Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81 (1963)
Heft: 26

Artikel: Neue Möglichkeiten zur wasserdichten Druckstollenauskleidung
Autor: Wenzel, Klaus
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66827

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: 09.08.2025

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

Interesse liegende gute Baugesinnung absolutes Erfordernis. Disharmonie und schlechte Architektur an Bauten sind letztlich Symptome eines seelisch-geistigen Mankos, die auch in Zeiten baulicher Hochkonjunktur und im Trend, das Bauland bis zum Maximum auszunützen, nicht manifest werden dürfen. Mit seinem ethischen Gedankengut diese geistig-seelische Armut mindern zu helfen, dazu ist der Heimatschutz aber vor allem berufen.

Abkürzungen

AG	Kanton Aargau
Art	Artikel
BBl	Bundesblatt
BS	Kanton Basel Stadt
BL	Kanton Basel Land
BauG	Baugesetz
BE	Kanton Bern
BGE	Bundesgerichtsentscheid
BO	Bauordnung
cit	zitiert
EG	Einführungsgesetz
GR	Kanton Graubünden
LU	Kanton Luzern
i. S.	in Sachen
RR	Regierungsrat
RRB	Regierungsratsbeschluss
S	Seite
SO	Kanton Solothurn
SZ	Kanton Schwyz
TG	Kanton Thurgau
u. a.	und anderes, unter anderem
VG	Verwaltungsgericht
VGRB	Verwaltungsgericht (Zürich Rechenschaftsbericht)
VO	Verordnung
ZBl	schweizerisches Zentralblatt für Staats- und Gemeindeverwaltung
ZGB	Zivilgesetzbuch
§	Paragraph

Literaturnachweis

[1] *Burckhardt Lucius,* Die Kunst Erbe zu sein, in «Werk», Schweizerische Monatszeitschrift für Architektur, Kunst, Künstlerisches Gewerbe, Nr. 6, Winterthur, Juni 1961.

[2] *Fleiner Fritz,* Institution des deutschen Verwaltungsrechtes, 8. Auflage, Zürich 1962.

[3] *Imboden Max,* Schweizerische Verwaltungsrechtsprechung, Ergänzungsband, Basel, Stuttgart 1962.

[4] *Reuter Hans,* Verunstaltung, Grundsätzliche Fragen unter Berücksichtigung verwaltungsrechtlicher Entscheide, «Baumeister», Nr. 4, 52. Jahrg., München April 1955.

[5] *Wandersleb Hermann,* Handwörterbuch des Städtebaues, Wohnungs- und Siedlungswesens, Stuttgart 1959.

[6] *Wolff Josef,* Zeitfragen des Städtebaues, München 1955.

[7] *Zimmerlin Erich,* Bauordnung der Stadt Aarau, Aarau 1960.

Neue Möglichkeiten zur wasserdichten Druckstollenauskleidung

Von **Klaus Wenzel,** Dr.-Ing., Baden

DK 627.842

I. Einleitung

Schon die Isolation der Strassen- und Eisenbahntunnel gegen das Durchdringen von Bergwasser in das Tunnelinnere kann, selbst bei modernen Tunnelbauten, technische Schwierigkeiten bilden, die oft schlecht gemeistert wurden. Viel schwieriger gestaltet sich jedoch beim Wasserkraftwerkbau die Lösung des Problems der wasserdichten Auskleidung von Druckstollen in gebrächen Felsstrecken oder in Strecken von Lockergesteinen. Unter dem Wasserinnendruck im Stollen zeigen derartige Gesteinsverbände eine besonders grosse Verformbarkeit, so dass eine gewöhnliche Betonverkleidung des Felsens reisst und dadurch Wasserverluste eintreten, die vom energiewirtschaftlichen Standpunkt und mit Rücksicht auf die Stabilität des Stollens und bei wasserlöslichen Gesteinen auch des Gebirges durchaus unerwünscht bzw. unzulässig sind. Durch den plastischen Verformungsanteil bleiben bei entleertem Stollen die Risse teilweise offen, wodurch der Stollen als Drainageröhre für das mitunter auch betonschädliche oder gesteinslösende Bergwasser wirkt. Aus diesem Grunde müssen Strecken, in denen der Druckstollen ein nachgiebiges Gebirge durchfährt, mit einer Dichtung gegen den Wasserinnendruck im Stollen und gleichzeitig gegen den Bergwasserdruck von aussen, der unter Umständen grösser als der Innendruck sein kann, versehen werden.

Ueblicherweise werden zur wasserdichten Auskleidung in Druckstollen Stahlpanzerungen verwendet. Gegenüber diesen fanden bisher verschiedene Vorspannsysteme der Betonverkleidung zur Vermeidung von Zugrissen durch den Innendruck nur verhältnismässig wenig Anwendung. Trotz technischen Vorteilen mancher, meist patentierter Vorspannsysteme gegenüber der Stollenpanzerung stellen sie doch eine erhebliche Komplikation des Bauvorgangs bei recht ansehnlichen Kosten dar. Wie jeder Stollenbauer weiss, bringt aber auch die an sich einfache Stollenpanzerung viel Erschwernisse beim Bau mit sich. Ferner schliessen bei einer Stollenentleerung alle Vorsichtsmassnahmen (gute Kontakinjektion, eingebaute Rückschlagventile, langsame Entleerung) das Risiko einer Einbeulung der Panzerung nicht aus. Vom statischen Standpunkt aus ist schliesslich die Stahlauskleidung bei den in Druckstollen üblichen niedrigen Drücken unwirtschaftlich, da man aus Transport- und Montagegründen keine geringeren Blechdicken als etwa 10 mm verwenden kann. Dadurch werden die zulässigen Stahlspannungen für den Stolleninnendruck bei weitem nicht ausgenützt.

