

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 107/108 (1936)
Heft: 9

Artikel: Erfahrungen aus dem Druckstollenbau
Autor: Kocher-Preiswerk, H.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48363>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

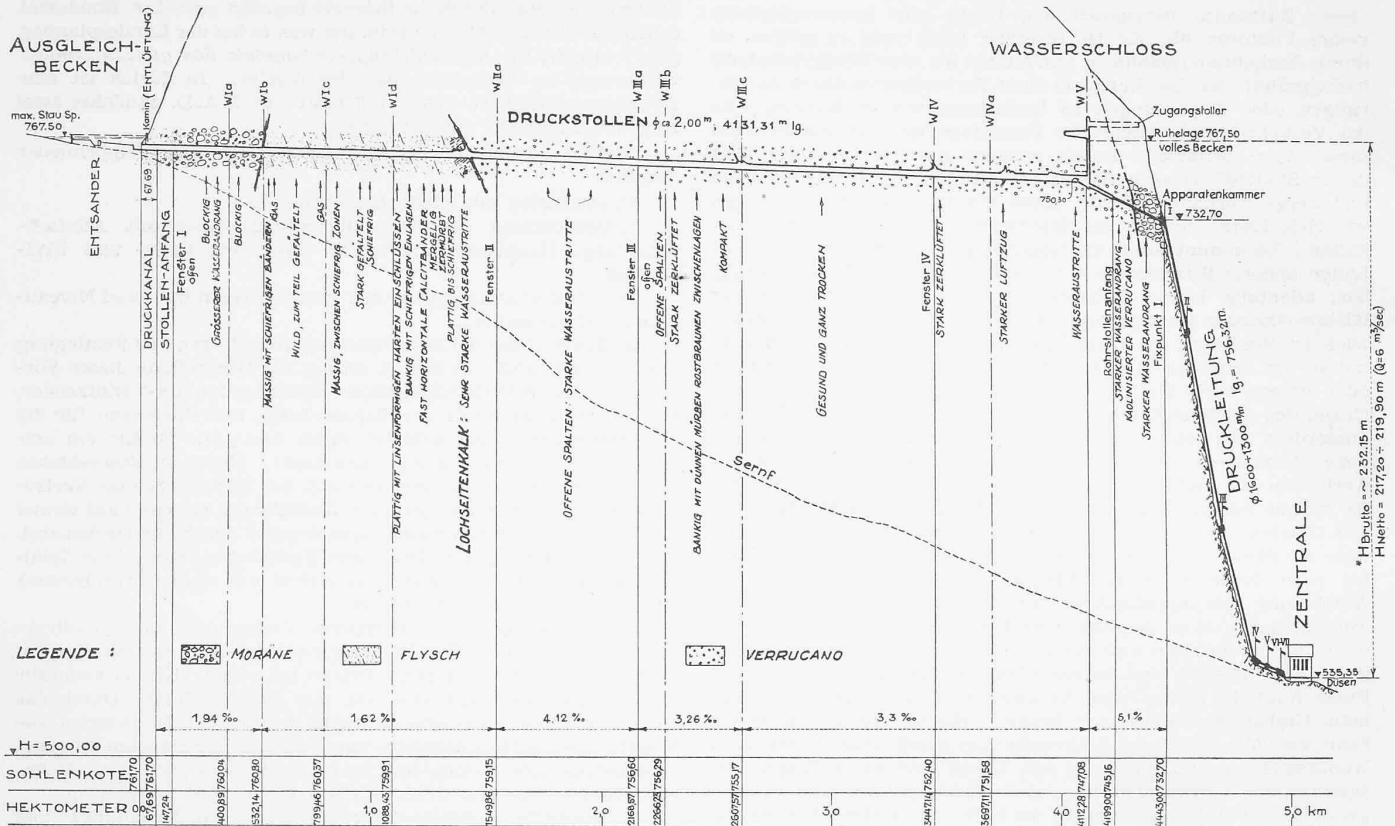


Abb. 4. Längenprofil des Sernfwerk-Druckstollens (und Druckleitung), mit geologischen Aufschlüssen und Wasserandrang. — 1 : 30 000 / 1 : 3 000.

Dingen aufklären und wach halten. Hierfür müssen Sie die Stadt und alles was darin fleucht und krecht, lieb haben und Sie müssen einen fähigen Führer finden — und das ist dann der Chef des Stadtplanbureau.

