Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 86 (1968)

Heft: 52

Artikel: Tropfwassersichere Tunnelausbildung mit Abdichtungen oder gefrästen Drainagefugen

Autor: Hediger, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70217

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: 06.08.2025

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

wobei auch die Einzelelemente genügend stossfest (d. h. mit Stahl von ausreichender Bruchdehnung genügend armiert) sein sollen[4]).

6. Die *Wirtschaftlichkeit* von mit vorfabrizierten Elementen gebauten Hochhäusern wird durch die oben genannten Erfordernisse nach Meinung der Expertenkommission nicht in Frage gestellt, wenn die nötigen Massnahmen schon bei der Projektierung der Vorfabrikation und der Organisation der einzelnen Ausführungsetappen rationell angeordnet werden.

Dieses Urteil stützt sich auf die Überprüfung von Bauten, bei deren Ausführung die Erfüllung der oben dargelegten Erfordernisse mit Anwendung der Vorfabrikation verwirklicht wurde. Die Wirksamkeit dieser Massnahmen wurde auch durch die Wirkung einer Explosion in einem unteren Stockwerk eines derartigen Baues unfreiwillig bestätigt, die lokal eng beschränkt blieb.

Nach Erfüllung der dargelegten Erfordernisse besteht nach Ansicht der Expertenkommission keinerlei Hindernis, das in «Ronan Point» mit grossem wirtschaftlichen Erfolg angewandte Bausystem bei weiteren Wolkenkratzern ebenfalls zu verwenden.

Schwieriger und teurer ist dagegen die Erfüllung der oben dargelegten Erfordernisse, wenn bereits ausgeführte Bauten nachträglich verstärkt werden müssen. Die Expertenkommission kam aber auf Grund ihrer Untersuchungen zur Überzeugung, dass es durchaus möglich und auch wirtschaftlich tragbar ist, viele mit Baumethoden der Vorfabrikation erstellte Hochhäuser genügend zu verstärken; eingeschlossen die Hochhausgruppe von London, zu welcher das in Rede stehende Gebäude «Ronan Point» gehört.

7. Die Expertenkommission empfiehlt eine genaue, fachmännische Überprüfung bezüglich der Möglichkeiten eines progressiven Einsturzes, speziell auch infolge von Bränden oder des im Verlauf der vorgesehenen Lebensdauer maximal möglichen Windruckes, *für alle Hochhäuser mit mehr als sechs Stockwerken.* Vor Abschluss dieser Überprüfungen und der sich hierbei allenfalls nötig erweisenden Verstärkungen wird jegliche Gaszuleitung von diesen Bauten abgehalten.

8. Abschliessend empfiehlt die Expertenkommission eine verschärfte Inspektion der Gas-Installationen, Verbesserung der Ventilation und Verschärfung der Vorschriften für die Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe. Vor allem wird dringlich die Aufstellung von *Normen* oder die Revision bestehender Vorschriften und Richtlinien verlangt, und zwar bezüglich:

a) Verhinderung von sekundärem, progressivem Einsturz,
b) Brandsicherheit der ganzen Bauten,
c) Winddruck,
d) Bauen mit verhältnismässig grossen, vorfabrizierten Elementen, in England «System Buildings» genannt.

*

Der Unterzeichnete betrachtet es als seine Pflicht gegenüber der Allgemeinheit, die schweizerischen Fachleute über die oben zusammengefassten Untersuchungsergebnisse zu unterrichten.

Dr. *A. Voellmy*, Zürich

[4]) Vgl. auch Comité Européen du Béton: Recommendations pratiques unifiées pour le calcul et l'exécution de constructions par panneaux assemblés de grand format. Paris XVI, 9 rue la Pérouse, Mars 1967 (erst während der Ausführung des besprochenen Baues erschienen).

Tropfwassersichere Tunnelausbildung mit Abdichtungen oder gefrästen Drainagefugen

Von **B. Hediger**, dipl. Ing. ETH, Suiselectra, Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft, Basel

DK 624.191.8

1. Anforderungen bezüglich Dichtigkeit von Tunnelbauten

Für die Sicherheit von Eisenbahn- und Strassentunneln ist die Dichtigkeit der Tunnelverkleidung von ausschlaggebender Bedeutung. Wasserinfiltrationen führen leicht zu kontinuierlichen Tropfwassererscheinungen, durch welche zum Beispiel in Eisenbahntunneln beträchtliche Schäden am Oberbau auftreten und Kalkversinterungen im Tunnelgewölbe zu Kurzschlüssen mit der Fahrleitung führen können. Im Winter besteht sowohl in Eisenbahn- als auch in Strassentunneln die Vereisungsgefahr der Tropfwasserstellen und auf der Fahrbahn, womit die Betriebssicherheit der Tunnel herabgemindert wird. Langandauernde Wasserinfiltrationen beeinträchtigen zudem die Dauerhaftigkeit der Tunnelverkleidungen infolge Kalkauswaschungen und Frostschäden in der Betonverkleidung. Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit von Bahn- und Strassentunneln, wie auch mit Rücksicht auf die Dauerhaftigkeit der Tunnelbauwerke ist dem unausweichlichen Problem der Abdichtungen und Gebirgswasserableitungen die volle Aufmerksamkeit zu schenken.

2. Überblick über Tunnelabdichtungsverfahren

2.1 Allgemeines

In neuerer Zeit sind verschiedene Abdichtungsverfahren angewendet und dauernd verbessert worden. Sowohl in technischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht sind die möglichen Abdichtungen verschiedenartig und müssen den speziellen Gegebenheiten und Anforderungen angepasst werden.