II. Elastische Auskleidungen, allgemeine Gesichtspunkte

Die vorstehend beschriebenen, nicht durchwegs befriedigenden Lösungen der Vorspannungs- und der Stahlblechauskleidung gaben Veranlassung, neue Möglichkeiten einer wasserdichten Stollenauskleidung grundsätzlich anderer Konstruktion zu untersuchen. Eine relativ dünne, elastische Haut wird auf die übliche Felsverkleidung aus Beton aufgelegt und soll ohne statische Aufgaben nur die Rolle der wasserdichten Auskleidung übernehmen. Diese Dichtungshaut kann nur für Drücke bis etwa 20 kg/cm² verwendet werden. Sie ist deshalb nur für die Auskleidung von Druckstollen und Wasserschlössern oder drucklosen Gerinnen, nicht aber für die höheren Drücke in Druckschächten gedacht, wo auch die Festigkeitseigenschaften der Stahlpanzerung einigermassen ausgenützt werden können.

Der radial wirkende Innendruck ruft eine Ausweitung des Stollens hervor, die ihrerseits im elastischen Dichtungsbelag sowie im Beton und Fels tangentiale Zugspannungen erzeugt. Aus der Gleichsetzung der Deformation zwischen der Dichtungshaut und dem Beton plus Fels lassen sich diese Spannungen berechnen. In der Fachliteratur ist das Problem oft und eingehend für gepanzerte Druckstollen behandelt worden, so dass hier nicht darauf eingegangen werden muss. Die Zugspannungen in der elastischen Dichtungshaut ergeben sich zu:

$$\sigma_D = \frac{p \cdot r}{t} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{1+\nu_F}{l+\nu^2{}_D} \cdot \frac{t}{r} \cdot \frac{E_D}{E_F} \left(1 + \frac{1}{1+\nu_F} \ln \frac{R}{r} \right)} \right]$$

p = Stolleninnendruck
r = Stolleninnenradius
R = Radius der gerissenen Felszone
t = Dicke der Abdichtung
ν_F, ν_D = Poissonzahl von Fels bzw. Dichtungsstoff
E_F, E_D = E-Modul von Fels bzw. Dichtungsstoff

Die Querkontraktion bleibt unberücksichtigt.

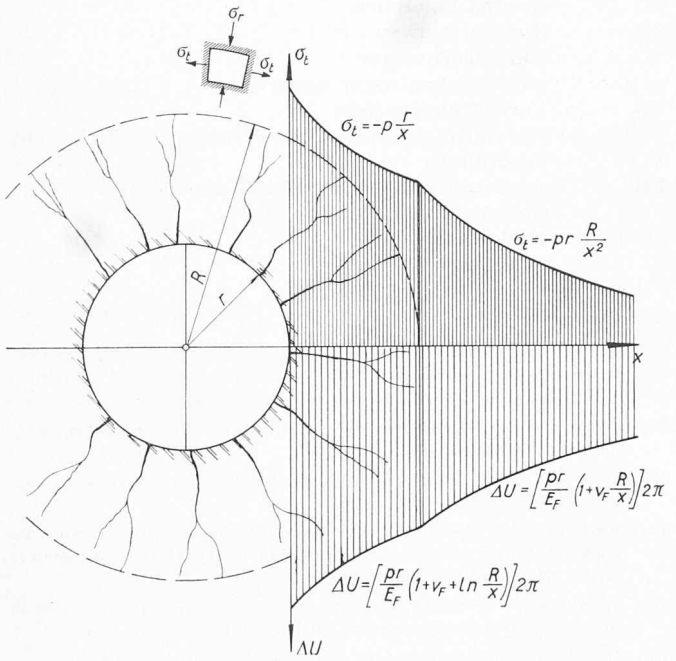


Bild 1. Verteilung der tangentialen Zugspannungen und Umfangsänderungen ΔU mit zunehmender Distanz vom Ausbruchsrand eines Druckstollens aus

Die Formel zeigt, dass die Zugbeanspruchung der Haut linear mit ihrer Elastizität abnimmt und für gummiartige Beläge praktisch gleich Null wäre. Beton und Fels müssen diese Zugspannung voll aufnehmen. Nach der Theorie des dickwandigen Rohres treten die grössten Zugspannungen in der Nähe des Ausbruchrandes des Stollens auf (Bild 1). Wird die Zugfestigkeit von Beton und Fels überschritten, so bilden sich im homogenen und isotropen Fels radiale, gleichmässig über den Umfang des Stollens verteilte Risse. In Wirklichkeit werden sie sich natürlich entsprechend der Ueberlagerung und Klüftung des Felsverbandes auf einige Stellen des Umfanges konzentrieren. Man kann dennoch wenigstens die Grössenordnung der auftretenden Risse abschätzen. Die radiale Ausweitung des Stollens unter Innendruck beträgt:

$$\Delta r = \frac{p \cdot r}{E_F}\left(1 + \nu_F + ln\,\frac{R}{r}\right) \quad ; \qquad R = \frac{p \cdot r}{\sigma_F}$$

p = Stolleninnendruck
r = Stolleninnenradius
R = Radius der gerissenen Felszone
ν_F, E_F = Poissonzahl und E-Modul des Felsverbandes
σ_F = Bergfestigkeit (Zugfestigkeit des Felsverbandes)

Die Bergfestigkeit wird im allgemeinen überschätzt. Sie beträgt im gebrächen Fels nur etwa 4 bis 5 kg/cm² [1] (Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes) und wird auch in den Stollenstrecken, in denen gerade infolge des schlechten Felsens eine Abdichtung für notwendig erachtet wird, etwa diesen Werten entsprechen. Bild 2 gibt für verschiedene Bergfestigkeiten zwischen 2 und 20 kg/cm² und Innendrücke bis 30 kg/cm² bei einem Stollendurchmesser von drei Meter und einem noch mässig guten Fels (E-Modul*) 100 000 kg/cm²; ν_F = 0,2) die verschiedenen Umfangsvergrösserungen an. Sie entsprechen bei Annahme gerissener Beton- und Felszone der Summe der auftretenden Rissbreiten.

