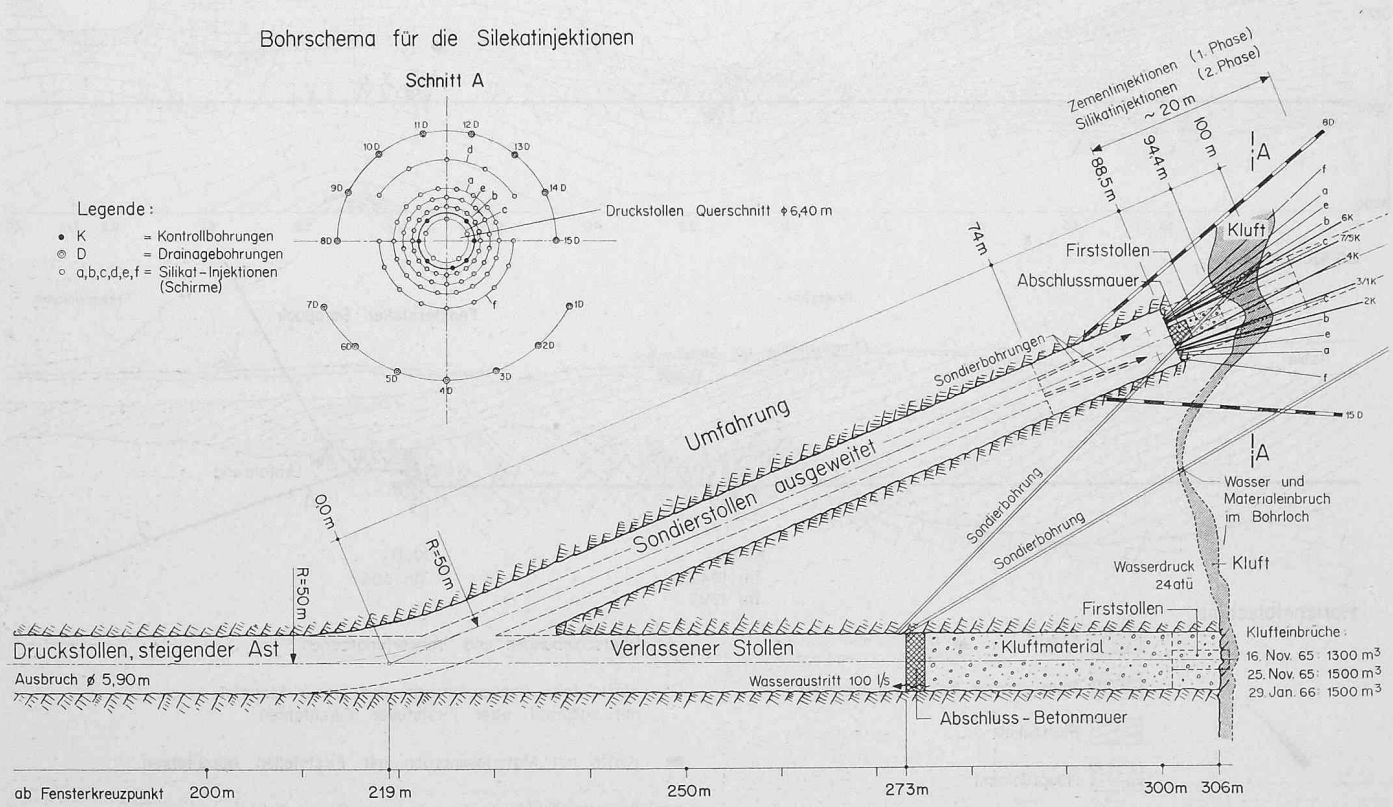
Kluft Stollenmeter 306

Der steigende Stollenast hatte in seinen ersten 200 m eine Kluft mit Vollprofil und zwei Klüfte mittels Firststollen und nachfolgender Ausweitung durchfahren (Bild 4). Die Wasserführung dieser Klüfte betrug 100 bis 200 l/s und Kluft. Aus einer Kluft stürzten 700 m³ feines Material in den Stollen. Bei Stollenmeter 306 zeigten sich zuerst die gleichen Symptome einer neuen Kluft, aber bald erwies sich diese Kluft als grösser und bedeutend gefährlicher (Bild 7). Am 16. November 1965 ereignete sich der erste Einbruch von 1300 m³ und am 25. November folgte ein zweiter Einbruch mit weiteren 1500 m³ Material und begrub den Stollenbagger Conway 100 unter sich. Die Wasserführung aus der Kluft erhöhte sich sukzessive und erreichte 180 l/s. Nachdem eine Betonwand 33 m vor der Kluft errichtet wurde, versuchte man die Kluft mit einem Firststollen zu durchfahren. Am 29. Januar 1966, als der Firststollen bei der Kluft angelangt war, ereignete sich ein dritter Einbruch von 1500 m³ Material. Die Wasserführung war Ende 1965 auf 130 l/s zurückgegangen, und erhöhte sich nach dem Einbruch wieder auf 180 l/s. Die ausgeführten Sondierbohrungen zeigten eine recht unregelmässige Kluft von 1 bis 3 m Breite. Die Durchfahrung der Kluft sollte auf einem neuen Trassee erfolgen (Bild 7).

Die neue Stollenachse wurde im Bereich der Kluft um 30 m verschoben. Dieser Entscheid wurde gefasst, da die Situation im alten Trassee für die Ausführung einer erfolgreichen Konsolidation als zu stark gestört betrachtet wurde. Mit der Umfahrung wollte man auch weiter von der Stragliavitalinie abrücken, in deren Nähe mit einer grösseren Zerstörung des Felsens gerechnet werden musste. Der Abstand von 30 m wurde als minimaler Abstand betrachtet, um Kommunikationen mit dem alten Stollen bei der Ausführung von Injektionen zu vermeiden. Damit sollte auch nicht Gefahr gelaufen werden, das im alten Stollen laufende Wasser verdämmen zu müssen und so den ursprünglichen Druck wieder herzustellen. In der Umfahrung wurde der Stollen bis 6 m an die Kluft herangebracht. Erneute Sondierungen zeigten die Kluft mit einem Wasserdruck von 25 atü und einer losen Kluftfüllung. Eine erste Phase von Zementinjektionen wurde eingeleitet.