Im vorliegenden Überblick werden die gegenwärtig üblichen Abdichtungen mit ihren Vor- und Nachteilen kurz beschrieben. Es wird dabei vorausgesetzt, dass vorgängig dem Aufbringen der Hauptdichtung – unabhängig davon, welches Verfahren zur Anwendung kommen soll – die gesamte Felsfläche sorgfältig vorgedichtet, das heisst, das aus dem Fels austretende Wasser abgeleitet und feuchte Tropfstellen behoben werden. Eine blosse Verdrängung des anfallenden Wassers ist meist gar nicht oder nur mit vorübergehender Wirkung möglich und führt früher oder später zu unliebsamen Überraschungen. Das zeitliche Intervall zwischen der starren Vordichtung und dem Fertigausbau des Tunnelmantels soll möglichst klein gewählt werden, zwecks Vermeidung der Verletzungsgefahr durch mechanische Beschädigungen, wie z. B. Bautransporte sowie durch allfällige Felsverformungen.

Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen Abdichtungsverfahren, bei denen die Abdichtung entweder auf unebener (gunitierter Felsoberfläche) oder auf ebener Unterlage (Betonaussenwand bei Doppelgewölben) aufgebracht wird.

2.2 Abdichtungen auf unebener Unterlage

2.21 Heissbitumen aufgespritzt

Das Heissbitumen wird 5–10 mm stark, in mehreren Schichten, auf eine Spritzbetonunterlage aufgespritzt. Die Bitumendichtung ist vor der Betonierung der Tunnelverkleidung mittels einer 1–2 cm starken Gunitschicht zu schützen.

Arbeitsvorgang:

— Aufbringen einer Spritzbetonschicht auf die vorgedichtete Felsoberfläche, zwecks Auffüllen von Klüften und Überdecken von scharfen Felskanten.
— Voranstrich der handtrockenen Spritzbetonunterlage mit Kaltbitumen.
— Aufspritzen einer 5–10 mm starken Heissbitumenschicht in 3–4 Arbeitsgängen. Die Spritztemperatur beträgt rd. 250–300 °C. Die Temperatur der Wandoberfläche sowie die Lufttemperatur im Stollen lassen das heisse Bitumen sofort nach dem Auftrag erstarren und nach ca. 10 Minuten erhärten. Die erhärtete Bitumenschicht wird nachträglich abgeflammt und anschliessend mit Sand beworfen, um eine genügende Haftung des Schutzgunites zu gewährleisten.
— Ausführung eines 1–2 cm starken Schutzgunites auf die Bitumendichtung, vor dem Betonieren des Tunnelmantels.

Technische Beurteilung des Heissbitumen-Verfahrens

Die aufgespritzte Bitumenschicht ist statisch wie eine zähe Flüssigkeit zu betrachten und kann demnach auch keine Schubspannungen aufnehmen. Die Erfahrung hat diesen Mangel in der Beanspruchbarkeit auch deutlich gezeigt. Schwindrisse, die im Unterlags- oder Schutzgunit auftreten, bewirken das Zerreissen der Bitumenschicht, wodurch die Isolationshaut undicht wird. Das Zerreissen wird allein schon durch den Umstand gefördert, dass die Bitumenschicht durch das Aufspritzen zu dünn, zu unregelmässig und in den einzelnen Schichten nie ganz geschlossen ausfällt. Ein gewisser Erfolg tritt erst dann ein, wenn die aufgetragene Bitumenschicht nachträglich aufgewärmt und von Hand verstrichen wird. Die Praxis hat gezeigt, dass beim aufgespritzten Heissbitumen auf Gunitunterlage keine Jute- oder Glasfasern-Einlagen beigefügt werden können.

Für das Aufbringen der Bitumenschicht müssen an die Trockenheit der Unterlage grössere Anforderungen gestellt werden als bei allen anderen Verfahren. Der Brandgefahr beim Heissbitumen-Spritzverfahren ist besondere Beachtung zu schenken.

2.22 Kautschuk-Heissbitumen-Abdichtung

Nach den teils unbefriedigenden Anwendungen des reinen Heissbitumens, welches im heissen Zustand zu Abtropfungen führte, wird in einer neuen Verwendungsart dem Bitumen Kautschuk und ein spezieller Füllstoff beigemischt. Die Spritztemperaturen betragen noch 200 °C, gegenüber 300 °C für reine Bitumenprodukte. Die Dichtungsmasse ist mit Kautschukzugabe zähflüssig und vermeidet ein Abtropfen. Die Heissbitumenschicht erstarrt rasch und bleibt im Endzustand sehr elastisch.

2.23 Kautschuk-Bitumenemulsion-Abdichtung

Zwecks Vermeidung der baubetrieblichen Nachteile, die das Heissbitumenverfahren mit der damit verbundenen Rauchentwicklung im Tunnel mit sich bringt, und zur Vermeidung von Dampfblasen in der Dichtungshaut, wurde ein Kaltverfahren entwickelt. Die Verflüssigung des Abdichtungsgutes erfolgt auf dem Weg über die Emulsion, statt mittels Erwärmung.

2.24 Polyester-Isolation

Die Polyester-Beschichtung, in mehreren Arbeitsgängen aufgebracht, kann mit Erfolg auf eine unebene Spritzbetonschicht aufgespritzt werden. Ein Schutzgunit ist bei dieser Ausführungsart nicht notwendig.

Arbeitsvorgang:

— Aufbringen einer Spritzbetonunterlage auf die vorgedichtete Felsoberfläche.
— 1–2 Grundanstriche mit reinem Harz auf die saubere, handtrockene Spritzbetonoberfläche.
— Aufspritzen der Harzglasfaserlaminatschicht (Polyester und Glasfasern) und sofortiges Verdichten von Hand mit Rollen.
— Versiegelung und Deckschicht als Porenschluss mit Harz.
— Prüfung der Beschichtung auf Porenfreiheit.