Zu dieser Umfangsvergrösserung kommt noch die gleichgerichtete Wirkung des Kriechens von Beton und Felsverband unter dem Innendruck, des Schwindens des Betons und der Temperaturdifferenz zwischen anfänglicher Gesteinstemperatur und Betriebswasser hinzu. Nach [2] bewirken diese Einflüsse eine Durchmesserdehnung von schätzungsweise 0,2 bis 0,3 Promille. Je nach Konzentration und Anzahl der Risse kann man danach mit Rissbreiten zwischen 0,1 und 2 mm rechnen. Für die Beurteilung der Eignung einer Dichtungshaut sollte deshalb die Forderung genügen, dass sie unter einem mehrtägigen, andauernden Druck von 20 kg/cm² einen Riss von 3 mm Breite in gerecktem Zustand überbrücken kann.

*) Als «Pseudo»-E-Modul des Felsverbandes, nicht der Gesteinsprobe gemeint.

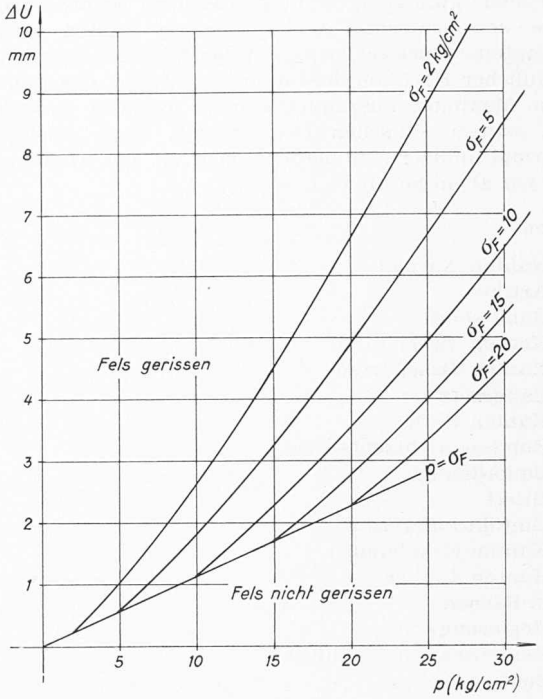


Bild 2. Umfangsänderung ΔU eines Druckstollens in Abhängigkeit von der Bergfestigkeit σ_F und dem Stolleninnendruck p, Druckstollendurchmesser 3 m, Felselastizität 10^5 kg/cm², ν = 0,2

Ebenso wie eine Stahlpanzerung erfährt die elastische Auskleidungsschicht bei entleertem Stollen und Bergwasserdruck eine gegen den Stollen gerichtete Beanspruchung auf Einbeulen. Die Formeln für die Bemessung einer Stollenpanzerung auf Einbeulen gehen auf den idealisierten Fall allseitig gleichen Wasserdruckes zurück, obgleich zu Beginn eines solchen Belastungszustandes fraglos eine konzentrierte Punkt-, Streifen- oder Linienlast auf die Panzerung einwirkt. Auf die am Felsverkleidungsbeton anhaftenden elastischen Schichten greift die Belastung im Fall des entleerten Stollens stets konzentriert entlang den im Fels und in der Betonverkleidung entstandenen Rissen an.

Schliesslich kommen noch Beanspruchungen in Längsrichtung des Stollens aus Temperatur- und teilweise auch aus Schrumpfspannungen von Schwindvorgängen hinzu.

Keine Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die chemischen Beanspruchungen durch sogenannte aggressive Wässer.

III. Anforderungen an das Material der Dichtung

Aus den im vorigen Abschnitt geschilderten Beanspruchungen ergeben sich die an eine Dichtungshaut zu stellenden Anforderungen:

1. Wasserdichtigkeit

Das Material soll bei Zugbeanspruchung möglichst bis zum Zerreissen wasserdicht bleiben.

2. Zerreissfestigkeit

Da die Dichtung nach dem im vorigen Abschnitt Gesagten selbst keine grossen Beanspruchungen zu übernehmen hat, genügt eine niedrige Zugfestigkeit von etwa 20 kg/cm².

3. Elastizität

Sie ist von grosser Bedeutung, weil von ihr die mögliche Rissüberbrückung und der geringe Anteil der über-

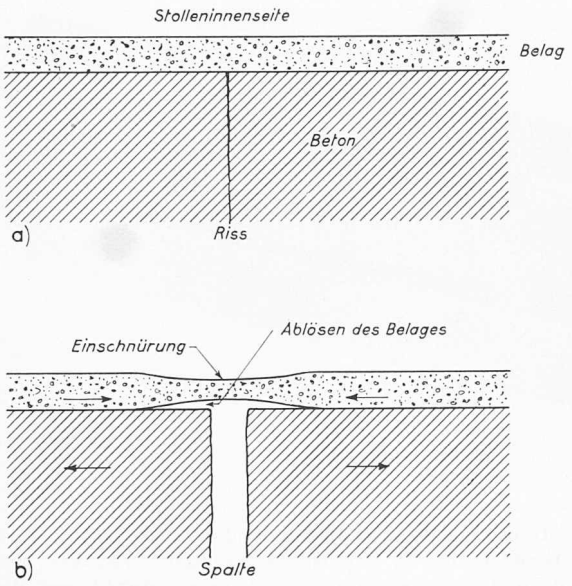


Bild 3. Verhalten eines Belages über dem sich erweiternden Riss im Beton

nommenen Zugspannungen abhängt. Der Elastizitätsmodul soll vor dem Zerreissen möglichst abnehmen, um eine grössere Bruchausdehnung zu erreichen. Der E-Modul sollte 30 bis 50 000 kg/cm², die Bruchdehnung wenigstens 5 bis 10 % betragen.

4. Schlitzdruckfestigkeit

Sie stellt einen empirischen Versuchswert dar. Bei der Ueberbrückung eines Risses im Verkleidungsbeton des Stollens muss die Dichtungshaut trotz ihrer Elastizität genügende innere Steifigkeit haben, um nicht vom Wasserdruck in den Riss gedrückt oder an den Rissrändern abgeschert zu werden. In einem Schlitzdruckversuch sollte die Dichtung bei Ueberbrückung eines Schlitzes 100 × 3 mm wenigstens einen dreitägigen Wasserdruck von 20 kg/cm² schadlos aushalten.