In der ausgiebig benützten Diskussion erläuterte zunächst Stadtbaumeister F. Hiller die heutige Organisation und den Betrieb der beiden Baudirektionen. Er betont, dass das Alignementsgesetz umgearbeitet werden müsse, insbesondere sollten die Alignementspläne nicht der Bevölkerung unterbreitet, sondern vom Gemeinderat genehmigt werden können. Stadtbaumeister Hiller berichtet, dass der Stadtpräsident diesbezüglich eine Vorlage an den Gemeinderat gerichtet habe. Stadtingenieur Reber hebt die städtebauliche Auswertung der Alignementspläne hervor und ist ebenfalls wie Stadtbaumeister Hiller für die Schaffung eines Stadtplanbureau. Er weist darauf hin, dass er bereits vor Jahresfrist einen entsprechenden Bericht der Oberbehörde eingereicht habe. Architekt Hubacher beantragt folgende Fragen abzuklären: 1. Schaffung eines Planungsbureau, 2. Aufgabenteilung und Eingliederung in die Bauverwaltung. Er macht hierzu entsprechende Vorschläge, insbesondere die Baudirektionen I und II zusammenzulegen und einem Baudirektor zu unterstellen. Die Kollegen Beyeler, Lanz, Harry, Roth, Bonstetten führen Beispiele an aus der Praxis, oder bringen ergänzende Vorschläge; auch wird die noch ausstehende Beantwortung der Motion Hubacher im Gemeinderat gefordert. Das weitere Vorgehen, das sich aus der Diskussion der Kollegen Rüfenacht, Moser, Mathys, Zeerleder ergab, gipfelte darin, dass

1. Ein grundsätzlicher Bericht betreffend Schaffung des Stadtplanbureau dem Gemeinderat einzureichen sei,
2. dass die Beantwortung der Motion Hubacher durch den Gemeinderat nachzusuchen sei, und
3. dass ein aufklärender Artikel in die Tagespresse gebracht werde.

Unter Verdankung des äusserst interessanten, umfassenden und aufschlussreichen Vortrages und mit der Feststellung, dass alle Anwesenden die Schaffung eines Stadtplanbureau einmütig befürworteten, schloss der Vorsitzende, Architekt Rüfenacht, die Sitzung um 23¹/₂ Uhr.

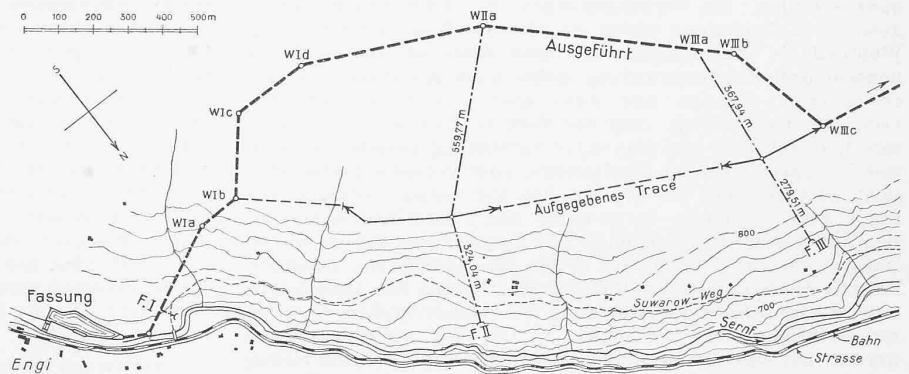


Abb. 5. Lageplan der Verlegung bergwärts des Sernfwerk-Druckstollens. — 1 : 20 000.

Erfahrungen aus dem Druckstollenbau.

Von Ing. H. F. KOCHER-PREISWERK, Basel-Riehen. (Schluss von Seite 83.)

Auch beim Sernfwerk wurden die Stollenarbeiten durch Wasserandrang sehr erschwert. Hier waren es hauptsächlich Tagwässer, die durch den Gehängeschutt und den stark zerklüfteten Verrucano den Weg in den Stollen fanden. Mit Ausnahme einiger starker, konzentrierter Quellen waren die Wassereintritte über grössere Strecken verteilt, nach längeren Regenperioden und besonders zur Zeit der Schneeschmelze am stärksten. Schon in den Fenstern II und III (Abb. 4 u. 5) wurden soviel wasserführende Klüfte angeschnitten, dass vor dem Anschlagen des Hauptstollens die Entwässerung der Fenster durchgehender Zementrohrleitungen von 20 bis 60 cm \varnothing ausgeführt werden mussten. Durch die Stollenverlegung bzw. nachträgliche Verlängerung des Fensters II erhielt dieses im letzten Teil ein ganz geringes Gefälle, sodass die erstellte Fensterdrainage zur Zeit der Schneeschmelze nicht mehr genügte und zu ihrer Entlastung im Winkelpunkt W II a vorübergehend eine Pumpe aufgestellt werden musste. Nach kaum 100 m wurde der Vortrieb des Richtstollens im fallenden Ast II—III wegen starken Wassereintrüchen (Abb. 6 und 7) eingestellt und das verbleibende Stollenstück vom Fenster III aus aufgeföhren. Auch in der Strecke F. I bis W I b musste der Vortrieb bei Erreichung des anstehenden Fels (Flyschgrenze) wegen den noch nicht abgeklärten geologischen Verhältnissen zwischen Fenster II und III volle sechs Monate eingestellt bleiben. Da es nicht ratsam schien, diese

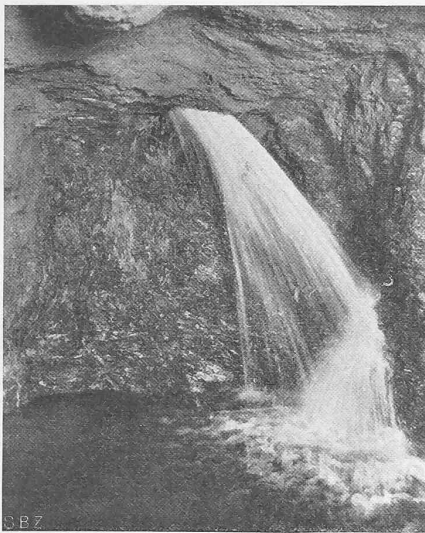


Abb. 6. Wassereintrich von rd. 1000 l/min. 103 m abwärts von WP II gegen III.