Total sind 42 Bohrungen zu je 10 m Länge ausgeführt worden und es wurden 24 t Zement bei 100 atü Druck injiziert. Die Zementaufnahme war unterschiedlich, bei den meisten Bohrungen aber sehr gering, und erreichte im Durchschnitt 60 kg/Bohrung. Zusätzlich wurden 7 Drainagebohrungen ausgeführt. Diese Arbeit dauerte 2 Wochen. In einem angesetzten Firststollen musste festgestellt werden, dass die ausgeführten Zementinjektionen in die ungestörte Kluft von kleiner Wirkung waren. Das Material war etwas konsolidiert, aber nicht gedichtet worden und so zerstörte die beim Vortrieb ermöglichte Wasserströmung den injizierten Zylinder. Ein Materialeinbruch von 200 m³ ereignete sich im Firststollen und nur mit Mühe glückte es, diesen mit einer Betonmauer wieder zu schliessen. Hierauf wurde ein umfangreicheres Injektions- und Drainageprogramm in Angriff genommen (Bild 8).

9 verrohrte Drainagebohrungen, die ausserhalb des zu konsolidierenden Querschnittes angeordnet waren, reduzierten zunächst



Ausgeführte Injektionsbohrungen: ϕ 42 – 45 mm 1429,50 m (66 Bohrungen)
Ausgeführte Drainagebohrungen: ϕ 65 mm 256,00 m
Eingepresstes Injektionsgut: Silikatgeel 69 m³ ; Zement 5900 kg
Injektionsdruck: 40 – 65 at

Bild 7. Druckstollen Sampuoir. Einbruchstelle Kluft Stollenmeter 306 mit Umfahrung und Bohrschema für die Silikatinjektionen. Massstab 1:600

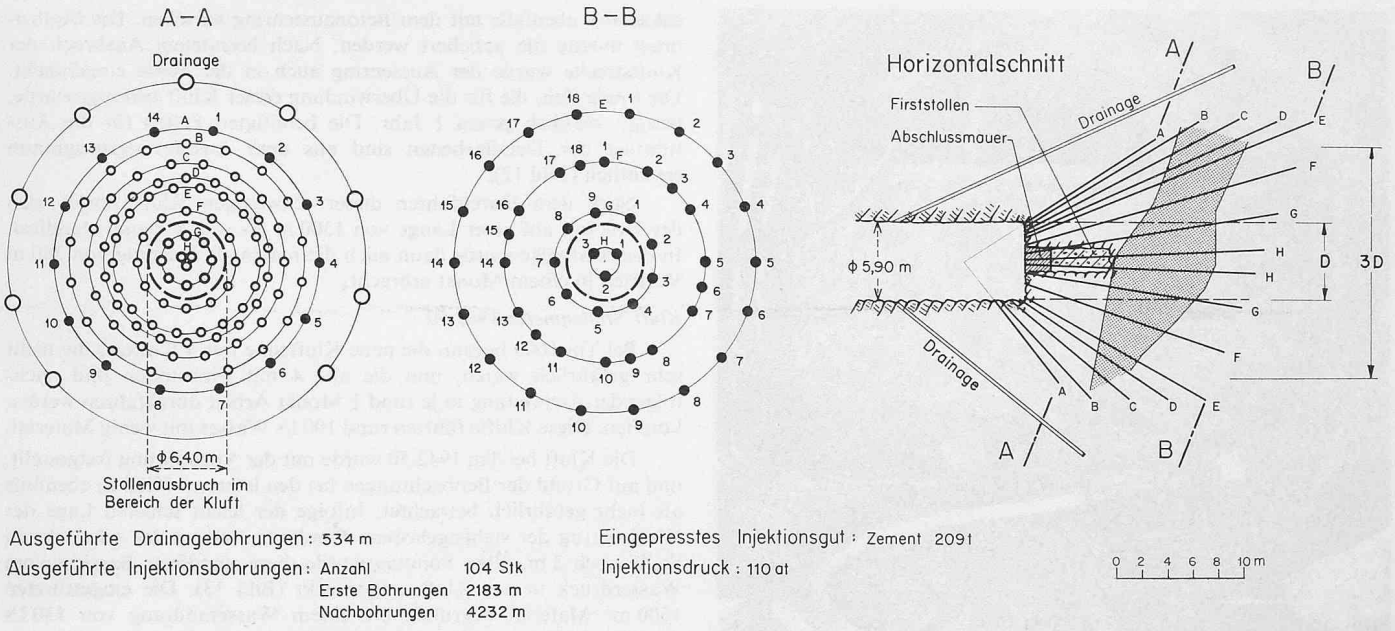


Bild 8. Druckstollen Sampuoir. Umfahrung der Kluft bei Stollenmeter 306. Bohrschema der ausgeführten Zementinjektionen