Technische Beschreibung der Kunstharz-Polyester-Beschichtung

Infolge der guten Durchdringungseigenschaften des flüssigen Harzes kann Polyesterharz mit Glasfasern verstärkt werden. Es ergibt sich daraus ein Baustoff, der ohne weiteres mit Eisenbeton verglichen werden kann. Das Polyesterharz-Glasfaser-Spritzverfahren besteht darin, dass geschnittene Glasfasern sowie die Polyesterharzkomponenten gleichzeitig auf den Untergrund aufgespritzt werden. Polyesterharze sind ein Produkt aus Alkohol und Säuren. Im erhärteten Zustand sind sie alkali- und säurebeständig sowie bruchfest. Die verwendeten Polyesterharze sind frei von Lösungsmitteln und deshalb vollständig polymerisierbar. Die Polymerisation oder Härtung wird durch Katalysatoren und Beschleuniger ausgelöst. Die Polyesterharze härten ohne Abgabe von flüssigen oder flüchtigen Nebenprodukten. Die Polyesterverarbeitung kann oberhalb Temperaturen von +5 °C erfolgen. Bei der Verarbeitung von Polyesterharzen ist eine Konzentration von Styroldämpfen zu vermeiden. Im weiteren gebietet der Umgang mit Härtern und Beschleunigern, speziell auf der Baustelle, besondere Vorsichtsmassnahmen.

2.25 PVC-Folienabdichtungen

Die PVC-Folien können auf unebener Unterlage (Spritzbeton) nicht aufgeklebt werden, sondern sind punktweise zu befestigen. Die Dichtung liegt somit nicht satt auf der Unterlage. Als Schutzgunitträger sind die Folien ungeeignet. Die Betonierung hat direkt auf die Folie zu erfolgen. Soll die Folie den Betonierungsbeanspruchungen widerstehen, so muss sie in hinreichend starken Abmessungen angewendet werden. Die PVC-Folien werden in Bahnen von 2–3 m Breite aufgebracht. Die Bahnen werden an Ort und Stelle miteinander verschweisst.

Technische Beurteilung der PVC-Folien

Ein Vorteil der PVC-Folien liegt darin, dass die Abdichtung auch bei feuchter Unterlage aufgebracht werden kann. Die Vordichtung der Unterlage kann deshalb auf die notwendigsten Wasserableitungen beschränkt werden. Das Problem der punktweisen Befestigung der Folien auf unebener Spritzbetonunterlage ist gelöst, wird aber problematisch, wenn das Aufbringen der Folien auf im Bauwerk verbleibenden Stahleinbau zu erfolgen hat. Bei Tunnelbetonierungen mit Hochdruck-Betonpumpen (z. B. Pressweldpumpen), die wegen ihrer besonderen Leistungsfähigkeit immer mehr in den Vordergrund rücken, wird die Anwendbarkeit der lose aufgehängten Folie sehr fraglich. Weder die punktweisen Befestigungen, noch die Eigenfestigkeit der losen Folien, deren Stärken schon mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit begrenzt sind, vermögen den Hochdruck-Betonierbeanspruchungen ohne weiteres zu widerstehen.

2.3 Abdichtungen auf ebener Betonunterlage (Doppelgewölbe)

Für Tunnelbauten, die aus baulichen Gründen die Ausführung eines Doppelgewölbes erfordern, sind grundsätzlich alle beschriebenen Abdichtungen möglich sowie zusätzlich die Bitumenbahnen-Dichtungen.

2.31 Bitumenbahnen-Dichtung

Als «Armierung» der Bitumenbahnen können hierbei folgende Materialien in Frage kommen:

— Jutegewebe
— Glasgewebe
— Metallfolien (Aluminium- oder Kupferfolien, 0,1 mm stark), die bei der Fabrikation beidseitig mit Bitumen versehen werden, damit sie in einem Arbeitsgang auf der Baustelle mit einer speziell entwickelten Apparatur aufgeschweisst werden können.

Die Dichtung muss vor der Betonierung des Tunnelgewölbes mittels einer 1–2 cm starken Gunitschicht geschützt werden.

Arbeitsvorgang:

— Einbringen eines ersten Gewölbes (Schalbeton oder Sickerbeton) auf die vorgedichtete Felsoberfläche.
— Eventuelles Nachdichten von nachträglich auftretenden Wasserinfiltrationen.
— Reinigen der Betonunterlage und Ausgleichen derselben bei eventuell vorhandenen Überzähnen.
— Voranstrich auf der handtrockenen Betonunterlage mit Kaltbitumenlack.
— Aufschweissen mittels maschineller Apparatur von 2 Lagen Bitumenbahnen, Stösse der Bitumenbahnen schuppenartig überdeckt.
— 3 Überstriche mit heisser Bitumenklebemasse.
— Abflammen und Absanden des Bitumenüberstriches, zwecks Erzielung einer genügenden Haftung des Schutzmörtels.
— Ausführung eines 1–2 cm starken Schutzgunites auf die Bitumenisolation, vor dem Betonieren des zweiten Betongewölbes.

Technische Beurteilung der Bitumenbahnen-Dichtung

Das Bitumenbahnen-Verfahren bedingt eine ebene und möglichst glatte Betonunterlage und kann daher nur bei Tunnelauskleidungen mittels Doppelgewölben angewendet werden.

Mit dem Bitumenbahnen-Verfahren, speziell bei Verwendung von Jutegewebeeinlagen, wird eine sehr elastische Dichtung erzielt, die auch nachträglichen Felsverformungen standhält.