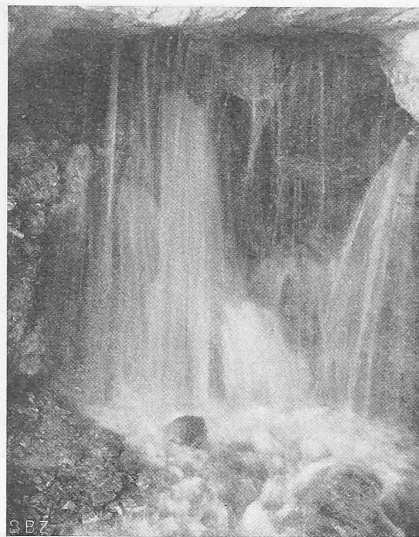


Abb. 7. Wassereintrüche und Firstregen im Sernfstollen, Strecke WP III gegen II.



Abb. 8. Quellfassungen im mit Sika abgedichteten Stollen III-II, 330 m oberhalb von W III a.

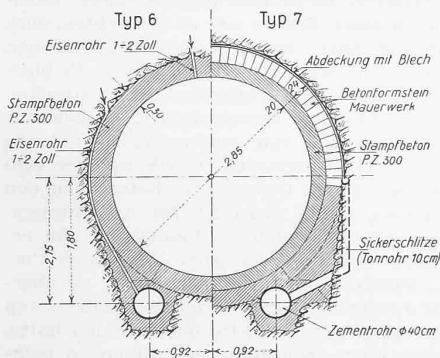


Abb. 9. Stollenprofile Achenseewerk. — Masstab 1:100. —

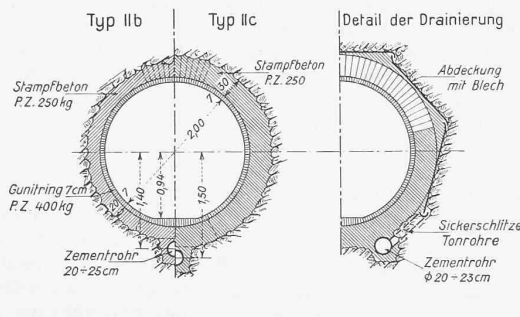


Abb. 10. Stollenprofile Sernfwerk.

Strecke mit geringer Ueberlagerung längere Zeit im Einbau stehen zu lassen, wurde die Ausmauerung vor dem Durchschlag dieses Stollenabschnittes in Angriff genommen, was eine künstliche Wasserhaltung bedingte. Die in Sohlenmitte verlegte Drainageleitung von 20 cm \varnothing liess man beim Winkelpunkt W I b in einen Pumpensumpf münden, aus dem das Wasser durch zwei Pumpen von 1000 \div 1200 l/m durch den Stollen zurück ins Fenster I gefördert wurde. Diese Drainageleitung, die auch später nach abwärts keine Verlängerung erhielt, schloss man bei Bauvollendung, während die andern zur ständigen Entwässerung durch die Fenster II und III sowie den Rohrstollen, offen blieben. Eine Einführung der Bergwässer war hier im Gegensatz zum Achenseestollen im allgemeinen nicht möglich, da der Wasserdruck zu gering war. Nur einzelne unter hohem Druck stehende Quellen wurden mittels Rückschlagklappen in den Stollen eingeleitet (Abb. 8). Die Abflussmengen in den einzelnen Stollenabschnitten wechselten ziemlich stark, maximal betragen sie beim Fenster I rd. 2000 l/min, beim Fenster II rd. 7300, beim Fenster III rd. 10 000 und beim Rohrstollen rd. 1200 l/min (vergl. «SBZ» Band 106, Nr. 2, auch als Sonderdruck erschienen).

6. Stollenauskleidung.

Der Druckstollen unterscheidet sich vom Tunnel vor allem durch seine Auskleidung, der hier je nach den Verhältnissen ganz verschiedene Aufgaben zugewiesen werden. Einmal hat sie wie im Tunnelbau die äussern Kräfte (Gebirgsdruck) aufzunehmen, sie muss aber auch dem Innen- und Aussenwasserdruck widerstehen und soll schliesslich Wasserverluste verhindern. Das Problem des Druckstollenbaues ist bei uns eigentlich erst 1920 durch den Misserfolg beim Ritomstollen aufgeworfen worden; es war verdienstlich, dass die SBB, durch Bekanntgabe der von ihnen veranlassten Untersuchungen über die Ursachen der Risse im stark überhöhten Stollenprofil, den neuzeitlichen Druckstollenbau gefördert haben¹⁾.