5. Haftfestigkeit

Die Forderung einer bestimmten Haftfestigkeit des Belages auf dem Unterlagsbeton lässt sich nicht eindeutig angeben. Wegen der Gefahr des Einbeulens der Dichtungshaut durch den Bergwasserdruck bei entleertem Stollen soll sie möglichst fest auf der Unterlage haften. Die Notwendigkeit, für die Dichtungshaut bei der Ueberbrückung von Rissen im Unterlagsbeton eine Dehnungsmöglichkeit zu haben, erfordert aber teilweises Ablösen des Belages beiderseits des Risses (Bild 3), da er andernfalls auch reissen müsste. Wie aus der früher angegebenen Formel zur Spannungsberechnung in der Dichtungshaut hervorgeht, spielt darin die Schichtdicke die gleiche Rolle wie die Schichtelastizität: Die im Belag auftretende Zugspannung nimmt mit der Schichtdicke ab. Solange die Zugspannung kleiner ist als die längs der Grenzschicht Belag-Beton zulässige Haftspannung und die Bruchdehnung des Materials nicht bei der grössten angenommenen Rissbreite überschritten wird, bleibt die Schicht intakt und am Unterbeton haften. Man muss durch Versuche das beste Zusammenwirken von Elastizität, Dehnung, Zug- und Haftspannung zwischen Belag und Beton durch Veränderung der elastischen und mechanischen Eigenschaften des Belagsmaterials herausfinden. Diese Eigenschaften lassen sich leider nur in ziemlich engen Grenzen beeinflussen, wobei auch die übrigen, materialbedingt wiederum mitverändert werden. Man ist daher in der Praxis gezwungen, gewisse Kompromisse einzugehen.

Bei Stoffen mit geringer Haftung muss im Stollen ein innerer Stützring aus Spritzbeton oder Gunit vorgesehen werden, gegen den sich die Dichtungshaut bei Aussenwasserdruck abstützen kann.

6. Mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit

Das Beschichtungsmaterial muss genügend abriebfest gegen mitgerissenen feinen Sand und genügend hart gegen Beschädigungen bei Begehungen des Stollens sein. Andernfalls ist ein innerer Schutz aus Gunit oder nur ein Sohlenschutz aus Beton erforderlich. An die chemische Widerstandsfähigkeit bedarf es im vorliegenden Fall keiner besonderen Anforderungen. Gegen die möglicherweise auftretenden aggressiven Bergwässer sind die in Betracht zu ziehenden Dichtungsstoffe auf alle Fälle genügend widerstandsfähig.

7. Alterungsbeständigkeit

Diese Forderung muss jedenfalls für die Konzessionsdauer des Kraftwerkes erfüllt sein. Bei Verwendung neuartiger Baustoffe, wie sie die Kunststoffchemie auf den Baumarkt bringt, liegen noch keine ausreichenden Erfahrungen der Praxis vor, doch kann aus Ergebnissen besonderer, sehr gewaltsamer Testbeanspruchung auf die Alterungsbeständigkeit des Materials geschlossen werden.

8. Voraussetzungen für die Verarbeitung im Stollen

Eine Dichtung kann entweder als Fertigprodukt (Folie) ringweise aufgeklebt oder durch mehrlagiges Aufspritzen oder Aufstreichen von Dichtungsmaterialien auf die Betonoberfläche (Beschichtungen) aufgetragen werden.

Die Arbeitsbedingungen im Stollen sind für das Aufbringen von Dichtungen ungleich schwerer als im Freien, Vor allem bildet die meist vorhandene Feuchtigkeit der Oberfläche des Verkleidungsbetons (Berg- und Luftfeuchtigkeit) ein Hindernis. Hinzu kommen offene Wasser- und eventuell auch Gasaustritte, die vorgängig sorgsam abgedichtet werden müssen. Ein Dichtungsmaterial, das auf feuchter Unterlage aufgebracht werden kann, verdient jedenfalls den Vorzug, da eine künstliche Trocknung der Stollenwandungen (z. B. durch Infrarotstrahler) Erschwernisse, Verteuerungen und Gefahren mit sich bringt.

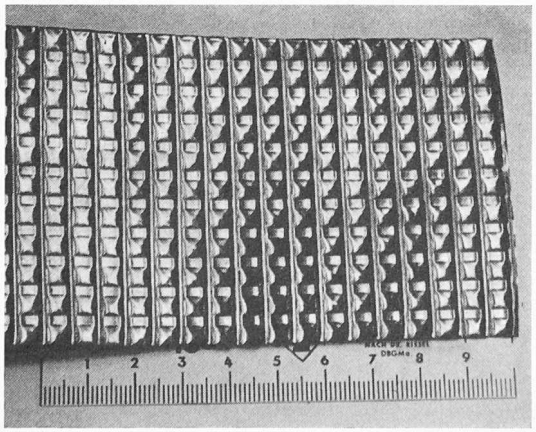


Bild 4. «Flexolite»-Kupfer-Folie

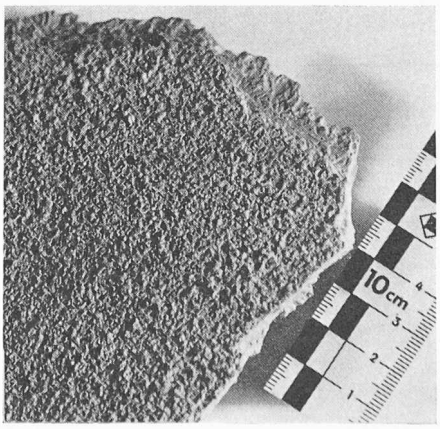


Bild 5. Mörtel und Beton haften an abgelöstem Polyester (links) und «Sinmast» (rechts)

