

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 81 (1963)  
**Heft:** 28

**Artikel:** Abpressversuche an einem mit Metallfolien gedichteten Versuchsstollen  
**Autor:** Veigl, Wolfgang  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-66836>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Abpressversuche an einem mit Metallfolien gedichteten Versuchsstollen

Von Wolfgang Veigl, dipl. Ing. S. I. A., Motor-Columbus AG., Baden

DK 627.842

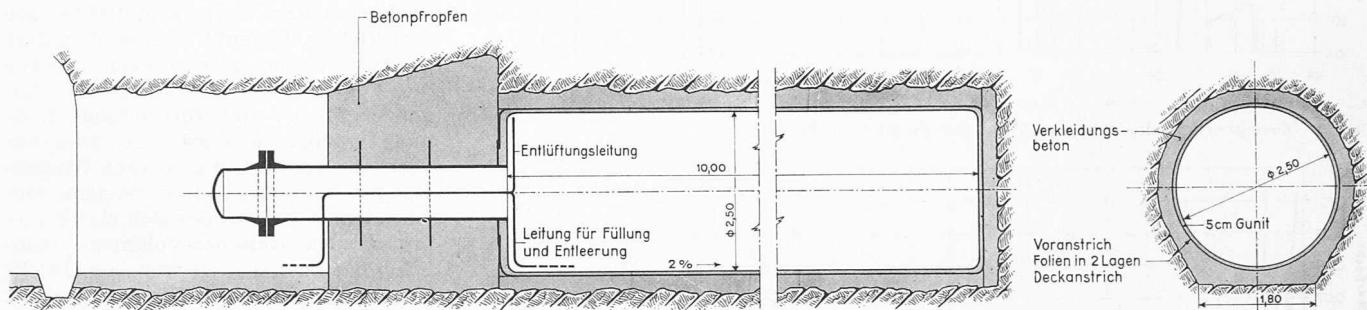


Bild 1. Versuchskammer bei der Kavernenzentrale Ferrera, Längs- und Querschnitt 1:120

### 1. Vorwort

Im Anschluss an den soeben veröffentlichten Aufsatz über neue Möglichkeiten zur wasserdichten Druckstollenauskleidung<sup>1)</sup> soll im folgenden noch über den Abpressversuch der mit Flexolite-Kupferfolie ausgekleideten Druckstollenversuchskammer näher berichtet werden. Bei der zur wasserdichten Auskleidung in Druckstollen verwendeten Flexolitefolie handelt es sich um eine 0,1 mm starke Kupferfolie mit besonderer Prägung, die beidseitig mit reinem oxydiertem und besonders alterungsbeständigem Erdölbüttenen (45/80) überzogen ist und in 67 cm breiten Rollen geliefert wird<sup>2)</sup>. Die Gesamtstärke der Folie beträgt ungefähr 2 mm.

### 2. Versuchsanordnung

Kurz vor der Einmündung des Entlastungsstollens in die Maschinenkaverne Ferrera der Kraftwerke Hinterrhein wurde ein kurzer Seitenstollen ausgebrochen, der ganz in massigen und trockenen Rofnageneis zu liegen kam. Die Verkleidung bestand aus 20 cm starkem Beton P 300, dessen inniger Kontakt mit dem umgebenden Fels durch entsprechende Niederdruckinjektionen gesichert wurde. Nach der Betonierung des 2,70 m starken, im Gebirge verzahnten Abschlusszapfens ergab sich eine 10 m lange Kammer mit einem Innendurchmesser der betonierten Felsverkleidung von 2,60 m (Bild 1).

Der Einstieg erfolgte durch ein im Abschlusszapfen eingebettetes Panzerrohr, das auf der Aussenseite mit einem massiven Stahldeckel verschlossen werden konnte. Wasser- und Lüftungsleitungen wurden ebenfalls durch diesen Einstieg in das Innere der Kammer geführt. Nachdem alle durch die Holzschalung bedingten, gröberen Unebenheiten an der Betonoberfläche abgenommen oder ausgeglichen worden waren, erfolgte ein Kaltanstrich mit Bitumenemulsion. Auf die derart grundierte Betonunterlage wurden die Folienbahnen in zwei Lagen unter Verwendung von Gasflammerhitzern aufgeschweißt. Die Stöße jeder Lage überlappten sich gegenseitig um 10 cm, die beiden Lagen wiederum wurden um eine halbe Bahnbreite gegeneinander versetzt. Bild 2 zeigt eine fertig verlegte Strecke im Zuleitkanal Ferrera. Zuletzt wurde die ganze Oberfläche des Kammerinnern mit Heissbitumen 45/80 überstrichen. Zum Schutz der Dichtung vor mechanischen Einflüssen und als Stützring folgte schliesslich eine 5 cm starke Gunitschicht, die in mehreren Arbeitsgängen und unter Kontrolle der Schichtstärke aufgespritzt wurde. Die Druckwasserzufluss geschah mittels einer elektrisch betriebenen Hochdruckpumpe, die das nötige Wasser aus einem grossen Messgefäß ansog.