2.4 Allgemeine Beurteilung der Abdichtungsverfahren

Wenn auch die eine oder andere der beschriebenen Abdichtungen, in Anpassung der speziellen Dichtungsbedürfnisse von Tunneln, technisch unumgänglich ist, so bergen doch alle diese Abdichtungsverfahren verschiedene Nachteile in sich und können daher nicht immer voll befriedigen. Insbesondere wird die Lösung des Abdichtungsproblems der beschriebenen Verfahren durch folgende Faktoren erschwert:

— Alle Abdichtungsarten setzen für das Aufbringen der Dichtungshaut eine mehr oder weniger tropfwasserfreie oder gar handtrockene Unterlage voraus. Für alle Verfahren erlaubt erst eine weitgehende Vordichtung das Aufbringen der eigentlichen Dichtung. Der Schutz gegen Wasserinfiltrationen kann also erst eingebaut werden, wenn die Ursache, die eine Abdichtung erfordert, vorgängig provisorisch behoben wird.
— Die Abdichtungen sind durch die Betonierbeanspruchungen verletzlich, insbesondere durch das Richten der Schalungen und das Einpumpen des Betons, welches neuerdings meist unter hohem Druck hinter die Teleskopschalungen erfolgt.
— Allfällige Mängel in der Dichtung können zu nachträglichen Wasserinfiltrationen führen, deren Ursachen meist nur schwer zu lokalisieren und zu beheben sind.
— Die Dichtungen sind hinter dem Betongewölbe unzugänglich, deren Verhalten kann nachträglich nicht mehr kontrolliert werden. Schäden können an der Dichtungshaut selbst nicht mehr behoben werden. Wohl können heute mittels Kapillardichtungsanstrichen die Gewölbeinnenflächen ergänzend nachgedichtet werden. Diese Massnahmen bedeuten jedoch dem heutigen Stand entsprechend nur einen wertvollen Notbehelf. Langjährige Erfahrungen fehlen

noch, zudem ist dieses Verfahren bis heute nur in speziellen Fällen erfolgreich und wirtschaftlich anwendbar.

— Der Arbeitsvorgang für die Abdichtungsaufbringung ist sehr umfangreich, damit auch kostspielig und behindert oft die Betonierarbeiten für das Tunnelgewölbe, weil umfangreiche Gerüstungen den Arbeitsraum vor der Betonierzone einschränken.

Bei sämtlichen Abdichtungen wird der Versuch unternommen, die ungenügende Wasserdichtigkeit des Betons bei Tunnelbauten durch dünne Schichten anderer Stoffe, meist auf bituminöser oder PVC-Basis, zu beheben. Die mehrschichtige Stollenauskleidung birgt den grossen Nachteil der Inhomogenität in sich; jede Lage hat andere chemische und physikalische Eigenschaften und verhält sich gegenüber den vielfältigen Beanspruchungen unterschiedlich. Der Entwicklung der Abdichtungsverfahren liegt der Gedanke zu Grunde, für jede Beanspruchung einen eigenen Baustoff zu verwenden. Dabei kommen technisch hochgezüchtete und daher meist sehr teure, spezielle Materialien zum Einsatz, deren Dauerhaftigkeit wohl im Laboratorium geprüft, im Bauwerk selbst jedoch kaum abgeschätzt werden kann. Dass eine mehrschichtige Tunnelauskleidung den Widerspruch zu einem möglichst rationellen Bauen in sich birgt, sei nur nebenbei erwähnt.

3. Drainage-Tunnelfugen im Vingelz-Tunnel

Die erwähnten, unvermeidlichen Nachteile der Tunnelabdichtungsverfahren veranlassten die Baukommission und das projektierende und bauleitende Ingenieurbüro für den zweispurigen Eisenbahntunnel zwischen Biel und Tüscherz (Vingelz-Tunnel), im Rahmen des Ausbaues der linksufrigen Bielerseestrasse N 5, zur Suche nach einer anderen technischen Lösung, als über die üblichen Tunnelabdichtungen. Umfangreiche Studien zur Erfüllung der bahnbetrieblichen Forderungen eines tropfwasserfreien Tunnels und unter Berücksichtigung eines kontinuierlichen Tunnelbetoniervorganges des Unternehmers, führten zur Ausbildung von Drainage-Tunnelfugen unter Verzicht des Einbaues einer Abdichtung. Lediglich für die beiden Portalzonen, mit geringen Überdeckungen, wurde auf eine gewisse Strecke der Einbau einer Kautschuk-Bitumenabdichtung beschlossen. Die Tunnelmittelstrecke, auf rd. 2000 m des rund 2,4 km langen Vingelz-Tunnels, wird mittels Drainagefugen trockengehalten. Dieses Prinzip der Drainagebauweise ist keineswegs neu. Für Bauwerke über Wasser im erdoberflächennahen Bereich, wie Strassen, Stützmauern usw., ist es allgemein üblich, das Wasser nicht zu verdrängen, sondern durch Filterschichten und Sickerleitungen abzuleiten. Auch für Kavernenzentralen im Kraftwerkbau wurde die Drainagebauweise verschiedentlich angewendet, indem zwischen den einzelnen Lamellen der Betonauskleidung offene Fugen ausgespart wurden.

Für den Tunnelbau stellte sich vor allem das Problem, die Fugen rationell auszubilden, ohne den Bauvorgang zu beeinträchtigen. Für den Vingelz-Tunnel wird zum ersten Male im Grosstunnelbau die kontinuierliche Betonierung und die Drainagebauweise mit gefrästen Entwässerungsfugen angewendet.

3.1 Anforderungen an die Drainage-Ringfugen

Die Drainagefugen sollen die Bergwasserableitung gewährleisten, ohne dass sich hierfür vorerst ein hoher Wasserdruck hinter der Betonverkleidung einstellen muss, womit die Eigendichtigkeit des Betons in Frage gestellt würde. Der eigentliche Drainagehohlraum muss jederzeit zugänglich bleiben, damit allfällige Versinterungen auf einfache Art herausgeputzt werden können.