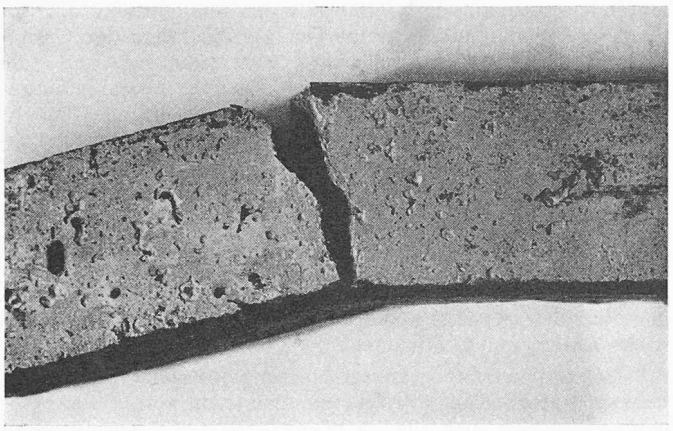


Bild 6. Naftoflexbelag haftet gut auf dem gebrochenen Beton

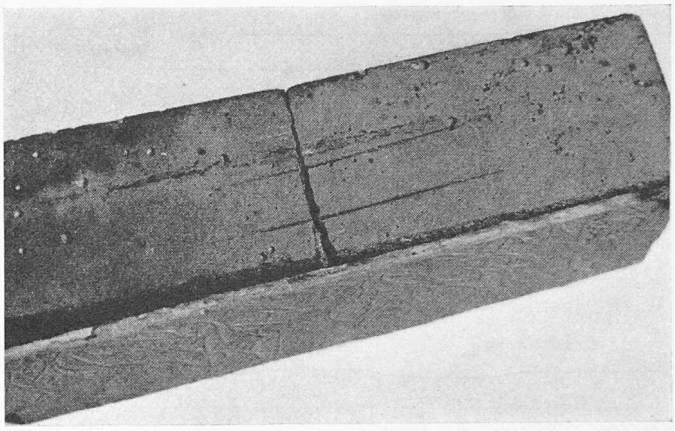


Bild 7. Glasfaserarmierter Polyester löst sich beim Bruch des Betonkörpers von diesem ab

Die Oberfläche des Betons darf keine lokalen Unebenheiten (Ueberzähne) aufweisen und soll frei von losen Bestandteilen sein. Eine gleichmässige Beschaffenheit der Oberfläche wird bei Anwendung der heute meist gebräuchlichen metallenen Teleskopschalungen gut erreicht.

Im Zusammenhang mit der Verarbeitbarkeit stehen die Gefahren der Anwendung neuer Kunststoffe im Stollen. Abgesehen von der ätzenden Wirkung der sogenannten Härter können sich während des Aufbringens der Beschichtung giftige und explosionsfähige Gase bilden. Eine gute Ventilation während der Arbeiten ist daher notwendig. Die Explosionsfähigkeit der Gase liegt zwar meist unter der Gefahrenzone, sie kann aber in grösseren Höhen über Meer, d. h. bei geringem barometrischem Druck und bei zu grosser Erwärmung durch künstliche Trocknung der Stollenwände unter Umständen erreicht werden.

9. Wirtschaftlichkeit

Gegenüber den herkömmlichen Auskleidungen mit Vorspannung oder mit Stahlpanzerung muss die Erstellung einer Dichtungshaut billiger sein.

IV. Dichtungsmaterialien

Die Motor-Columbus AG. untersuchte unter Berücksichtigung der oben geschilderten Materialanforderungen und der wirtschaftlichen Anwendung einige auf dem Baumarkt angebotene Abdichtungsstoffe. Dabei kamen einerseits Fertigprodukte in Form dünner Metallfolien besonderer Prägung (Bild 4) und Kunststoffolien in Betracht, die mit bituminösen Anstrichmitteln auf die Betonauskleidung aufgeklebt werden. Sie finden als Feuchtigkeitsisolation seit mehreren Jahren im Tunnelbau Verwendung. Anderseits stellt die Kunststoffchemie in wachsender Anzahl Produkte her, die als öl- und wasserdichtende Ueberzüge direkt auf die Betonkonstruktion von Behältern aufgestrichen oder aufgespritzt bereits vielfach angewendet werden und die teilweise auch für den vorliegenden Zweck geeignet schienen.

So wurden für eingehendere Eignungsversuche folgende Produkte ausgewählt und untersucht:

1. Fertigprodukte:

— Kupferfolie «Flexolite»
— Polyisobutylenfolie «Oppanol» bzw. «Rhepanol»

2. Beschichtungsprodukte:

— Glasfaserarmierte Polyester
— Einkomponentenharz «Toilux»
— Neoprene «Naftoflex», Typ «K 19» und «K 25»
— Buton-Epikoteharz «Sinmast», verschiedener Elastizitäten

Mit Ausnahme der Kupferfolie handelt es sich um Kunstharze aus der Gruppe der Polymerisate und Polyaddukte.

V. Versuche und ihre Ergebnisse

1. Vorversuche

Zunächst wurden die aufgeführten Werkstoffe im Laboratorium auf ihre Eignung als Dichtungshaut im Druckstollen näher untersucht. Die Zugfestigkeit, Wasserdichtigkeit, Bruchdehnung und den Elastizitätsmodul bestimmte man in der üblichen Weise an Proben von Folien und Beschichtungen. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Ueber die speziellen Versuche wird anschliessend berichtet.