1) SBZ 1963, H. 26, S. 475 und H. 27, S. 487.

2) Flexolite-Kupferfolie der Firma Kaspar Winkler & Co., Zürich.

### 3. Versuchsgang

Nachdem die Kammer am 28. Mai 1960 gefüllt worden war, wurde 3 Tage später mit den stufenweisen Druckversuchen begonnen. Der Druckverlauf des Versuchsprogrammes geht aus Bild 3 hervor. Die waagrechten Druckbegrenzungen gelten für diejenigen Zeitspannen, während welchen zum Zwecke konstanten Druckes periodisch Wasser nachgepumpt worden war. Die schrägen Linien zeigen den Druckabfall ohne Wasserzufluss. Die Bilder 4 und 5 vermitteln einen Überblick über die gepumpten Wassermengen, bezogen auf eine Oberfläche von 1000 m<sup>2</sup>, die zur Erhaltung des jeweiligen Druckes nötig waren. Es fällt auf, dass diese Mengen pro Zeiteinheit während der ersten Stunde sehr stark abnahmen und nach 2 bis 3 Stunden einen zeitlich nahezu konstanten Wert annahmen. Dies geht besonders deutlich aus

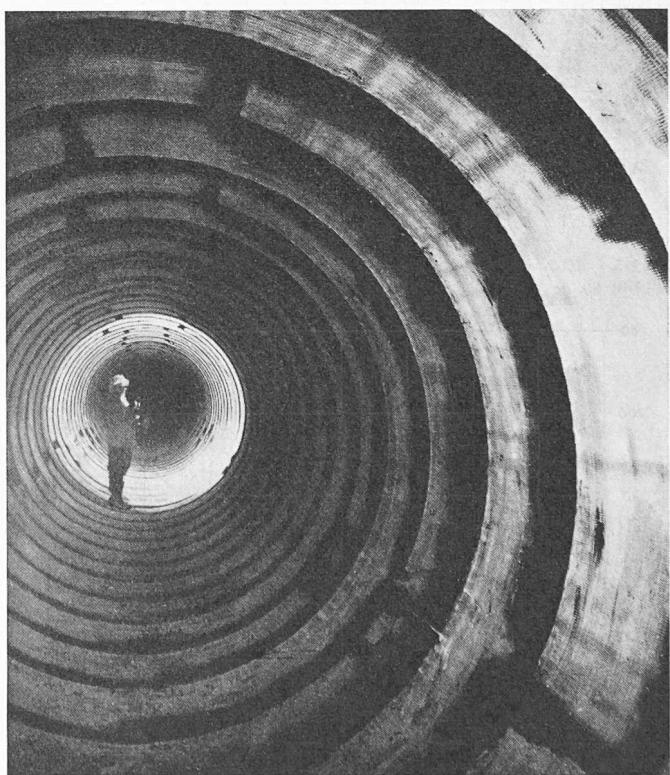


Bild 2. Zuleitungskanal bei der Kavernenzentrale Ferrera, mit Flexolite-Folie ausgekleidet