den Wasserdruck von 25 auf 5 atü. Als nächste Etappe wurden die Hohlräume hinter der Mauer mit Mörtel- und Zementinjektionen ausgefüllt. Die effektive Konsolidation eines Zylinders von 18 m Durchmesser, gleich dem 3fachen Stollendurchmesser, erfolgte durch Zementinjektionen, welche in 8 konzentrischen Kegeln angeordnet waren. Total wurden 104 Löcher mit 2183 m Länge gebohrt. Sobald eine Bohrung in unstabiles Material eindrang oder Wasser führte, wurde mit der Injektion dieser Bohrung begonnen. Diese Bohrung wurde später wieder nachgebohrt. Jede Bohrung wurde so lange behandelt, bis sie die definitive vorgesehene Länge ohne Materialeinbrüche zu zeigen erreichte. Einzelne Bohrungen wurden bis 7mal nachgebohrt. Injiziert wurde die Bohrung immer in einem Male, ohne sie durch Kolben in einzelne Abschnitte zu teilen. Total wurden 209 t Zement injiziert bei 110 atü Druck und es wurden 4232 m Löcher nachgebohrt. Kontrollbohrungen mit 200 mm ⌀ ergaben, dass das Material konsolidiert und stabil aber nicht genügend gedichtet war. Es zeigte sich noch eine geringe Wasserführung von rund 1 bis 2 l/s und Bohrung. Bevor die Kluft mit dem Stollen durchfahren werden durfte, sollte aber jede Wasserzirkulation unterbunden werden.

Für eine zweite Injektionsphase wurden Silikatinjektionen gewählt (Bild 7). Das Injektionsgut wurde zusammengesetzt aus: 700 l Wasser, 300 l Silikat (38° Be, 12 cP), 16 bis 19 kg Na-Aluminat. Bei einer Lufttemperatur von 4,5° und einer Wassertemperatur von 6° ergab sich eine Gelierzeit von 45 Minuten. Durch die konsolidierte Kluft hindurch wurden 66 Bohrungen in 5 Kegeln mit total 1430 m Länge ausgeführt, und es wurden total 69 m³ Gel bei 40 bis 45 atü injiziert. Bei der Ausführung der zwei letzten Injektionskegel wurde die Gelierzeit auf 70 Minuten verlängert und der Druck auf 50 bis 65 atü erhöht. Zusätzlich wurden noch 14 Drainagebohrungen ausgeführt. Es ist hervorzuheben, dass nie Kommunikationen weder mit dem verlassenen Stollenteil noch mit den Drainagen vorgekommen sind. Das Ergebnis dieser zweiten Phase war ein voller Erfolg, indem der Stollen ohne den geringsten Wasserandrang ausgebrochen werden konnte, obwohl die harten und standfesten Randpartien der Kluft mit leichten Sprengungen beseitigt wurden.

Der Stollen wurde zuerst mit einem Firststollen durchfahren (Bild 9). Der Fels wurde mit Stahlbogen und sofortigem Auftrag von Spritzbeton gesichert. Um Hohlräume in der Kalotte zu verhindern,

Bild 9. Druckstollen Sampuoir. Durchörterung der konsolidierten Kluft bei Stollenmeter 306 mit einem Firststollen

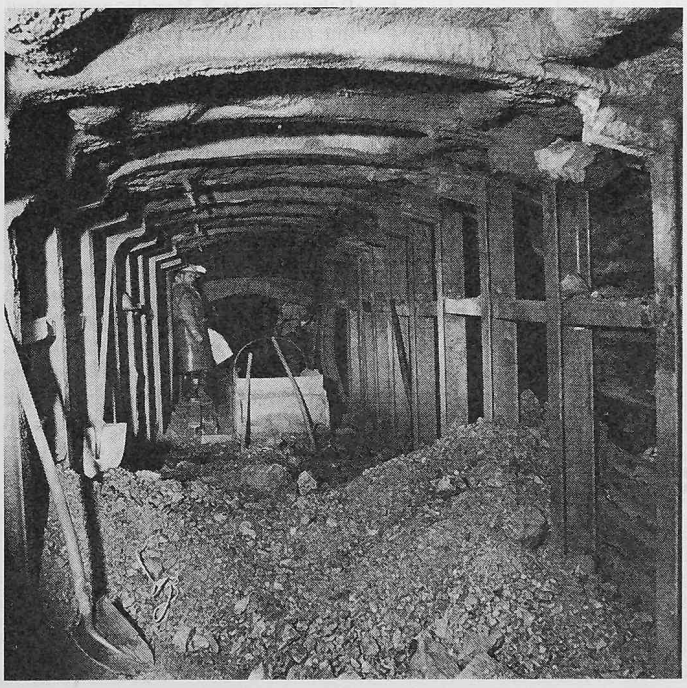
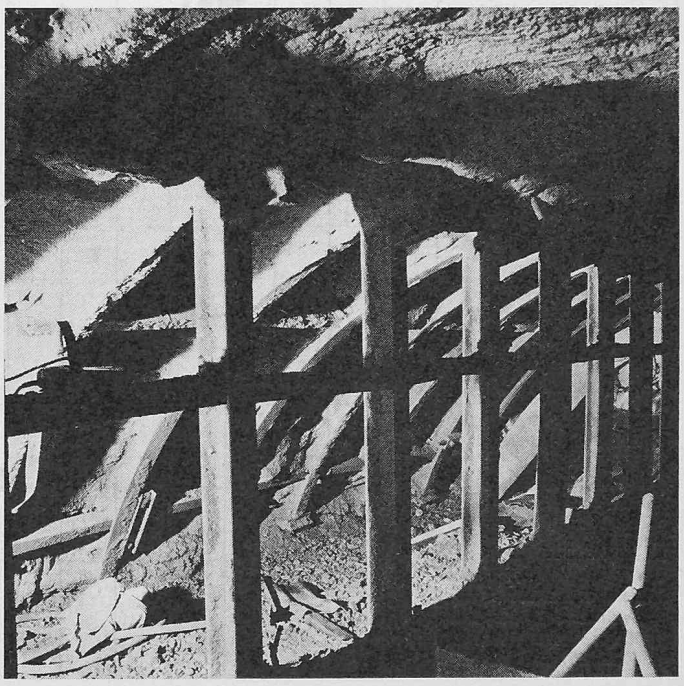