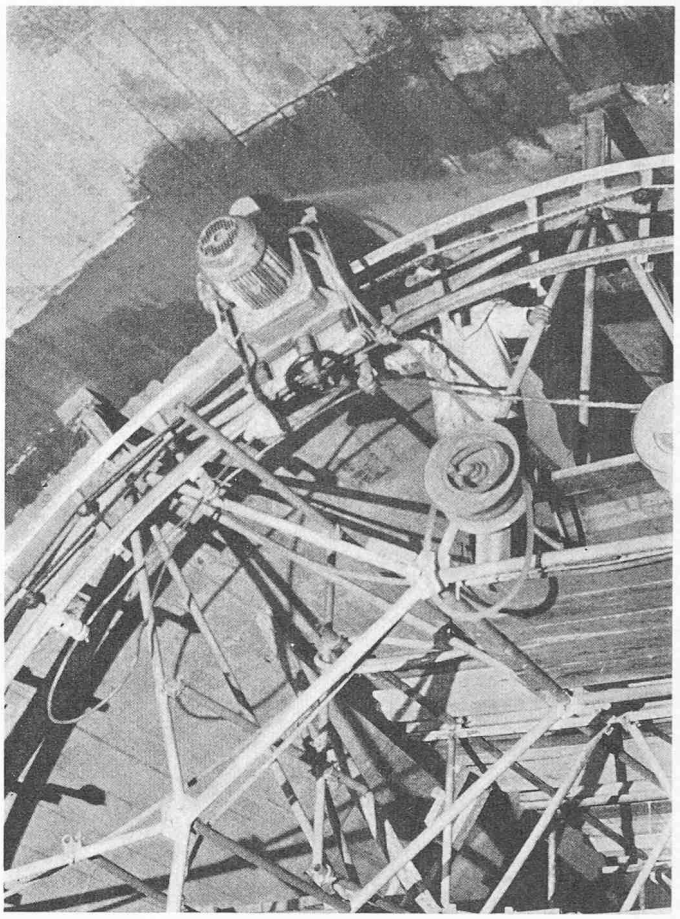
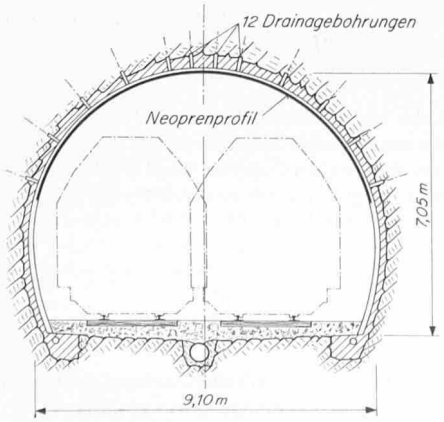


Bild 3. Fugenfräse mit zwei parallelen Diamantfräsblättern. Das Ausschneiden der Fugen erfolgt unter Zuführung von Kühlwasser

Mit Rücksicht auf den kontinuierlichen Betoniervorgang, der keine elementweisen Ringfugenabschalungen zulässt, sollen die Drainagefugen in Form eines geschwächten Betonquerschnittes die Schwindrisse am gewollten Ort konzentrieren. Dazu ist jedoch zu bemerken, dass sowohl Abschalungen wie auch Drainagefugen nicht in der Lage sind, Schwindrisse im Betongewölbe vollständig zu vermeiden. Im Gegensatz zu freistehenden, vor- und rückseitig geschalten Stützmauern, verhindert die innige Verzahnung zwischen dem Fels und der Betonverkleidung die freie Kontraktionsbewegung infolge Schwindens des Tunnelgewölbes und damit die vollständige Schwindrisskonzentration in den Fugen. Auf Fugenabschalungen mittels Aussparungsaufbauten auf der Teleskopschalung wurde verzichtet, um die einwandfreie Betoneinbringung hinter den Schalungen nicht zu behindern.

3.2 Konstruktive Gestaltung der Drainage-Ringfugen im Vingelz-Tunnel

Unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen sind im Vingelz-Tunnel die Ringfugen in Abständen von 6 m angeordnet. Der Drainagehohlraum ist 40 mm breit und 15 cm tief ausgebildet. Zwecks

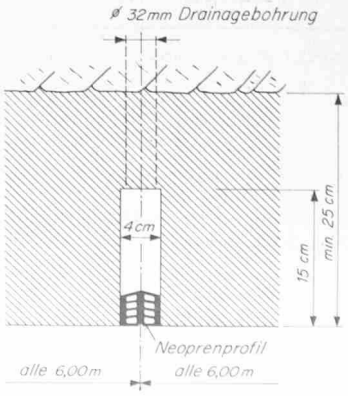


Links:

Bild 1. Normalprofil des Vingelz-Tunnels 1:200. Schnitt durch die ausgefräste Drainage-Ringfuge, mit zusätzlichen Bohrungen für die Entwässerung

Rechts:

Bild 2. Fugendetail 1:10. Ausgefräste Drainagefuge 15 cm/4 cm. Fugenabdeckung mit Neopren-Profil und Bildung des Drainagehohlraumes