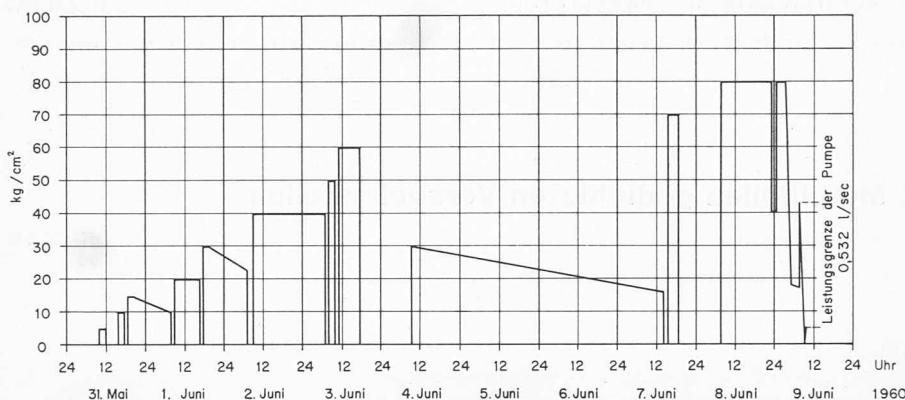


Bild 3. Druckverlauf der Abpress-Versuche im Stollen Ferrera

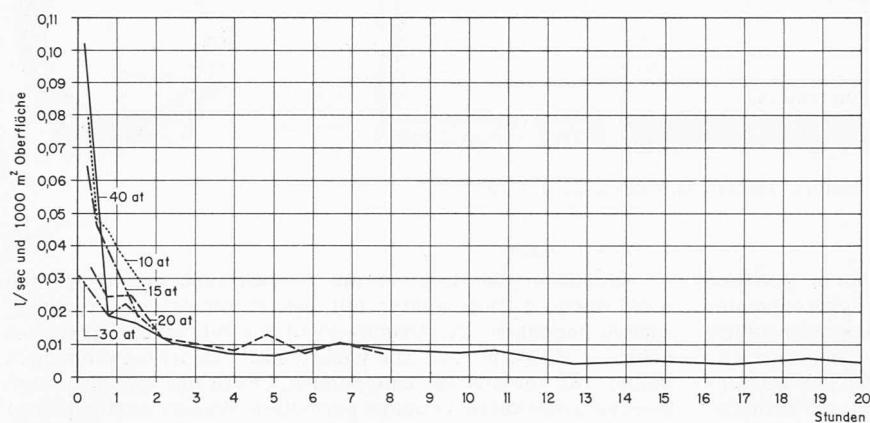


Bild 4. Für die Druckhaltung gepumpte Wassermengen, Stufen 10 bis 40 at

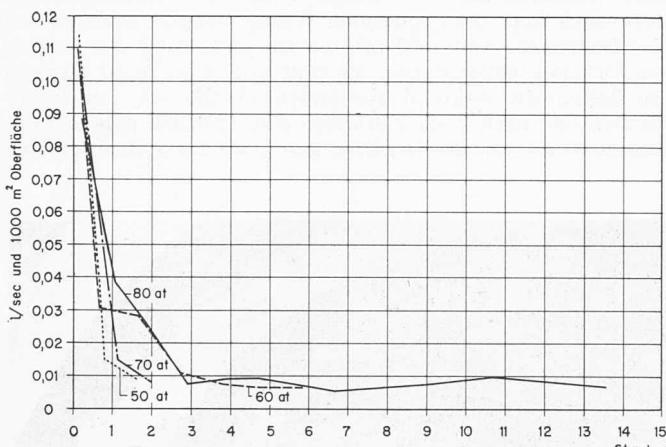


Bild 5. Für die Druckhaltung gepumpte Wassermengen, Stufen 50 bis 80 at

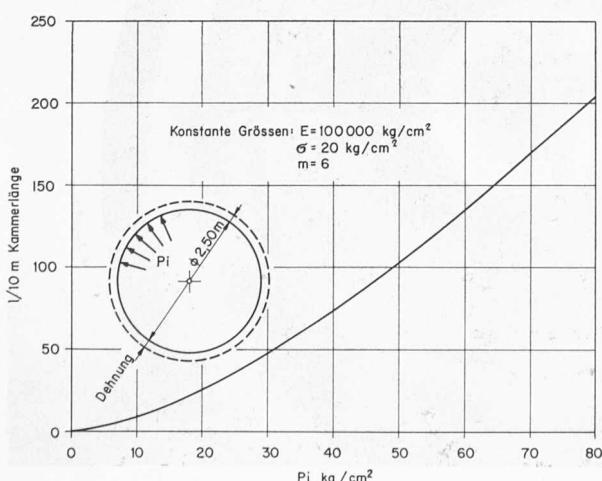


Bild 6. Volumenvergrößerung des Versuchsstollens in Abhängigkeit vom Druck

den beiden Dauerversuchen bei Drücken von 40 und 80 at hervor. Zahlenmäßig schwanken die zur weiteren Druckerhaltung nötigen Wassermengen zwischen 0,005 und 0,01 l/s und 1000 m².

Der in der Praxis bei einem Druck von beispielsweise 10 at übliche Grenzwert, bei welchem ein Druckstollen gerade noch als dicht bezeichnet werden kann, beträgt 1 l/s und 1000 m². Die hier erreichten Werte sind 100 bis 200 mal kleiner. Bedenkt man weiter, dass ein Druckstollen oder in unserem Falle die Versuchskammer durch den steigenden Druck eine fortlaufende Dehnung erfährt, so wird klar, dass vor allem die anfänglich grösseren Wassermengen keine Verluste darstellen, sondern dem Auffüllen des sich stetig vergrössernden Kammer-Volumens dienen. Aber auch die zur weiteren Druckerhaltung nötigen, nahezu konstanten Wassermengen lassen sich wenigstens teilweise durch das Kriechen des umgebenden Felsens erklären. Aehnliche Erscheinungen waren übrigens bei einem Panzerrohrversuch im Jahre 1958 in einem unmittelbar benachbarten Versuchsstollen aufgetreten.