Bild 10. Druckstollen Sampuoir. Kalottenausweitung beim Durchfahren der konsolidierten Kluft bei Stollenmeter 306



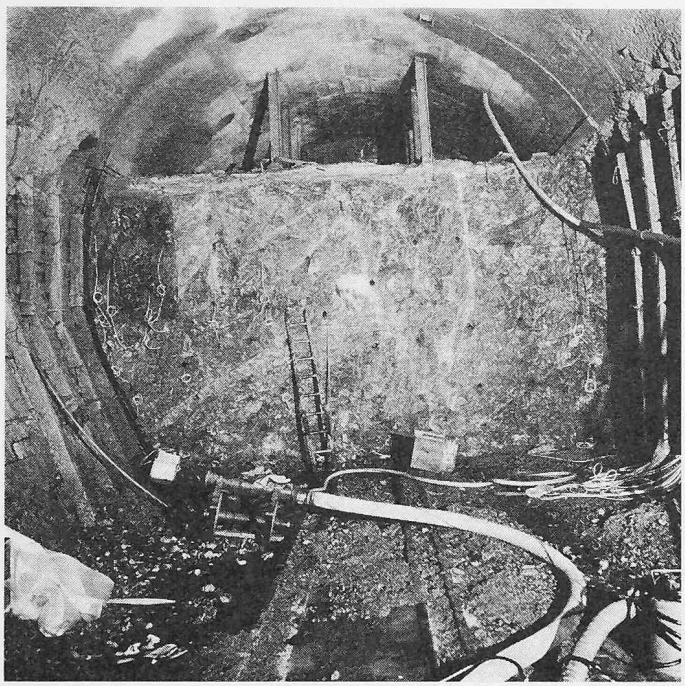


Bild 11. Druckstollen Sampuoir. Ausbruch des unteren Profilteiles beim Durchfahren der konsolidierten Kluft bei Stollenmeter 306

und um auch eine kleine Wasserzirkulation zu verunmöglichen, wurde der Spritzbeton gegen den Fels aufgetragen, ohne Verwendung von Stahlbrettern. Anschliessend wurde im gleichen Verfahren die Kalotte ausgeweitet (Bild 10). Als nächster Arbeitsgang wurde die Kalotte mit einem Betonaussenring von 25 cm Stärke versehen. Im Scheitel wurden die Füllinjektionen ausgeführt. Anschliessend konnte der untere Teil des Profiles ausgebrochen werden (Bild 11). Die Paramente wurden sukzessive ebenfalls mit dem Betonaussenring versehen. Die Stollenbrust musste nie gesichert werden. Nach beendetem Ausbruch der Kluftstrecke wurde der Aussenring auch in der Sohle eingebracht. Die totale Zeit, die für die Überwindung dieser Kluft benötigt wurde, beträgt ziemlich genau 1 Jahr. Die benötigten Zeiten für die Ausführung der Detailarbeiten sind aus dem Ausführungsprogramm ersichtlich (Bild 12).

Nach dem Durchfahren dieser schwierigen Kluft erwies sich der Dolomit auf einer Länge von 1300 m als sehr gut und standfest. In dieser Strecke wurde dann auch die maximale Leistung von 340 m Vortrieb in einem Monat erbracht.

Kluft Stollenmeter 1942.50

Bei Tm 1600 begann die neue Kluftzone mit 4 Klüften, die nicht sehr gefährlich waren, und die alle 4 mit Firststollen und nachfolgender Ausweitung in je rund 1 Monat Arbeit durchfahren werden konnten. Diese Klüfte führten rund 100 l/s Wasser mit wenig Material.

Die Kluft bei Tm 1942.50 wurde mit der Vorbohrung festgestellt, und auf Grund der Beobachtungen bei den letzten 4 Klüften ebenfalls als nicht gefährlich betrachtet. Infolge der leicht schiefen Lage der Kluft betrug der stehengelassene standfeste Fels an der schwächsten Stelle noch 2 m. Über Sonntag wurde diese standfeste Barriere vom Wasserdruck in der Kluft eingedrückt (Bild 13). Die eingestürzten 1500 m³ Material begruben bei einem Wasserandrang von 130 l/s den Bohrwagen und den vorne liegenden Bagger. Es gelang, zwischen Bohrwagen und Bagger eine Betonmauer abzuteufen und so den Bagger zu befreien. Auch bei dieser Kluft wurde versucht, mit einem Firststollen durchzukommen. Während der Ausführung dieser Arbeit sind weitere 200 m³ Material in den Stollen gestürzt und der Versuch musste aufgegeben werden. Die Kluft war hier nicht sehr stark gestört und die Sicherungswand befand sich sehr nahe bei der Kluft. Beides gute Voraussetzungen für die Ausführung der Konsolidation von der bestehenden Mauer aus (Bild 14). Für die Konsolidation dieser Kluft wurde das gleiche Schema wie bei der Kluft bei Tm 306 angewendet: Drainage, Konsolidation und Dichtung.