¹⁾ Vgl. «SBZ», Bd. 76, S. 19 ff. (10. Juli 1920), über die Ursachen S. 173 ff. Ferner techn. Darstellung der Stollenrisse in Bd. 81, S. 267* (mit Plänen), Juni 1923.

Stollens in Frage stellen können. Bei Anlagen, die in technischer Beziehung so ausserordentlich schwierig sind, muss die Kostenfrage in den Hintergrund treten, denn alle spätern Verbesserungen sind in der Regel sehr kostspielig, haben längere Betriebsunterbrechungen zur Folge, und bleiben doch Flickwerk und stets wunde Stellen im Betrieb einer Anlage.

Der Achenseestollen, der einen Innendruck von 20 bis 40 m W. S. aufweist, durchfährt in der Hauptsache standfeste und dichte Wetterstein- und Guttensteinalkschichten, die aber ziemlich ausgewaschene Klüfte aufweisen. Es wäre nun möglich gewesen, nur die Klüfte auszumauern und mit einem Eisenbetonrohr zu überbrücken, den Stollen aber im übrigen unverkleidet zu lassen. Vorsichtshalber hat sich die Bauherrschaft auf Anraten ihres beratenden Ingenieurs Dr. Ing. H. E. Gruner doch entschlossen, auch diese Stollenstrecke mit einer Stampfbeton-Auskleidung von 20 cm Stärke zu versehen. Nur die in Rauh- wacke oder in Gehängeschutt liegenden Strecken wurden mit einer kombinierten Auskleidung versehen (Abb. 9). Der Sernf- Stollen, mit einem Innendruck von 6 bis 20 m W. S., zeigte, die Auskleidung betreffend, wesentlich ungünstigere Verhältnisse, da auch der standfeste Fels zahlreiche Klüfte aufwies und der Ver- rucano ausserdem starke Verwitterungserscheinungen (Kaolini- sierung des Feldspates) im Berginnern zeigte, also teilweise wasserdurchlässig war. Der Stollen wurde daher auf der ganzen Länge ausgekleidet und zwar im standfesten Gebirge mit einer Stampfbetonschale von 20 \div 30 cm Stärke, in nicht standfestem Gebirge und in den Gehängedecken kamen Druckprofile mit einer innern Eisenbetonmanschette (Gunitring) auf eine Länge von 1020 m = 24 % der Stollenlänge, zur Anwendung (Abb. 10).

Der *Stollenausbruch* kann in den meisten Fällen als *Beton- Ballast* verwendet werden, wenn auf den Deponien eine gewissen- harte Trennung des geeigneten vom ungeeigneten Material er- folgt. Dieser wichtigen Massnahme wird leider viel zu wenig Beachtung geschenkt, weniger weil es an der Einsicht dafür fehlt, als weil die Halden meist zu knapp bemessen sind, um eine richtige Trennung durchführen zu können. Das beim Achen- seestollen anfallende Ausbruchmaterial der Guttenstein- und

Seit jenen Erfahrungen wird beim Druckstollenbau fast ausschliesslich das statisch richtige Kreisprofil angewendet und die Auskleidung der ihr zugewiesenen Aufgaben entsprechend zweiteilig angeordnet: eine äussere Schale, die der gewöhnlichen Tunnelmauerung entspricht, und eine innere zur Aufnahme des Wasserdruckes und zur Abdichtung. Bei der Wahl der Stollenauskleidung ist grösste Vorsicht geboten, da unter Umständen selbst ganz geringe Wasser- verluste katastrophale Folgen zeitigen und den Betrieb des

Wettersteinkalkstrecken gab mit einer Zementdosierung von 200 bis 250 kg/m³ einen ausgezeichneten, dichten Beton. Die Betonierung erfolgte in der Weise, dass zuerst Widerlager und Gewölbe betoniert und die Sohle zuletzt eingezogen wurde. Um eine möglichst glatte Stollenwandung zu erhalten, wurde die Schalung gehobelt, an den Längsstößen konisch zugearbeitet und mit Öl getränkt. Mit dieser Baumassnahme wurden so überaus gute Resultate erzielt, dass ein Glattstrich, wie er hydraulischer Vorteile wegen leider noch oft gefordert wird, entfallen konnte. Beim Sernfstellon konnte nur der Ausbruch aus den Verucano-Strecken zur Betonierung verwendet werden, wobei das Material aus den zerklüfteten Zonen wegen Verunreinigung, oder bereits eingetretener Kaolinisierung sorgfältig ausgeschieden wurde. Der damit erzielte Beton war trotz der Zementdosierung von 200 bis 300 kg/m³ nicht ganz einwandfrei, weil das feine Korn des Ausbruchmaterials nicht in genügenden Mengen anfiel und auch seine Qualität zu wünschen übrig liess; wo es möglich war, wurde mit Fremdbezug von Sand eine Qualitätsverbesserung versucht. Betoniert wurde auch hier mit gehobelter Schalung, dagegen wurde zuerst die Sohle erstellt und nachfolgend Widerlager und Gewölbe in stumpf gestossenen Ringen von 8 bis 10 m Länge. Dieser Arbeitsvorgang hat den Vorteil, dass die betonierte Sohle eine sehr sorgfältige Lagerung der Stollenschalung ermöglicht und die Pressfugen zwischen Sohle und Widerlager sich besser schliessen. Die Sohle erhielt hier noch einen wasserdichten Zementglattstrich, der die Pressfugen beidseitig überdeckte.