Wie gross derartige Volumenvergrösserungen unter bestimmten Voraussetzungen sein können, geht aus Bild 6 hervor. Bei einem Druck von 60 at zeigten sich an der luftseitigen

Betonoberfläche des Kammerabschlusses plötzlich vier Risse, die, vom stählernen Mannloch ausgehend, radial bis zum Fels reichten. Ihre Klaffung betrug im Mittel 0,3 mm und vergrösserte sich bei einem Druck von 80 at auf im Mittel 0,6 mm; sie blieben vollkommen trocken. Dies bedeutet, dass die Dichtung sie in einwandfreier Weise zu überbrücken vermochte. Wie aus Bild 3 hervorgeht, musste man den Druck von 80 at, nachdem er sich während 15 Stunden nahezu ohne Verluste gehalten hatte, auf die Hälfte absenken. Dies war nur eine Vorsichtsmassnahme, da in einer Entfernung von rd. 100 m grössere Sprengungen vorgenommen werden mussten. Nach Verlauf einer Stunde gelang es ohne weiteres, den Druck von 80 at wieder zu erreichen. Sofort nach Erreichen der 80-at-Marke stellten sich wieder die selben konstanten Verhältnisse ein, wie sie vor der Druckabsenkung vorgelegen hatten. Es war vorgesehen, diesen Druck nochmals 8 Stunden zu halten und dann, nach kurzer Absenkung auf Null, auf 100 at zu gehen. Dies wäre übrigens die Grenze des Möglichen gewesen, da der Kammerabschluss für diesen Druck dimensioniert war. Leider wurde diese Absicht durch nicht gemeldete Sprengarbeiten in der Nähe der Kammer zunichte gemacht. Die starken Druckwellen vermochten die Dichtung zu zerstören und der Druck sank in vier Stunden, zuerst schnell, dann immer langsamer, bis auf 18 at ab. Zu diesem Zeitpunkt entschloss man sich, mit der vollen Pumpenleistung noch einmal den Druck zu erhöhen, und erreichte nur mehr 42 at. Der Versuch war damit beendet und die Kammer wurde entleert. Die früher erwähnten Risse an der Aussenseite des Kammerabschlusses zeigten nach dem Bruch der Dichtung auf ihren ganzen Längen schlagartig Wasseraustritte. Das selbe Bild bot sich am ganzen Umfang des betonierten Kammerabschlusses zum umgebenden Fels.

Nach der Kammerentleerung war das erwartete Rissbild zu sehen. Beide Stirnflächen des Gunits hatten sich infolge der Längsdehnung durch je einen über den ganzen Umfang verlaufenden Riss von der Kammerröhre getrennt. Im Scheitel der Kammer klaffte infolge der Umfangsdehnung ebenfalls ein durchgehender Riss, der an die beiden Umfangsrisse der Stirnwände in den höchsten Punkten anschloss. Andere Beschädigungen waren nicht zu bemerken. Ein an

der bergseitigen Stirnwand willkürlich herausgemeisseltes Gunitstück haftete fest am Bitumenüberzug der Kupferfolie. Diese wiederum hatte über die Bitumenunterlage innigen Kontakt mit dem Beton der Felsverkleidung.

#### 4. Schlussfolgerungen

Das Gesamtergebnis des Versuches übertraf die Erwartungen bei weitem. Wenn man auch berücksichtigt, dass die Felsverhältnisse gut und die Arbeitsausführung entsprechend dem, was auf dem Spiele stand, sorgfältig war, so kann man trotzdem von einem guten Erfolg sprechen. Besonders der Umstand, dass die erwähnten Risse im Abschlusszapfen sowie dessen Grenze mit dem umgebenden Fels vor dem Bruch der Dichtung völlig trocken waren, im Augenblick des Bruches jedoch schlagartig und durchgehend Wasseraustritte zeigten, beweist eindeutig, dass es im Bereich höherer Drücke sicher nur die Foliendichtung war, welche das Wasser am Austritt hinderte.