Nach den Erfahrungen, die bei der Konsolidation der Kluft bei Tm 306 gemacht wurden, insistierte man bei dieser Kluft nicht so lange mit der Ausführung von Zementinjektionen. Nachdem die Bohrungen des zweiten Injektionskegels nach der letzten Nachbohrung die totale Länge erreicht hatten und nicht mehr als 200 kg Zement pro Injektion aufnahmen, wurden die Zementinjektionen eingestellt. Total wurden 41 Bohrungen in 2 Kegeln angeordnet, wobei 1070 m Bohrungen ausgeführt wurden, 1220 m wurden nachgebohrt und es wurden 380 t Zement injiziert. Bei den folgenden Silikatinjektionen wurden 57 Bohrungen in 5 Kegeln angeordnet mit total 1410 m Bohrungen und es wurden 165 m³ Geel injiziert. Die Zusammensetzung des Geels war die gleiche wie bei der Kluft bei Tm 306. Der Injektionsdruck der Silikatinjektionen wurde hingegen auf 80 atü erhöht. Durch die reduzierten Zementinjektionen wurden rund 1100 m Bohrungen und 3000 m Nachbohrungen weniger als bei der Kluft Tm 306 ausgeführt. Es mussten aber 100 m³ Geel mehr injiziert werden. Bei der Ausführung der Injektionen konnten dadurch 27 Arbeitstage eingespart werden. Für die Drainage der Felszone ausserhalb des injizierten Zylinders wurden 19 Drainagebohrungen ausgeführt, durch welche der ursprüngliche Druck von 17 auf 10 atü reduziert

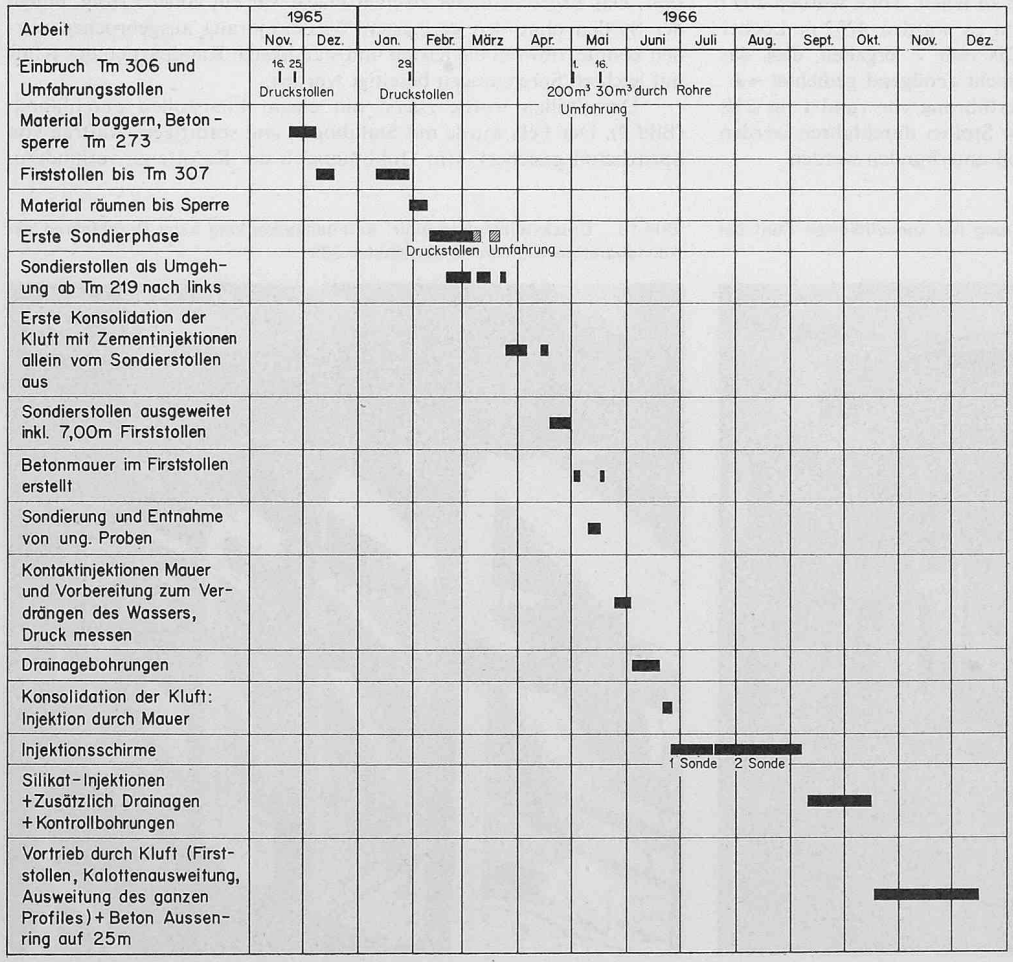


Bild 12. Druckstollen Sampuoir. Programm der ausgeführten Arbeiten bei der Durchfahrung der Kluft bei Stollenmeter 306

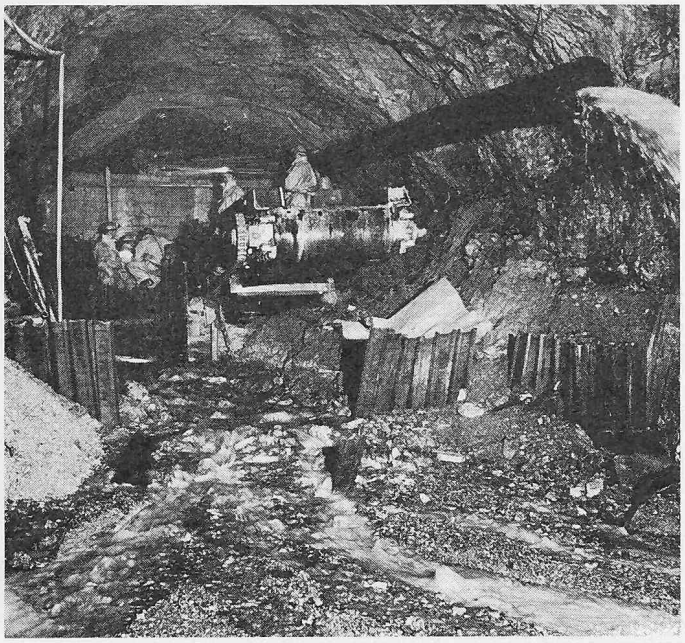


Bild 13. Druckstollen Sampuoir. Situation im Stollen nach dem Materialeinbruch aus der Kluft bei Stollenmeter 1492.50. Eine Betonmauer wird vor dem zugeschütteten Bagger Conway 100 erstellt. Wasserandrang 130 l/sec