Während in druckfreien und nur leicht feuchten Strecken die Stollenmauerung keinen Schwierigkeiten begegnet, nehmen diese bei Wasserandrang derart rasch zu, dass eine einwandfreie Ausführung geradezu unmöglich wird, wenn es nicht gelingt, das Wasser von der Arbeitsstelle fern zu halten. Dies ist in erster Linie mit Hilfe gutwirkender Stollendrainagen möglich, die während der ganzen Bauzeit zur Reinigung zugänglich bleiben müssen, auch wenn die Sohle des Stollens bereits betoniert ist. Wo durch starken Wasserzutritt an den Ulmen und im First Auswaschungen des Mauerwerks zu befürchten sind, müssen auch diese Stollenteile gut entwässert werden. Beim Achensee- und Sernfstellon waren solche zusätzliche Baumassnahmen in weitgehendem Umfange notwendig. Dabei wurden vorgängig der Stollenmauerung die einzelnen Quellen durch Eisenrohre gefasst und in die Sohlenkanäle abgeleitet. Wo diese Fassungen nicht möglich waren, wurde die nasse, tropfende Felsoberfläche durch dünne Wellblechtafeln abgedeckt, die am Fels befestigt wurden und hinter der Mauerung verblieben. Um eine verlässliche Zementmörtelhinterspannung zwischen der Mauerung und der Blechabdeckung einerseits, sowie der Blechabdeckung und dem Fels andererseits zu erreichen, wurden an solchen Stellen Gasrohrstücke eingemauert.

Trotz dieser ausgeklügelten Massnahmen zur Entwässerung der Stollenwandungen wurden beim Sernfstellon nach der Stollenbetonierung noch sehr umfangreiche Abdichtungsarbeiten notwendig, weil es nicht mehr gelang, die Stollenauskleidung in der nachträglich verlegten Stollenstrecke vor dem Frühjahr 1931 vollständig fertig zu stellen. Mit Eintritt der Schneeschmelze nahm daher der Wasserandrang in der noch nicht fertig erstellten Ausmauerungsstrecke W I b bis W III b ganz beträchtlich zu. Die Stollendrainagen, die wegen des zu geringen Sohlengefälles teilweise schon verstopft waren, konnten den Ueberschuss nicht mehr aufnehmen. Das Wasser suchte daher überall da, wo die innere abdichtende Schale noch fehlte, durch poröse Betonstellen, Arbeits- oder Stossfugen in den Stollen einzudringen (Abb. 11, 12). Aber auch in Strecken im gesunden Fels, die bisher immer trocken waren und deshalb nur mit einer Stampfbetonverkleidung versehen waren, zeigten sich immer mehr Infiltrationsstellen, die auf eine starke Zunahme des äusseren Wasserdruckes hinwiesen, hervorgerufen durch die Schneeschmelze und die Wasserverdrängung in den bereits fertig ausgemauerten Nachbarzonen.

Da das Aufbringen eines Verputzes oder Gunitwurfes auf feuchte Flächen schwierig ist, war der vermehrte Wasserandrang besonders in den Strecken, in denen die Gunitmanschette noch

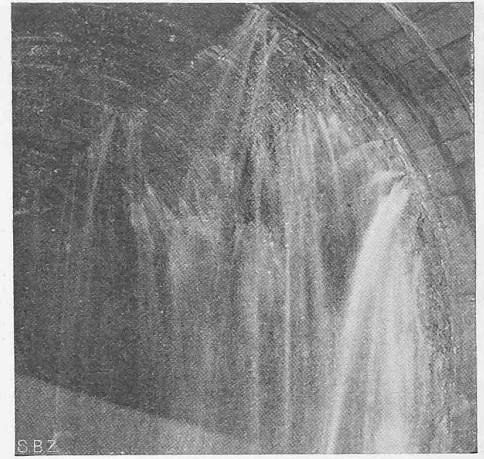
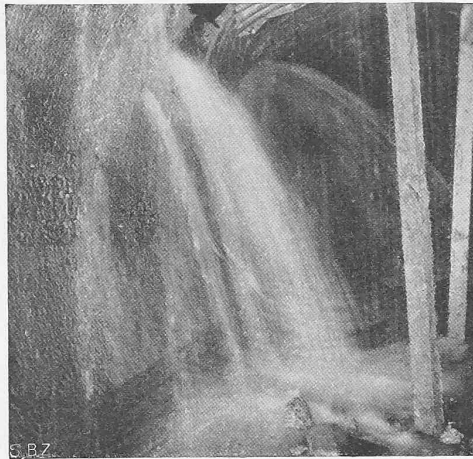