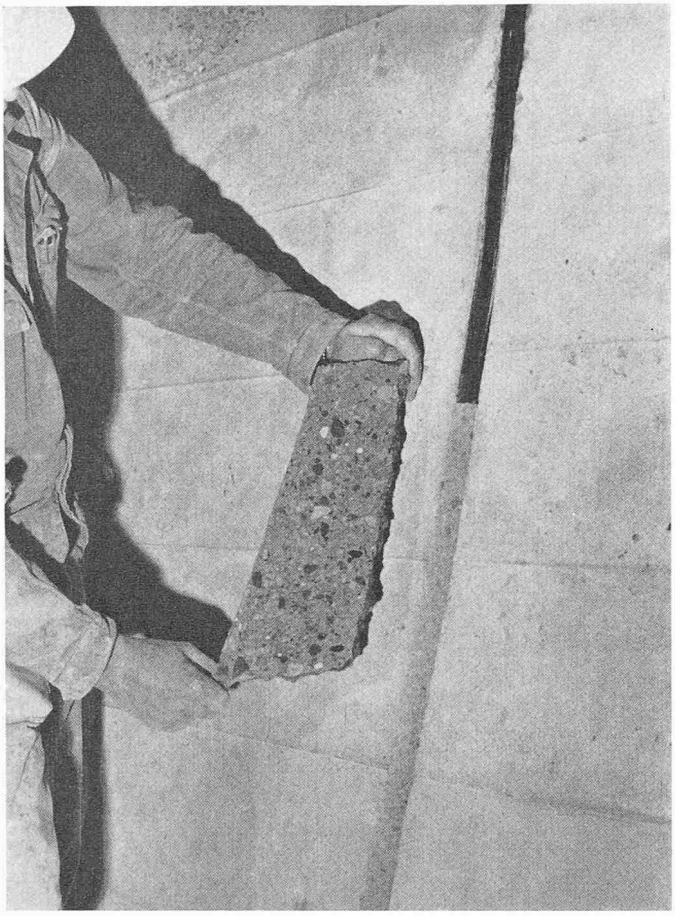


Bild 4. Fertige Drainage-Ringfuge. Ausgebrochener Betonkern und mit Neopren-Profil abgedeckte Fugenpartie

Verbesserung der Drainagewirkung wird der verbleibende Fugenbeton bis zum Fels mittels 12 radialen Bohrungen ø 32 mm, in der Gewölbepartie verteilt, durchbohrt. Der Fugenhohlraum wird in der Gewölbepartie durch ein eingestemmtes Neopren-Profil abgedeckt, derart, dass kein Fugenwasser auf die Fahrleitungen und Geleiseanlagen tropfen kann. Die Gebirgsverhältnisse im Vingelz-Tunnel erlaubten einen Verzicht auf Füllinjektionen zwischen Fels und Betonmantel. Die durch das Schwinden des Betons entstehenden Klaffungen werden damit zur Verbesserung der Drainagewirkung miteinbezogen (Bilder 1 und 2).

3.3 Ausbildung und Arbeitsvorgang für die Drainage-Ringfugen

Mit Rücksicht auf den kontinuierlichen Betoniervorgang, der keine Fugenabschalungen zulässt, hat die federführende Firma der Arbeitsgemeinschaft Vingelz-Tunnel ein Ausfräsen der Fugen vorgeschlagen. Für das nachträgliche Schneiden von Fugen in Betonstrassen wurden bereits früher Betonfräsen verwendet. Das Hauptproblem zum Ausfräsen der Tunnelfugen stellte sich für die Führung der Fräsmaschine entlang der Tunnelprofilwand, senkrecht zur Tunnelachse. Der Gerüstwagen mit der Fugenfräse wird im Vingelz-Tunnel auf dem Geleise des Schalwagens für die Betonierung geführt. Das Gerüst ist mit einer zum Tunnelgewölbe konzentrischen Führung für die Fräsmaschine und mit einer Vorschubvorrichtung versehen, die eine regelmässige Bewegung der Fräsmaschine erlaubt. Die Fugenfräse ist mit zwei parallelen Diamantfräsblättern ausgerüstet, die zwei dünne, parallele Schnitte ausführt, deren Abstand genau der gewünschten Fugenbreite entspricht. Der verbleibende Betonkern zwischen den beiden Schnittflächen kann nachträglich leicht herausgebrochen werden. Die Schnittflächen der Fugen werden absolut parallel und glatt geschliffen und sind deshalb zur Aufnahme des Neopren-Dichtungsprofils geeignet.

Die Schnitt-Tiefe kann ohne weiteres variiert werden, ist aber in der Tiefe beschränkt, so dass die Fuge normalerweise nicht bis zum Fels gefräst werden kann. Dieser Umstand macht zur Verbesserung der Drainagewirkung im geschwächten Betonquerschnitt die radialen Bohrungen erforderlich. Zwecks bestmöglicher Vermeidung von Schwindrissen im Betongewölbe erfolgt das Ausfräsen der Fugen im frischen Beton, unmittelbar nach der Ausschalung der einzelnen Betonierelemente. Dafür spricht auch der Umstand, dass im frischen Beton der Verschleiss an Diamantscheiben geringer ausfällt als im voll erhärteten Beton (Bilder 3 und 4).

3.4 Vorteile gefräster Drainage-Ringfugen

Die Vorteile der gefrästen Fugen lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

— Der Tunnel kann kontinuierlich betoniert werden, ohne dass dabei auf Fugen verzichtet werden muss.
— Die Stirnabschalungen einzelner Betonierabschnitte und die damit verbundenen Arbeitsstunden werden eingespart.
— Während dem Betonieren muss auf die Lage der Fugen keinerlei Rücksicht genommen werden. Die freie Anpassung der Fugenlage wirkt sich besonders bei Bahntunneln günstig aus, weil dadurch Fugen in den Nischen und im Bereich der Fahrleitungsaufhängungen vermieden werden können.
— Der Betoniervorgang wird weder durch Vorarbeiten, wie z. B. Einbau von Abdichtungen, noch durch Fugenabschalarbeiten behindert. Die Fugenausbildung folgt unabhängig dem Betoniervorgang.

4. Wirtschaftlicher Vergleich der Tunnelabdichtungen zu den gefrästen Drainage-Ringfugen

Die Realisierung einer technischen Lösung hängt schliesslich fast immer von deren Wirtschaftlichkeit ab, sofern nicht besondere Anforderungen den speziellen Zweck einer Konstruktion den Baukosten voranstellen. Bei Tunnelbauten fällt der prozentuale Anteil der Aufwendungen für die Abdichtungen gegenüber den übrigen Baukosten eher bescheiden aus. Die meist erheblichen Tunnellängen und die recht grossen Abdichtungsflächen in der Tunnelprofilabwicklung ergeben jedoch trotzdem namhafte Bausummen, die in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht einfach übersehen werden dürfen.