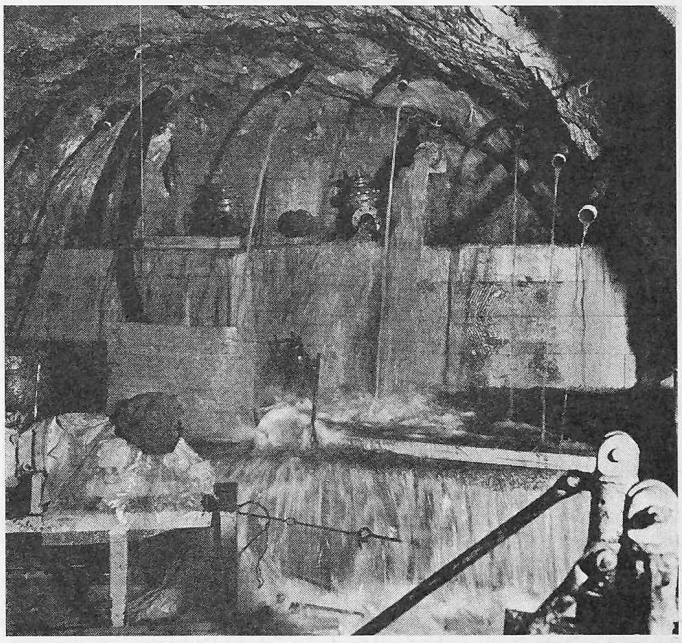


Bild 14. Druckstollen Sampuoir. Sicherungsmauer bei Stollenmeter 1942.50. Ersichtlich sind die noch offenen Schieber der Entwässerungsleitungen und die verrohrten Drainagebohrungen

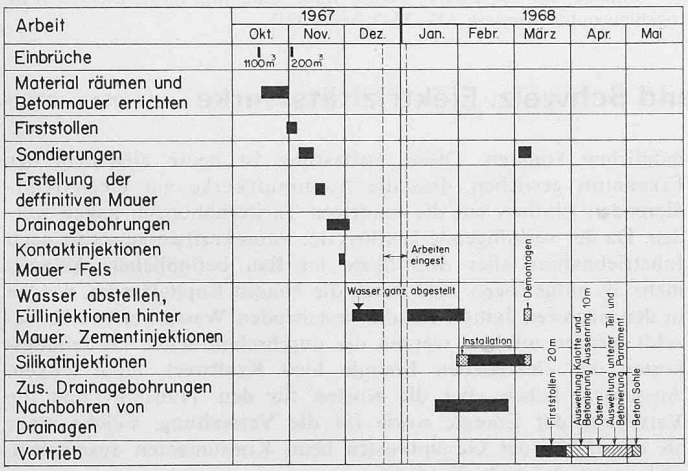


Bild 15. Druckstollen Sampuoir. Programm der ausgeführten Arbeiten bei der Durchfahrung der Kluft bei Stollenmeter 1942.50

werden konnte. Für die Ausführung dieser Arbeiten waren installiert und zeitweise gesamthaft im Betrieb: 4 Bohrmaschinen, 3 Injektoren. Im Stollen wurde ein Zementsilo aufgestellt, um die Injektionen mit Silozement ausführen zu können.

Die Spezialfirma setzte vom Monat Dezember 1967 bis anfangs März 1968 für die Ausführung dieser Arbeiten 20 Spezialisten und Gehilfen im 3-Schichtenbetrieb ein. Das Ausführungsprogramm zeigt die für die Überwindung dieser Kluft benötigte Zeit (Bild 15).

Kluft Stollenmeter 1993

Die Kluft bei Stollenmeter 1993 wurde bei der Ausführung einer 100 m langen Sondierbohrung von der Mauer bei Tm 1942.50 aus festgestellt. Bei einem Abstand des Vortriebes von 20 m von der Kluft wurden weitere Sondierungen ausgeführt. Diese Kluft, die stark geneigt war und einen Wasserdruck von noch 10 atü aufwies, wurde als zu gefährlich betrachtet, um ohne Konsolidation durchfahren zu werden, sie wurde in nicht gestörtem Zustande injiziert (Bild 16). Nach dem ersten Versuch erwies es sich als unmöglich, eine wirksame Zementmenge einpressen zu können. Die Konsolidation beschränkte sich daher auf die Ausführung von Silikatinjektionen. In 4 Kegeln