Abb. 11 und 12, Sernfstellon 330 m von W III a gegen W II a, ausgemauert, aber vor Abdichtung (vgl. Abb. 8).

fehlte, recht unerwünscht. Trotzdem vorausszusehen war, dass sich die Verhältnisse mit dem Abklingen der Schneeschmelze rasch bessern würden, kam eine Aufschiebung der noch fehlenden Stollenausmauerung nicht in Frage, weil der Fertigstellungs-Termin wegen den getätigten Stromlieferungsverträgen unbedingt eingehalten werden musste. Zudem war zu befürchten, dass die Stampfbetonauskleidung auch durch geringe Infiltrationen des kalkhaltigen Wassers mit der Zeit zerstört würde. Es blieb also nichts anderes übrig, als die betreffenden Stollenstrecken so rasch als möglich abzudichten und fertigzustellen. Da bekannt war, dass «Sika» seit längerer Zeit mit gutem Erfolge bei Abdichtungen von Eisenbahntunneln verwendet wurde und der Verfasser beim Achenseeestollen selbst Gelegenheit hatte, sich von der hervorragenden Eignung dieses Zusatzes für Abdichtungsarbeiten zu überzeugen, entschloss sich die Bauleitung, die erforderlichen Abdichtungen der Firma Kaspar Winkler & Cie., Fabrik chem.-bautechn. Produkte in Zürich-Altstetten, zu übertragen, die auch die Ausführung dieser schwierigen Spezialarbeiten unter Gewährung der gewünschten Garantie übernommen hatte. Diese Abdichtungsarbeiten sollen, soweit sie von allgemein technischem Interesse sind, nachstehend näher beschrieben werden.

Sika 2 bis 4 a ist ein Gemisch verschiedener kolloidaler Lösungen von Leichtmetallen, das mit Portlandzement vermengt einen schnellbindenden, wasserdichten, frostbeständigen und gegen Aggressivwasser widerstandsfähigen Mörtel gibt, dessen Haftfestigkeit so gross ist, dass er auch bei grossem Wasserdruck aufgebracht werden kann. Welche von den fünf Sikasorten, die sich hauptsächlich durch verschiedene Abbindezeiten unterscheiden, am zweckmässigsten verwendet wird, hängt von den vorliegenden Verhältnissen ab. Für Abdichtungsarbeiten mit schnellbindender Sika wird stets gewöhnlicher, frischer Portlandzement verwendet, dessen Reaktionsfähigkeit bei der Wahl der geeigneten Sikasorten zu berücksichtigen ist.

Zum Stopfen der unter Druck austretenden Wasserstrahlen wurde Sika 2 (unverdünnt) verwendet, die am schnellsten mit Portlandzement reagiert. Wegen der sehr kurzen Abbindezeit (15 bis 20 sec) konnten auch nur ganz kleine Mengen Mörtel angemacht und mussten diese sofort verarbeitet werden. Waren poröse, wasserüberrieselte Betonflächen zu dichten, so wurde je nach der gewünschten Abbindezeit dazu Sika 4 oder 4 a verwendet. Beides sind schnellbindende Zusätze zur Herstellung von wasserdichtem Verputz, der auch auf nassen Flächen und unter Wasserdruck aufgebracht werden kann. Dabei wurden in der Regel zuerst die hauptsächlichsten Infiltrationen durch Einsetzen von Röhrchen von der Wandfläche abgeleitet, worauf die Ausführung des Verputzes zwischen den Infiltrationsstellen unter Verwendung eines Drahtgeflechtes von 3 ÷ 7 cm Maschenweite erfolgte. War der erste Auftrag von nur einigen Millimetern Stärke, bestehend aus Sika 4 und Portlandzement ohne Sandzusatz, genügend erhärtet, so wurden die Infiltrationsstellen, die sich inzwischen durch die Zunahme des Wasserdruckes neu gebildet hatten, nachbehandelt und mit Sika 4-Zementteig gestopft. Erst dann konnte der zweite Auftrag aus Sikalösung 1 : 1 und Zement-Sandmischung 1 : 1 erfolgen. Für die weiteren Aufträge wurden Sikalösungen 1 : 2 ÷ 3 und Zementsandmischungen 1 : 2 ÷ 2 1/2 verwendet. War der Verputz genügend erhärtet und dicht, so wurden die Entlastungsröhrchen entfernt und die meist unter hohem Druck austretenden Wasserstrahlen mit Sika 2-Zementteig gestopft.