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich (siehe Tabelle 1) der einzelnen Abdichtungsverfahren wird einfachheitshalber auf 1 km Tunnel mit 20 m Profilabwicklungslänge bezogen. Diese Profilabwicklungslänge von 20 m entspricht einem zweispurigen Bahntunnel und ist annähernd gleich gross für einen zweispurigen, unbelüfteten Strassentunnel. Im Preisvergleich nicht berücksichtigt sind die zusätzlichen Installationen und die Spritzbetonschichten, die für alle Verfahren auf unebener Unterlage als Abdichtungsträger notwendig sind.

Tabelle 1. Vergleich der Abdichtungskosten

Abgewickelte Tunnelfläche 20 m²/m′; Preisbasis 1966/67

Abdichtungsverfahren	pro m² Fr.	pro 1 km Tunnellänge Fr.	%
Drainagefugen Fuge 40 mm/15 cm Fugenabstand 6 m mit 12 Bohrungen ⌀ 32 mm (umgerechnet auf Tunnelfläche)	8.10	162 000.—	100
Kautschuk-Bitumen Dichtung 6 mm Schutzgunit 2 cm	24.80	496 000.—	308
PVC-Folien (1,5 mm)	25.30	506 000.—	311
Kunstharz (Polyester)	42.—	840 000.—	520

5. Zusammenfassung

Wenn auch keines der beschriebenen Verfahren für die Tunnelabdichtungen verallgemeinert werden kann und die Bauweise von Fall zu Fall auf Grund der spezifischen Gegebenheiten und Bedürfnisse ausgewählt werden muss, so zeigt sich doch, dass mittels der Drainagebauweise für Tunnelbauwerke eine Möglichkeit erschlossen wird, die sowohl in ausführungstechnischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht sehr viele Vorteile in sich birgt. Diese Vorteile lassen sich gegenüber allen anderen Verfahren wie folgt rekapitulieren:

Funktionell:

— Keine Wasserverdrängung.
— Jederzeit zugängliche Drainage, die allfällig notwendige Verbesserungen durch Vermehrung der Drainagebohrungen erlaubt.

Ausführungstechnisch:

— Eine kontinuierliche Tunnelbetonierung, ohne Betonierabschalungen ist möglich.
— Freie Wahl der Fugenlage, ohne Beeinflussung des Betoniervorganges.
— Vermeidung von Arbeitsgängen für die Abdichtungseinbringung vor dem Betoniervorgang. Das Tunnel-Lichtraumprofil wird nicht durch zusätzliche Arbeitsvorgänge eingeengt und steht voll für die Betonierarbeiten zur Verfügung.
— Zeitgewinn bezüglich Bauprogramm.
— Vermeidung der Verletzungsgefahr der Abdichtungsschicht durch den Betoniervorgang.

Wirtschaftlich:

— Preisgünstige Lösung, die im heutigen Zeitpunkt rd. drei- bis fünfmal billiger zu stehen kommt als das Einbringen von speziellen Abdichtungen.

Betrieblich:

— Allfällige, nachträgliche Wasserinfiltrationen können leicht lokalisiert und behoben werden.

Mit Rücksicht auf die unvermeidbaren Betonüberprofilstärken ist eine möglichst grosse Schnitt-Tiefe der Drainagefugen anzustreben. Die günstigste Wirkung der Drainagefugen wird dann erzielt, wenn es technisch auf einfache Art gelingt, die Betonverkleidung bis auf den Fels durchzufräsen. Die zusätzlichen Drainagebohrungen könnten in diesem Fall wegfallen oder mindestens auf ein Minimum beschränkt werden.

Adresse des Verfassers: *B. Hediger*, dipl. Ing. ETH, Dornacherstr. 95, 4000 Basel

Umschau

Konjunkturgerechte Unternehmungspolitik im Baugewerbe. Diesem Thema war der diesjährige, vom schweizerischen Institut für gewerbliche Wirtschaft an der Hochschule St. Gallen organisierte, zweitägige Kurs gewidmet. Dass wohl die Dämpfung der Konjunktur, das damit angestrebte Ziel jedoch, nämlich die Bekämpfung des Preisauftriebes, nicht erreicht wurde, liess an der Eignung der getroffenen konjunkturpolitischen Massnahmen Zweifel aufkommen und den Wunsch hegen, über den Mechanismus der gegenwärtigen wirtschaftlichen Entwicklung mehr Klarheit zu gewinnen. Es wäre leicht übertrieben zu behaupten, dass der Kurs eine solche Klarheit vermittelte. Die auftretenden Probleme sind so mannigfaltig und derart ineinander verzwickt, dass bereits das unumgängliche Herausreissen einiger einzelnen aus dem Gesamtkomplex geradezu künstlich wirkt und eher dazu angetan ist, Verwirrung zu verbreiten, statt Einsicht zu verschaffen. So vermochten die mehr theoretisch aufgebauten Betrachtungen über das Baugewerbe in der wachsenden Wirtschaft oder über Investitionspolitik und Kapazitätsausnützung weniger zu überzeugen als einige ungeschminkte Mitteilungen praktischer Erfahrungen in der Führung der in der Schweiz am meisten vertretenen mittelgrossen Firmen. Neben konkreten Angaben über Bauunternehmung und Finanzen oder wirklichkeitsnaher Darstellung der grundsätzlichen Fragen der Unternehmungspolitik hörte man mit einigem Schmunzeln nicht ganz orthodoxe Auffassungen über Kalkulation und Preispolitik. Die jeden Arbeitstag abschliessenden, wie gewohnt gewandt geleiteten Podiumgespräche rundeten das Bild jeweils angenehm ab, ohne jedoch Wesentliches beizutragen. Wie immer bildete nicht zuletzt die Möglichkeit des Gedankenaustausches in Privatunterhaltung unter Kollegen – und Konkurrenten – die Gelegenheit, die eigene Anschauung über das behandelte Thema zu erweitern und zu vertiefen. *Robert R. Barro*