Ueber die beiden Bestandteile der Dichtung, das Kupfer und das Bitumen, braucht nichts gesagt zu werden. Beide Materialien sind als Dichtungen, sowohl einzeln als auch

kombiniert, seit langem bekannt. Von entscheidender Bedeutung ist hier die Verteilung der Aufgaben, die beiden Elementen zufallen. Der eigentliche Dichtungseffekt liegt zum grössten Teil beim Kupfer. Dieses wird vom Beton nicht angegriffen und vermag dank der besonderen Prägung gewisse Dehnungen in jeder Richtung ohne eigentliche Beanspruchung des Materials zu übernehmen. Das Bitumen hat hauptsächlich die Aufgabe, die einfache Applikation zu ermöglichen und die nötigen Stossverbindungen herzustellen, wobei ihm auch eine gewisse Dichtungsfunktion zufällt. Grosse Bedeutung für den Erfolg der Dichtung hat der Zustand der Unterlage, auf welche die Folienbahnen aufgebracht werden. Es ist anzustreben, dass die Betonunterlage nicht nur eben, sondern auch möglichst trocken ist.

Auf Grund der guten Versuchsergebnisse wurde die Flexolitefolie bei den Kraftwerken Hinterrhein zur wasserdiichten Auskleidung in zwei Stollenstrecken und in einer Wasserschlosskammer angewendet. Hierüber wurde bereits in dem eingangs erwähnten Aufsatz berichtet.

Adresse des Verfassers: Wolfgang Veigl, Simonweg 1, Nussbaum bei Baden.

## Neuere Peltonturbinen der Ateliers des Charmilles

Nach Mitteilungen der Ateliers des Charmilles S. A., Genf\*)

DK 621.241.2

In den Jahren 1929 bis 1935 wurde das Speicherwerk Dixence gebaut, welches das Gefälle vom Speichersee im Val des Dix bis zum Rhonetal in einer Stufe ausnützt. Die damals von den Ateliers des Charmilles S. A., Genf, gelieferten Peltonturbinen (5 Doppelturbinen von je 45 000 PS und eine Zusatzturbine von 7050 PS) waren lange Zeit die Wasserturbinen mit dem grössten Gefälle der Welt. Dieses bewegt sich zwischen 1562 und 1622 m netto. Aus neuerer Zeit sind die Turbinen der Zentralen Salanfe-Miéville<sup>1)</sup> und Le Pouget<sup>2)</sup> (Frankreich) hervorzuheben. Im ersten Fall sind im Hinblick auf das grosse Gefälle von 1321 bis 1447 m netto erstmals neuartige Einlaufdüsen verwendet worden. Im zweiten Fall handelt es sich um vertikalachsige Turbinen mit zwei Einlaufdüsen. Seither hatte die Genfer Firma Gelegenheit, eine Reihe interessanter Lieferungen auf diesem Gebiet auszuführen, die nachfolgend beschrieben werden sollen. Es erscheint zweckmäßig, vorher einige Bemerkungen allgemeiner Art über die Hauptteile dieser Maschinengattung anzuführen; es sind das die Einlaufdüse, das Gehäuse und das Laufrad.

### 1. Die Einlaufdüse

Für die konstruktive Weiterentwicklung dieses Bauteiles war die Erkenntnis massgebend, dass die Gefahr einer Zerstreuung des austretenden Wasserstrahls vor allem mit der Reynoldszahl und der Störung der Strömung durch die der Düse vorgeschalteten Organe zunimmt. Gefährdet sind also Turbinen mit grossem Strahldurchmesser und hoher Austrittsgeschwindigkeit aus der Düse. Demzufolge müssen bei ihnen die Einlauforgane nach strömungstechnischen Gesichtspunkten besonders sorgfältig ausgebildet sein.

\*) Als Grundlage des von uns ins Deutsche übersetzten Aufsatzes dienten die Veröffentlichungen von Ing. M. Nebel in «Informations techniques Charmilles» No. 7 und 8 sowie weitere Angaben der Firma. Die Red.

<sup>1)</sup> Beschreibung in SBZ 1951, H. 43. S. 599—602.

<sup>2)</sup> Beschreibung in SBZ 1954, H. 17. S. 231—239.

Bild 1. Vergleich verschiedener Ausführungsarten von gradlinigen Einlaufdüsen für Peltonturbinen grosser Leistungen. Der Maßstab wurde so gewählt, dass die Strahldurchmesser gleich gross sind.

1 Fionnay Grande Dixence 3 Rothenbrunnen  
2 Miéville 4 Ackersford

Diese Forderung veranlasste die Konstrukteure der Firma Charmilles schon im Jahre 1950, bei den Turbinen der Zentralen Fionnay der Grand-Dixence S. A. und Reisseck der Österreichischen Draukraftwerke AG., welche eine besonders grosse Leistung je Düse aufweisen, die damals noch all-