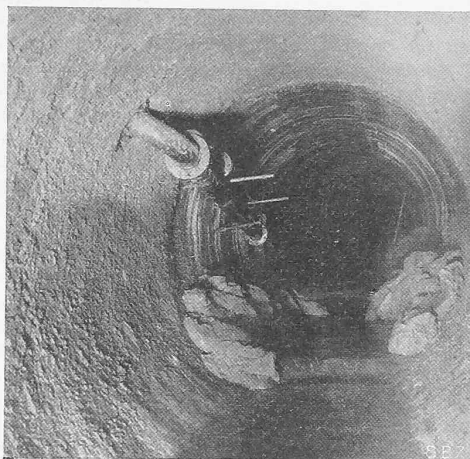
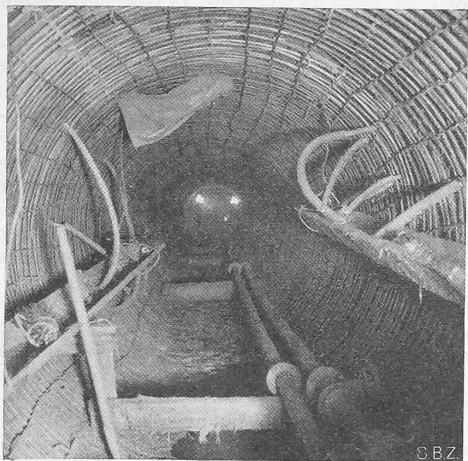


Abb. 13. Abdichtungsarbeiten im Sernfstollen. Abb. 14. Die Stelle lt. Abb. 11/12 nach Abdichtung mit Sika.

In einem Stollenstück, das ebenfalls eine Gunitmanschette erhalten sollte, war deren Einbringen nach erfolgter Abdichtung des Betonmauerwerkes aus andern Gründen nicht mehr möglich. Man entschloss sich in diesem Falle an Stelle der Gunitmanschette einen wasserdichten Sikaverputz von 6 + 7 cm Stärke aufzubringen. Dieser Verputz, der sehr hohe Anforderungen an das Dichtungsmittel stellte, wie auch die andern Abdichtungsarbeiten, haben sich bisher ausserordentlich gut bewährt; bei der Abnahme der Arbeiten nach Ablauf der zweijährigen Garantiefrist konnten weder Risse und Abblätterungen noch undichte Stellen beobachtet werden.

Der stark wechselnde Charakter der abzudichtenden Flächen — es waren nur leichte Durchsickerungen in porösem Beton, aber auch aus Kiesnestern und ausgewaschenen Fugen unter Druck austretende Wasserstrahlen zu behandeln — bedingten die Anwendung verschiedener Dichtungsmethoden und Dichtungsmittel. Gerade der Umstand, dass bei Verwendung von Sika verschiedene Sorten dieses Zusatzes und die langjährige praktische Erfahrung der Firma zur Verfügung standen, ermöglichte eine geschmeidige, den örtlichen Verhältnissen angepasste und daher wirtschaftliche Arbeitsweise. Die vielseitige Anwendungsmöglichkeit und die bisher damit erzielten guten Erfolge machen Sika zu einem Universal-Dichtungsmittel, das sehr hohen Anforderungen bezüglich Dichtigkeit, Haftfestigkeit und Widerstandsfähigkeit zu genügen vermag.

Da beim Sernfstollen die Drainageleitungen offen blieben, mussten einige unter Druck stehende Quellen direkt in den Stollen eingeleitet werden. Auch hier wurden, wie beim Achenseestollen, dazu Rückschlagklappen verwendet, die sich im Betriebe durch den Ueberdruck im Stollen schliessen (Abb. 8) und Wasseraustritte verhindern. Auch diese sehr schwierigen Quellfassungsarbeiten wurden von der Firma Kaspar Winkler & Cie. unter Verwendung von Sika mit gutem Erfolg durchgeführt (Abb. 13 bis 14). Welchen Umfang die im Sernfstollen erforderlichen Abdichtungsarbeiten hatten, die unter den denkbar ungünstigsten Verhältnissen und innert kürzester Frist ausgeführt werden mussten, geht am besten aus der nachstehenden Zusammenstellung der aufgewendeten Stunden und Materialien hervor:

Stundenaufwand:	Spezialarbeiter	2996 h
	Hilfsarbeiter	4591 h
Materialaufwand:	Dichtungsmittel Sika 2 bis 4 a . .	10200 kg
	Portlandzement	31500 kg
	Sand	7800 l
Kostenaufwand:	Gesamtkosten der Abdichtungsarbeiten inkl. Beistellung der Wasserkleider, des Druckluftbetriebes und der Transporte	47350 Fr.