DK 338.93

Ein Spezialschlepper musste für die Bodenbewegung der neuen «Jumbo-Jet»-Flugzeuge entwickelt werden. Die grossen Flugzeuge, deren Einsatz bereits für 1969/70 geplant ist, weisen ein Abfluggewicht von rund 320 t auf. Auf Grund des vom Internationalen Luftverkehrsverband (IATA) ausgearbeiteten Pflichtenheftes für den Bau solcher Bodentransportausrüstungen reichten mehrere Firmen Angebote ein. Die British Overseas Airways Corp. (BOAC) erteilte einen Auftrag für die Lieferung von zwei «Hunslet ATT. 77 Airtug»-Spezialschleppern an die Firma *Materials Handling Equipment (GB) Ltd.*, Hunslet Engine Works, Leeds 10. Sie sind für die Bewegungen der beiden Boeing-747-Flugzeuge bestimmt, welche 1969 an die BOAC ausgeliefert werden. Die Fahrzeuge weisen ein Gesamtgewicht von 70 t auf und können Flugzeuge von über 450 t mit einer Geschwindigkeit von rund 32 km/h schleppen. Ihre Höhe beträgt nur 1,60 m; sie können daher die Tragflächen und den Rumpf einer vollbeladenen Boeing 747 unterfahren. An beiden Enden sind hydraulisch hochfahrbare, rundum mit Sicherheitsglas versehene Fahrerkabinen angeordnet. Ist eine der Kabinen einmal versehentlich ausgefahren, wenn sich der Schlepper einem Flugzeug nähert, so wird sie automatisch abgesenkt. Das Antriebsaggregat ist ein aufgeladener 600-PS-Dieselmotor. Die Hydraulik- und Getriebeeinheit ist auf einem getrennten Rahmen montiert und kann für Überholungsarbeiten vollständig ausgebaut werden. Neben der herkömmlichen Vierradlenkung, die ein Wenden in engem Kreis ermöglicht, kann sich der Schlepper auch in einem Winkel seitlich bewegen; dies erlaubt dem Fahrer, das grosse Fahrzeug aus jeder schwierigen Ecke oder engen Position herauszumanövrieren.

DK 629.114.2:629.138.5

Persönliches. Der bisherige Verkaufsdirektor der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM), *Anton Meyer*, tritt auf den 31. Dezember 1968 nach 42jähriger Tätigkeit in seiner Firma in den Ruhestand. Direktor *Klaus von Meyenburg*, dipl. Ing., übernimmt ab 1. 1. 69 zusätzlich zu seinen bisherigen Aufgaben auch die Leitung des Verkaufs. Auf den gleichen Zeitpunkt hat der Verwaltungsrat die Kollektivprokura erteilt an *Ernst Kreissig*, dipl. Ing., und *Peter Brunner*, dipl. Ing. DK 92

Nekrologe

† **Carl A. Landolt,** Masch.-Ing. SIA bei der Werkzeugmaschinenfabrik Oerlikon, Bührle & Co, geboren 1905, ist anfangs Dezember 1968 gestorben.

Buchbesprechungen

Thermische Turbomaschinen. Von *W. Traupel*. Zweiter Band: Regelung und Teillastverhalten, Festigkeit, Temperaturprobleme, Schaufelschwingungen, Dynamische Probleme des Läufers. Zweite, neu überarbeitete und erweiterte Auflage. 599 S. mit 587 Abb. Berlin 1968, Springer Verlag. Preis Fr. 118.80.

Wie beim ersten Band (vgl. Besprechung SBZ, *85* (1967), H. 14, S. 260, folgt auch beim zweiten schon nach acht Jahren eine vollständige Neuüberarbeitung. Die Bedeutung der darin behandelten Themen tritt heute besonders stark in den Vordergrund, da die Steigerung der Einheitsleistung, die für die derzeitige Entwicklung charakteristisch ist, vor allem mechanische Probleme aufwirft. Schon im Vorwort zur ersten Auflage hat der Autor auf die irrige Vorstellung hingewiesen, dass an einer Strömungsmaschine alles Wesentliche durch strömungstechnische und thermodynamische Gesichtspunkte bestimmt werde. Das Lösen der mechanischen Probleme ist ebenso entscheidend und erfordert eine grosse gedankliche Leistung. Die Erfolge der schweizerischen Industrie sind zu einem wesentlichen Teil der Tatsache zu verdanken, dass fähige Konstrukteure, aufbauend auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen und Möglichkeiten der Computer-Berechnung, wirtschaftliche Maschinen zu verwirklichen vermögen. Gerade dieser Weg des Schaffens kommt in Traupels Büchern schön zum Ausdruck.

Im ersten Teil werden die verschiedenen Steuereingriffe und deren Konsequenzen, wie die grundsätzlichen Regelmöglichkeiten für alle drei Typen thermischer Turbomaschinen – Dampfturbinen, Verdichter und Gasturbinen – behandelt. Apparatetechnische Ausführungen werden nach dem heutigen konstruktiven Stand gezeigt. Unter den Ergänzungen ist wohl die Behandlung des Regelverhaltens von Gasturbinen mit verstellbarem Leitrad an der mechanisch unabhängig laufenden Nutzleistungsturbine die wichtigste. Soweit der Autor die Regeldynamik streift, führt er die Überlegungen bis zum Aufbau der Bewegungsgleichungen der Regelstrecke durch. Das Herleiten dieser Differentialgleichungen erfordert in jeder dynamischen Analyse den grössten Aufwand und ist für die behandelten Maschinen kennzeichnend. Die Weiterbehandlung kann nach den Methoden der Regeltheorie erfolgen, die heute eine grosse, selbständige Disziplin ist, wo die Turbomaschinen nur ein Teilgebiet darstellen. Zudem sind die auftretenden Stabilitätsprobleme meist nicht allzu schwerwiegend. Eine Ausnahme bildet die Regelung gewisser Verdichteranlagen; derartige Mehrgrössenregelsysteme werden nur knapp behandelt.