Tabelle 1. Materialeigenschaften der untersuchten Stoffe für Dichtungsbeläge

Material	Festigkeit (kg/cm²) auf Zug	Haftung bei Abscheren	Schlitzdruck[1]	Elastizitätsmodul (kg/cm²) · 10³	Bruchdehnung %
Folien:					
— Cu-«Flexolite» 0,1 mm	1684	—	8—30 [2]	—	14 [5] 6 [6]
— «Rhepanol» 1,5 mm	33	—	17	—	420 [5]
Beschichtungen 4 mm:					
— Polyester + 20 % Glasfaser	520	16	26	28—33	1,2—2
— «Naftoflex« K 19	24	18	2	—	409
— «Naftoflex» K 25	16	11	4	—	533
— «Toilux»	—	2	2	—	101
— Sinmast 4 [3]	137	[4]	>30	24	1,8
— Sinmast 7	18		(Sinmast 4:2 mm + Sinmast 7:2 mm)	8	125

1) Schlitzgrösse 3 × 200 mm
2) Extremwerte, keine Mittelbildung möglich
3) als Mörtel diente eine Mischung von Harz: Quarzsand im Verhältnis 1:3
4) Haftung grösser als Zugfestigkeit der Schicht bzw. als Zugfestigkeit des Betons
5) Ueberlappung in Längsrichtung
6) Ueberlappung in Querrichtung

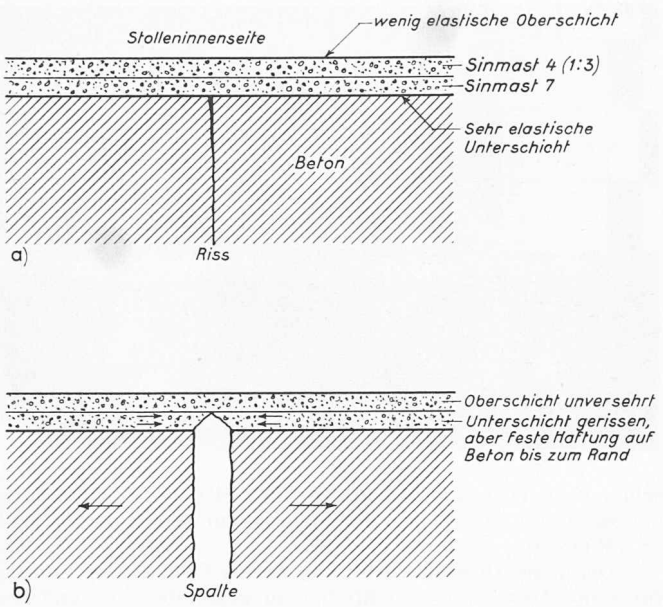
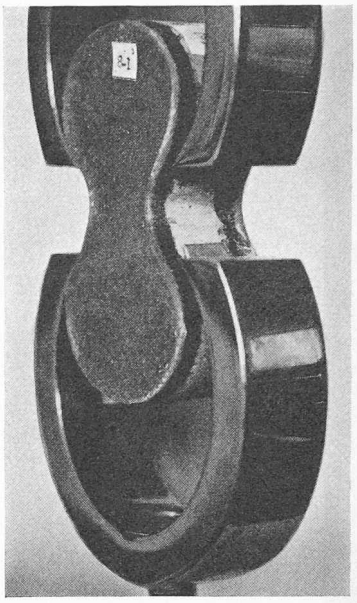


Bild 8. Verhalten des doppelschichtigen Buton-Epikotes über dem sich erweiternden Riss im Beton



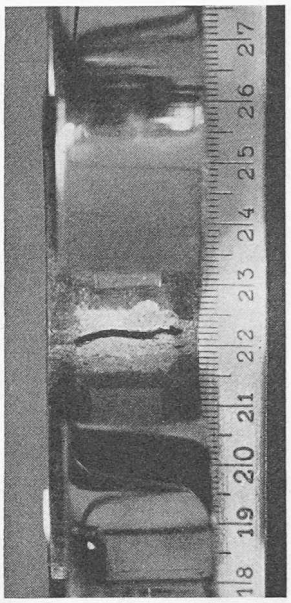


Bild 9a (links). Einspannung des beschichteten Prüflings

Bild 9b (rechts). Beton-Zugprobekörper auf 1,8 mm gerissen (bei Zentimeter 22,2), doppelschichtiger Sinmast-Belag (Typ 7 und 4) intakt, Unterschicht (Sinmast 7) auf rechter Seite beginnt zu reissen

Auf die Ermittlung der jedenfalls geringen *Haftfestigkeit* der mit bituminösen Mitteln aufgeklebten Folien auf Beton wurde verzichtet. Dagegen war die Haftung für aufgestrichene und aufgespritzte Ueberzüge von besonderem Interesse, um daraus beurteilen zu können, ob die Schicht einem Bergwasserdruck bei entleertem Stollen widerstehen kann. Die Haftfestigkeit zwischen Belag und Beton wurde durch Zugversuche in Schichtebene und senkrecht zu ihr ermittelt. Zu ihrer Erhöhung wurden die Betonproben für die meisten Beschichtungen vorgängig mit einem speziellen Grundierungsanstrich versehen. Der Einfluss des Betonalters zwischen 24 Stunden und einer Woche auf die Haftung von Polyesterbeschichtungen wurde durch eine besondere Versuchsreihe ermittelt. Erwartungsgemäss nahm die Haftung mit dem Betonalter (Verringerung des Feuchtigkeitsgehaltes) zu. Ebenso war sie höher, wenn der Polyester unmittelbar nach dem Auftragen der Grundierung aufgespritzt worden war. Der in Tabelle 1 angegebene Mittelwert für die Haftung entspricht den günstigen Bedingungen. Unter ungünstigen Bedingungen lagen beim Polyester die Werte um etwa 30 % tiefer. Bei den Beschichtungen mit Butonepikote war die Haftung auf Beton entweder grösser als die Zugfestigkeit des Harzes selbst (bei den weicheren Typen), oder bei den härteren Typen grösser als die Zugfestigkeit des Betons, so dass die Harzschicht Teile des Zementmörtels und kleine Steine aus dem Beton mitriss (Bild 5).