Nicht selten wird die Auffassung vertreten, dass bei der Anwendung kombinierter Stollenprofile auf die Dichtigkeit des äussern, tragenden Teiles kein grosser Wert zu legen sei. Dieser Standpunkt ist meines Erachtens falsch, denn die vorstehend beschriebenen Massnahmen zur Abdichtung der Stollenauskleidung zeigen deutlich, wie wichtig es unter Umständen sein kann, wenn auch die äussere Schale möglichst homogen und wasserundurchlässig ist. Ein gutes Verarbeiten des Betons (Stampfen) hinter der Schalung ist meistens durch die Raumverhältnisse im Stollen stark behindert, im First ganz unmöglich und führt zwangsläufig dazu, dass an Stelle von Stampfbeton Gussbeton verwendet wird. Aus diesem Grunde und weil eine Menge unver-

meidlicher Faktoren bei der Stollenbetonierung mitspielen, die diese ungünstig beeinflussen (Arbeiten unter Tag, Auswechseln der Einbauten, Entmischung durch Transporte, Wasserandrang u. a. m.) sollte die Zementdosierung für die Stampfbetonauskleidung nicht zu knapp bemessen werden. Hier ergäbe sich ein dankbares Anwendungsgebiet für das neue Zusatzmittel «Plastiment», ebenfalls von der Firma Kasp. Winkler & Cie., da sich die Mehrkosten durch Erreichung eines hoch qualifizierten und leicht verarbeitbaren Betons beim Stollenbau sicher bezahlt machen.

Wo mit dem Auftreten grösserer, namentlich plötzlich auftretender und ungleichmässig verteilter Drücke gerechnet werden muss, verwendet man zur Ausmauerung meistens nur noch Beton- oder Kunststeine. Beim Achenseestollen wurden Betonsteine mit einer Dosierung von 300 kg/m³ an Ort und Stelle selbst hergestellt, während beim Sernfstollen die von der A. G. Hunziker & Cie. unter dem Namen «Hunziker-Kalksandsteine» in den Handel gebrachten Tunnelsteine mit grossem Vorteil verwendet worden sind. Diese Steine werden ausserdem gerne zum Gewölbeschluss des Stampfbetonprofils gebraucht, weil dieser dadurch viel einfacher wird und sorgfältiger ausgeführt werden kann. Dass dabei im Gewölbescheitel zwei Längsfugen entstehen, ist nicht von Bedeutung, da diese durch Injektionen wieder dicht geschlossen werden können.

Um Bewegungen durch Innendruck und dadurch Rissbildungen in der Stollenauskleidung auf ein Mindestmass zu beschränken, ist ein vollständig dichter Anschluss an das Gebirge erforderlich. Alle Hohlräume im Gebirge selbst, wie auch jene zwischen der Auskleidung und dem Fels, entstanden durch ungenügende Anmauerung, durch Setzung der Schalung oder Schwinden des Betons, müssen nachträglich durch Hinterpressung mit Zementmörtel ausgefüllt werden. Zur Hinterpressung verwendet man zuerst Zementmörtel aus griffigem Sand bis 1 mm Korngrösse im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 1, zuletzt reine Zementmilch. Wichtig ist dabei, dass der Zeitintervall zwischen den einzelnen Injektionen so gross gewählt wird, dass der eingepresste Zementmörtel auch Zeit findet abzubinden, bevor der Erhärtungsprozess durch eine neue Injektion gestört wird. Der Zementbedarf ist sehr verschieden und hängt von der Beschaffenheit des Gebirges, von der Güte der Stollenausmauerung und von der mehr oder weniger sorgfältigen Durchführung des Vollausschlusses wesentlich ab. Beim Achenseestollen betrug der Zementaufwand bei dreimaliger Injektion im Mittel 100 kg/m', beim Sernfwerk dagegen bis 250 kg/m' Stollen. Die Menge des verbrauchten Injektionsgutes kann daher nie als Gradmesser für den mit der Injektion erreichten Erfolg benützt werden. Gerade in Stollen mit grossem Wasserandrang und ausgedehntem Drainagesystem wird ein Grossteil des eingespritzten Zementes mit dem Wasser wieder zum Abfluss kommen, wenn nicht schon bei der Anlage der Drainagen diesem Umstand Rechnung getragen und während der Injektionen der Abfluss in den Drainagen ständig kontrolliert wird. Die Ansichten über die Zweckmässigkeit der Injektionen gehen zwar noch weit auseinander, sicher ist jedoch, dass bei zuverlässiger Ausführung ein dichtes Anliegen der Stollenausmauerung an das Gebirge, eine Verfestigung des Felsens in der Stollenzone, sowie eine Abdichtung der Stollenauskleidung erreicht werden kann, wodurch Bewegungen durch Wasserdruck, wenn nicht ganz vermieden, so doch erheblich verkleinert werden können.

Schlussbemerkung.

Trotz den umfangreichen Versuchen und gründlichen theoretischen Untersuchungen der letzten zwanzig Jahre ist und bleibt der Druckstollenbau ein praktisches Problem, das nur durch ein Zusammenarbeiten des Ingenieurs mit dem Geologen erfolgreich gelöst werden kann. Der verantwortliche Ingenieur darf aber bei solch wichtigen Bauten nicht auf allgemeine geologische Gutachten abstellen, sondern er muss sich selbst im Klaren sein, in welchem Umfange er die Unterstützung des Geologen bedarf. Durch eine klare und eindeutige Fassung aller vom Geologen zu beantwortenden Fragen können Enttäuschungen über geologische Prognosen, die im Ingenieurbau leider nicht selten sind und an denen nicht immer nur die Geologen schuld waren, vermieden werden.