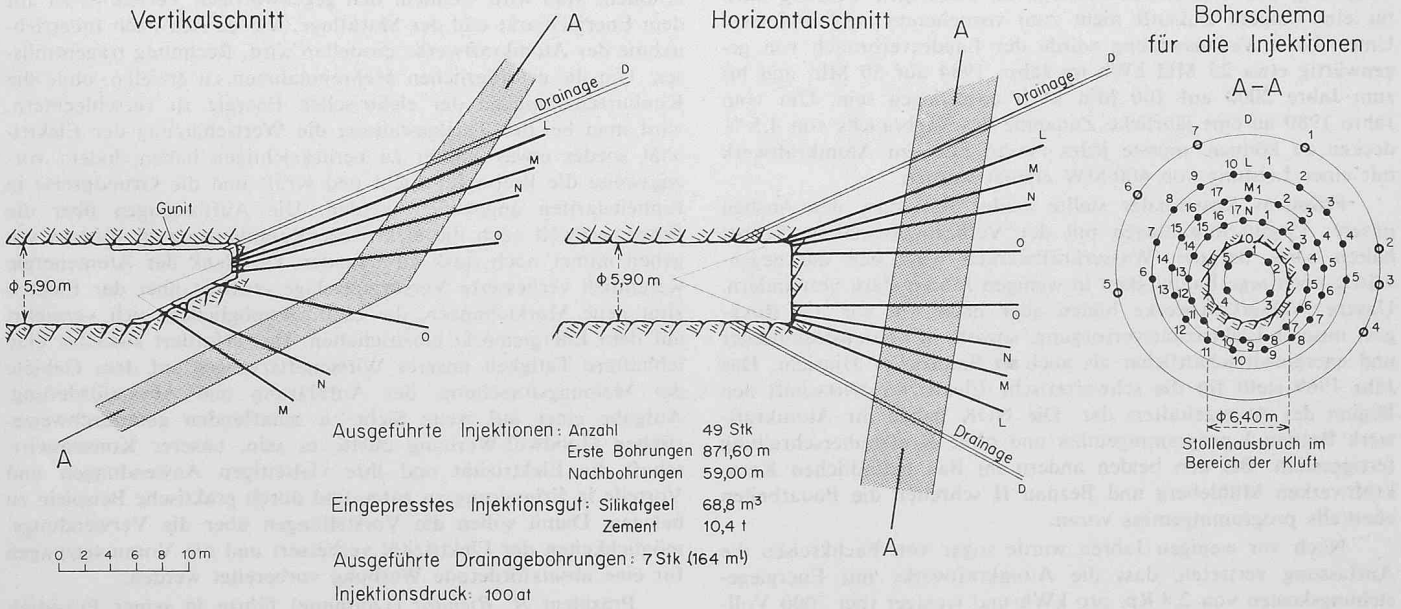


Bild 16. Druckstollen Sampuoir. Schema der Bohrungen für die Konsolidation und Dichtung der Kluft bei Stollenmeter 1993. Massstab 1:600

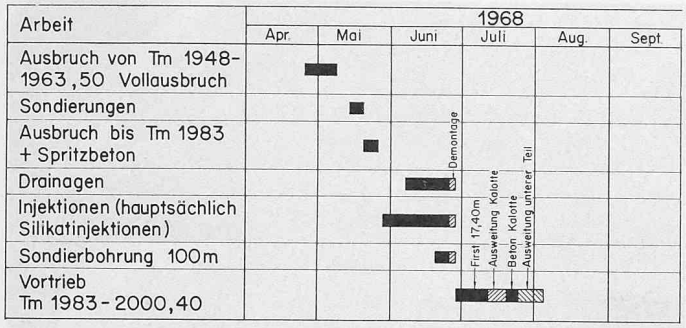


Bild 17. Druckstollen Sampuoir. Programm der ausgeführten Arbeiten bei der Durchfahrung der Kluft bei Stollenmeter 1993

angeordnet wurden 49 Bohrungen mit total 870 m Länge ausgeführt und es wurden 70 m³ Geel injiziert. Als Drainagen, mit welchen der Wasserdruck von 10 auf 5 atü reduziert wurde, dienten 7 Bohrungen. Bei der Ausführung der Silikatinjektionen wurde gegenüber der Kluft bei Stollenmeter 1942.50 wiederum einiges geändert. Der angewandte Injektionsdruck wurde auf 100 atü erhöht bei gleichbleibendem Geel. Dadurch konnten die Anzahl Bohrungen und die auszuführenden Bohrmeter reduziert werden, und damit konnte wieder Zeit eingespart werden. Wie aus einem eingehend studierten Beispiel von Silikatinjektionen im Dolomit in Süditalien gefolgert werden konnte, besteht die Möglichkeit, die Anzahl Bohrungen noch weiter zu reduzieren, dies aber auf Kosten des Vortriebes, da dann nur mit dem Pickhammer ohne jegliche Erschütterung ausgebrochen werden kann. Eine noch weiter gehende Reduktion der Schirme und Bohrungen konnte deshalb nicht in Betracht gezogen werden. Ein erschütterungsfreier Ausbruch hätte die durch eine Verminderung des Aufwandes für die Injektionen eingesparte Zeit mehr als aufgebraucht. Die Ausführung der Injektionen der Kluft bei Stollenmeter 1993 dauerte 1 Monat. Gleichzeitig wurden die Drainagen und eine 100 m lange Sondierbohrung ausgeführt. Der Ausbruch dieser Kluft dauerte ebenfalls rund 1 Monat (Bild 17).

Die nach Stollenmeter 1993 bis Stollenmeter 2128 angetroffenen 3 weiteren Klüfte konnten alle wieder mit einem Firststollen ohne Konsolidation durchfahren werden, obschon sie alle Breiten von 2 bis 3 m aufwiesen und mit dem gleichen zerriebenen Dolomitmaterial wie die konsolidierten Klüfte gefüllt waren. Dies war nur infolge des stark reduzierten Wasserdruckes möglich. Durch die nun während langer Zeit abgeführten grossen Wassermengen ist der Wasserdruck im vorliegenden Gebirge auf 3 atü abgesenkt worden.

Schlussfolgerungen

Wie an verschiedenen anderen Stollenbauten, so hat sich die Konsolidation und Dichtung von Kluftmaterial durch Zement und chemische Injektionen und die Verminderung des Wasserdruckes durch Drainagen auch im Baulose Sampuoir der Engadiner Kraftwerke voll bewährt. Hier konnte die angewandte Technik infolge der sich wiederholenden Anwendung im gleichen Gestein immer wieder verbessert und den Gegebenheiten angepasst werden.

Der Druckstollenabschnitt Sampuoir–Laschadura der Engadiner Kraftwerke konnte am 2. April 1969 durchgeschlagen werden.

Adresse des Verfassers: *Peider Könz*, dipl. Ing. ETH, Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, 7549 Ardez GR.