Um das Verhalten der Beschichtungen bei der *Ueberbrückung von Rissen* zu beurteilen, wurden in verschiedenen Versuchsreihen mit Kunststoffüberzügen auf einer oder beiden Seiten versehene Betonprobekörper auf Biegezug oder reinen Zug beansprucht. Das Verhalten der Beschichtungen war dabei sehr unterschiedlich. Die gummiartigen Beläge «Toilux» und «Naftoflex» überbrückten den gerissenen Betonkörper bis zu Rissbreiten von 3 mm, bevor die 4 mm dicken Beläge rissen (Bild 6). Die Polyester-Schicht begann

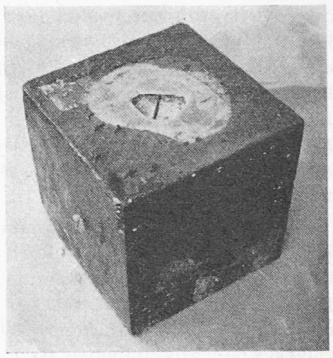


Bild 10. «Umgekehrter Schlitzdruckversuch» zur Ermittlung der Haftung des Sinmastbelages gegen Bergwasserdruck. Zerstörung nach Mitreissen der oberen Betonschicht

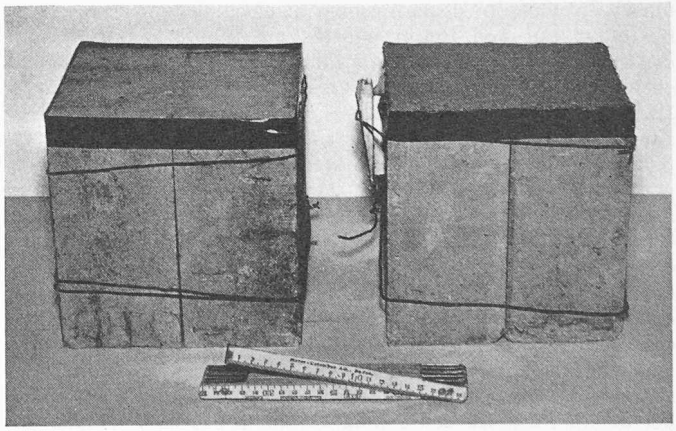
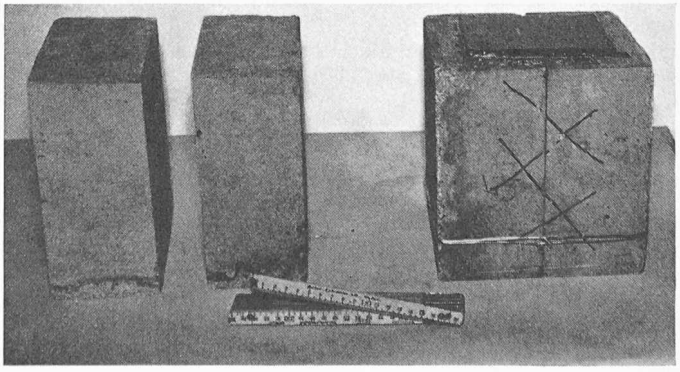


Bild 11a. Beschichtung eines durchgesägten Betonwürfels mit «Toilux»



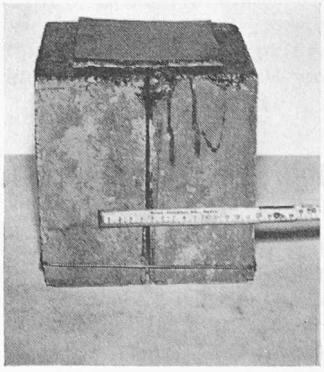
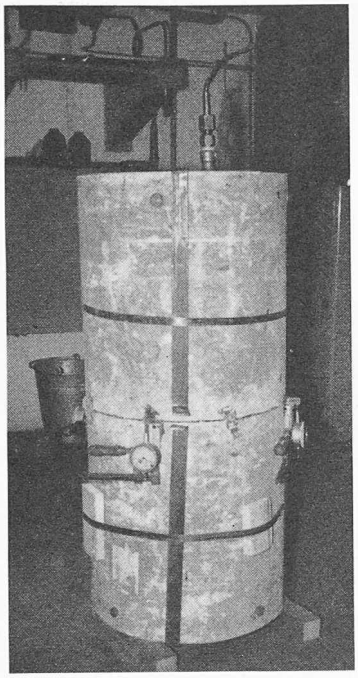


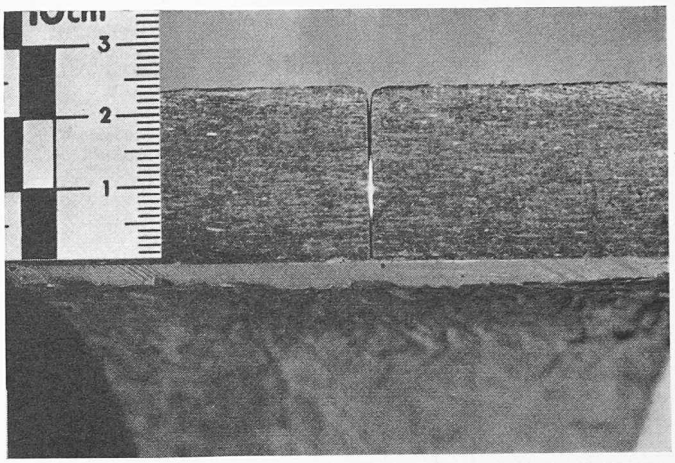
Bild 11b. Durchgesägter Betonwürfel (links) mit Sinmast in zwei Lagen beschichtet (rechts)

Bild 11c (rechts aussen). Spreizung durch Eisenkeile für Schlitzdruckversuch mit gerecktem Belag



Rechts:

Bild 13. Polyesterbelag haftet nach Versuch noch fest bis zum Fugenrand auf dem herausgesägten Rohrstück



Links:

Bild 12. Prüfung des Fugenverhaltens eines innen mit Polyester beschichteten Eternitrohrs bis 10 kg/cm² Wasserinnendruck

sich infolge ihrer geringen Bruchdehnung unmittelbar nach dem Auftreten der ersten Haarrisse im Beton von diesem zu lösen. Nach dem vollständigen Zugriss im Betonkörper war der Polyesterbelag auf die ganze Länge des 16 cm langen Probekörpers abgelöst, ohne selbst gerissen zu sein (Bild 7). Durch allmähliche Ablösung vom Beton schaffte sich der Polyesterbelag zur Ueberbrückung des entstehenden Risses im Beton die seiner Elastizität entsprechende freie Dehnungsmöglichkeit (Bild 3).