Schweiz. Elektrotechnischer Verein und Verband Schweiz. Elektrizitätswerke

DK 061.2 :621.3

Der Schweizerische Elektrotechnische Verein (SEV) und der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hielten vom 6. bis 8. September 1969 in St. Gallen ihre Jahresversammlung ab. Die beiden Fachvereine waren dabei Gäste des Elektrizitätswerkes der Stadt St. Gallen, der St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke AG und des Kraftwerkes Sernf-Niederenbach AG.

An der Generalversammlung des VSE vom 6. September 1969 äusserte Präsident *A. Rosenthaler* (Basel) in einem kurzen Überblick einige Gedanken zur heutigen Lage der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft. Der Verbrauchszuwachs hat in den letzten fünf Jahren die früher übliche Zuwachsrate von über 5 % nicht mehr erreicht. Das laufende Jahr vom 1. Oktober 1968 bis 30. September 1969 präsentiert sich erstmals wieder mit günstigeren Zahlen. Ob diese Zuwachsrate auch für spätere Zeiten noch realistisch ist, kann nur schwer beurteilt werden. Es gibt gute Gründe, die für eine Verlangsamung sprechen, hingegen ist eine Steigerung des Elektrizitätskonsums im bisherigen Umfang auch für eine längere Zukunft nicht zum vorneherein ausgeschlossen. Unter dieser Voraussetzung würde der Landesverbrauch von gegenwärtig etwa 25 Mld kWh im Jahre 1984 auf 50 Mld und bis zum Jahre 2000 auf 100 Mld kWh angestiegen sein. Um vom Jahre 1980 an eine jährliche Zunahme des Verbrauchs von 4,5 % decken zu können, müsste jedes zweite Jahr ein Atomkraftwerk mit einer Leistung von 600 MW erstellt werden.

Präsident Rosenthaler stellte weiter fest, dass der Ausbau unserer Produktionsanlagen mit der Verbrauchszunahme Schritt halten wird. Bei den Wasserkraftwerken wird sich die gegenwärtig noch rege Bautätigkeit in wenigen Jahren stark vermindern. Unsere Wasserkraftwerke bilden aber nach wie vor das Rückgrat unserer Elektrizitätsversorgung, sowohl in betriebstechnischer und energiewirtschaftlicher als auch in finanzieller Hinsicht. Das Jahr 1969 stellt für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft den Beginn des Atomzeitalters dar. Die NOK haben ihr Atomkraftwerk Beznau I programmgemäss und ohne Kostenüberschreitung fertiggestellt. Bei den beiden andern im Bau befindlichen Kernkraftwerken Mühleberg und Beznau II schreiten die Bauarbeiten ebenfalls programmgemäss voran.

Noch vor wenigen Jahren wurde sogar von Fachkreisen die Auffassung vertreten, dass die Atomkraftwerke mit Energiegestehungskosten von 2,8 Rp. pro kWh und weniger (bei 7000 Vollastbetriebsstunden im Jahr) eine Reduktion der *Strompreise* ermöglichen könnten. Diese Auffassung ist heute allgemein der Erkenntnis gewichen, dass die Atomkraftwerke nur einen retardierenden Einfluss auf die künftigen Tariferhöhungen haben werden. Da der verbilligende Einfluss der Atomkraftwerke selbst nach Inbetriebnahme aller drei heute im Bau befindlichen Anlagen mehr als aufgewogen wird durch die höhern Kapitalzinsen, welche in den nächsten Jahren für die bestehenden Wasserkraftwerke bezahlt werden müssen, werden die durchschnittlichen Gestehungskosten der elektrischen Energie loco Kraftwerk nicht sinken. Ausserdem haben aber die Kosten für den Transport und die Verteilung der Energie sowie für die Verwaltung, welche mehr als die Hälfte der Gesamtkosten beim Konsumenten ausmachen, andauernd steigende Tendenz.

Bei den in letzter Zeit vorgenommenen und bei den noch bevorstehenden Tarifänderungen kann es sich nicht darum handeln, lediglich alle Preise um einen bestimmten Prozentsatz zu erhöhen. Man wird vielmehr den gegenwärtigen Verhältnissen auf dem Energiemarkt und der Marktlage, wie sie sich nach Inbetriebnahme der Atomkraftwerke einstellen wird, Rechnung tragen müssen. Um die erforderlichen Mehreinnahmen zu erzielen, ohne die Konkurrenzfähigkeit der elektrischen Energie zu verschlechtern, wird man bei der Tarifgestaltung die Wertschätzung der Elektrizität wieder etwas stärker zu berücksichtigen haben, indem vorzugsweise die Preise für Licht und Kraft und die Grundpreise in Einheitstarifen angehoben werden. Die Auffassungen über die Frage, wieweit auch die elektrische Raumheizung zu fördern sei, gehen immer noch stark auseinander. Die dank der Atomenergie wesentlich verbesserte Versorgungslage eröffnet aber der Elektrizität neue Marktchancen, die es ihr ermöglichen, sich vermehrt auf dem Energiemarkt einzuschalten. Das erfordert zunächst eine lebhaftere Tätigkeit unseres Wirtschaftszweiges auf dem Gebiete der Meinungsforschung, der Aufklärung und Absatzförderung. Aufgabe einer auf weite Sicht zu schaffenden gesamtschweizerischen Goodwill-Werbung dürfte es sein, unserer Konsumwirtschaft die Elektrizität und ihre vielseitigen Anwendungen und Vorteile in Erinnerung zu rufen und durch praktische Beispiele zu belegen. Damit sollen die Vorstellungen über die Verwendungsmöglichkeiten der Elektrizität verbessert und die Voraussetzungen für eine absatzfördernde Werbung vorbereitet werden.

Präsident *R. Richard* (Lausanne) führte in seiner Präsidialansprache an der Generalversammlung des SEV vom 7. September