Das Gegenteil trat zunächst bei den Buton-Epikote-Beschichtungen auf: Infolge ihrer ausserordentlichen Klebekraft am Boden schnürten sich die elastischen Typen des Harzes vor dem Zerreissen etwas ein, mussten dann aber mangels freier Dehnungsmöglichkeit am Rande des Betonrisses ebenfalls durchreissen. Das Laboratorium der «Sinmast» entwickelte deshalb einen zweischichtigen Belag. Unmittelbar auf den Beton wurde eine 2 mm dicke Schicht des elastischen Typs 7 aufgebracht und auf diese noch nicht erhärtete Schicht eine gleichdicke des mittelharten Typs 4. Diese Oberschicht vermischte man zur Verbilligung und zur Erhöhung der Verschleissfestigkeit als Kunstharzmörtel mit Quarzsand 1:3 in Gewichtsteilen (Bild 8). Dieser Kunstgriff war erfolgreich: Wohl wurde die untere elastischere Schicht über dem Betonriss zerstört, ermöglichte aber infolge ihrer Elastizität der oberen härteren Harzschicht, sich die erforderliche Dehnungslänge zur schadlosen Ueberbrückung des Betonrisses zu schaffen (Bild 9). Durch diese Massnahme tritt also keine Ablösung des Belages am Rand des Betonrisses ein. Durch den Spalt im Beton gegen den Sinmast-Belag von der Rückseite her drückendes Bergwasser vermag den Belag deshalb nicht ohne weiteres, wie das bei einem Polyesterbelag möglich ist, progressiv abzusprengen, indem das Bergwasser hier nicht wie ein Keil zwischen Beton und Belag eindringen kann. Entsprechende *Aussenwasserdruckversuche* wurden an speziell vorbereiteten, mit dieser «Sinmast»-Kombination beschichteten Betonkörpern durchgeführt. Die Betonzugfestigkeit war dabei kleiner als die Haftung des Belages am Beton. Die Wasserdrücke zwischen 12 und 30 kg/cm² von der Rückseite der Beschichtung her sprengten diesen kegelförmig zusammen mit der Schicht ab (Bild 10).

Der wesentlichste Vorteil des Buton-Epikotes «Sinmast» für seine Anwendung im Stollenbau gegenüber den anderen beschriebenen Stoffen ist die *Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit* bei der Verarbeitung und während des Aushärtens. Das «Sinmast-UW» erhärtete und haftete fest auf wassergetränkten Betonproben und zwar auch unter Wasser.

Zur Ermittlung der *Schlitzdruckfestigkeit* presste man die Hälften auseinandergesägter Betonwürfel von 20 cm Kantenlänge eng aneinander und beklebte sie auf einer Fläche über die Fuge hinweg mit den Folien bzw. beschichtete sie mit den Kunstharzen. Danach wurden die Würfelhälften wieder mittels Keilen auseinandergetrieben, so dass Spaltbreiten von 3 mm entstanden, welche die Folie oder der Ueberzug überbrücken musste (Bild 11). Im Wasserpresstopf setzte man dann die gereckten Dichtungsschichten täglich gesteigerten Wasserdrücken bis zur Zerstörung aus. Bei den beiden Folien ermittelte man zusätzlich die Zugfestigkeit der Ueberlappungsstösse. Ausserdem wurden Kunstharzbeschichtungen auf stumpf gestossene Eternitrohre von 40 cm Durchmesser aufgebracht, beidseitig verschlossen und das *Fugenverhalten der Beschichtung* unter einem Wasserinnendruck gemessen und beobachtet (Bilder 12 und 13).

Eine besondere Prüfung auf *Wasserdichtigkeit* schien nur bei glasfaserarmierter Polyesterschicht wegen ihres verschiedenartigen Aufbaus notwendig. Die zu Anfang der Kunststofftechnik gelegentlich beobachtete schädliche chemische Reaktion zwischen Glasfaser und Polyester ist durch eine Oberflächenbehandlung der Glasfasern mit Volan oder Silan, die zugleich die Adhäsion zwischen Glasfaser und Harz und die Durchtränkbarkeit der Glasfasern mit Harz verbesserte, behoben. Auf poröse Zementmörtelplatten wurden glasfaserarmierte Polyesterschichten in Sollschichten von 2, 3 und 4 mm aufgetragen und einem Wasserdruck von 15 und anschliessend von 30 kg/cm² über 3 Stunden ausgesetzt. Nur die Schicht mit 4 mm Solldicke erwies sich als dicht. Allerdings zeigte sich, dass die Schichtdicke sehr schwankte und teilweise nur die Hälfte des Solls erreichte, so dass also theoretisch auch eine Dicke von 2 mm für einen wasserdichten Ueberzug ausreichen würde.

An Polyesterbeschichtungen auf Mörtelprismen bestimmte man die *Schrumpfungen* des glasfaserarmierten Polyesters beim und nach dem Aushärten. Sie betrugen nach zwei Monaten im Mittel 0,68 %.

Schluss folgt

Kurzbericht über das 2. Europäische Symposium «Vakuum»

DK 061.3:533.3

An dieser Tagung, die vom 5. bis 7. Juni 1963 in Frankfurt (Main) zugleich als 46. Veranstaltung der Europäischen Föderation für Chemie-Ingenieur-Wesen stattfand, hatten sich rund 300 Teilnehmer angemeldet.

In einer allgemeinen Betrachtung über das Vakuum führte Prof. *Ebert* (Braunschweig) aus, dass «Flächen im Raum» das Grundproblem der Vakuumdisziplin darstellen; denn Flächen, die einen Raum begrenzen oder sich in einem Raum befinden, verhindern die Entstehung eines vollen Vakuums. Der ständige Austausch der Gasteilchen von Flächen in den Raum und umgekehrt lässt einen materialfreien Raum nicht oder zumindest noch nicht zu.