Abdichtung der im Grundwasser liegenden Tunnelröhre des Hagenholztunnels

Autor(en): **Andrasky, Ede / Fluder, Anton / Hagmann, Alfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 45

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74242

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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

http://www.e-periodica.ch

Abdichtung der im Grundwasser liegenden Tunnelröhre des Hagenholztunnels

Von Ede Andraskay, Anton Fluder, Alfred Hagmann, Zürich

Der Hagenholztunnel liegt grösstenteils im Grundwasser. Zu seiner Erstellung musste das Grundwasser bis 14 m abgesenkt werden. Mit dem beschriebenen Vorgehen zur Verhinderung der Längsdrainage und zur Abdichtung des Gewölbes und Reduktion des Wassereintrittes durch die Sohle, konnte der geforderte Wiederanstieg des Grundwassers auf die ursprüngliche Spiegellage ohne die in diesen Verhältnissen übliche Vollisolation der Tunnelröhre sichergestellt werden. Die seit dem Abschluss der Bauarbeiten entlang der ganzen Tunnelröhre einsickernde Wassermenge beträgt im Mittel Q = 1400 l/Min. und liegt wesentlich unter der Pumpenkapazität von Q_{max} = 3000 l/Min.

Nach anfänglichen ausführungstechnischen Schwierigkeiten konnte die Tunnelsohle ohne Verzögerung des Bauprogrammes erfolgreich abgedichtet werden. Von den 2760 m im Bergbau ausgeführten Tunnelmetern wurde auf 763 m eine Sohlisolation erstellt, auf 606 m die Fugen mit einem speziellen Fliessmörtel ausgegossen und auf 374 m die Sohle mit Hilfe von Injektionen abgedichtet (Bild 1). Auf der restlichen Tunnellänge von 1017 m genügte die Abdichtung der Tübbingsohlfugen mit Hilfe von Gummiprofilen. Diese Massnahmen kosteten total 4,2 Mio Franken. Eine auf die ganze Länge des Hagenholztunnels ausgeführte Sohlisolation – wie dies ursprünglich im generellen Projekt vorgesehen war – hätte vergleichsweise etwa 9,0 Mio Franken gekostet. Damit konnte gezeigt werden, dass das stufenweise und den jeweiligen Verhältnissen angepasste Vorgehen preisgünstig war.

Dank der guten Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Bauleitung und Bauunternehmungen konnte der Kostenvoranschlag 1971 von 74,5 Mio Franken für den Hagenholztunnel ohne Berücksichtigung der Teuerung eingehalten werden. Die teuerungsbedingten Mehrkosten betrugen 11,8 Mio Franken oder 15,8 Prozent.

Projektübersicht

Der 2,8 km lange Hagenholztunnel umfasst zwei Lose der Flughafenlinie Zürich–Kloten und bildet eines der Kernstücke dieser neuen SBB-Strecke. Der bergmännisch errichtete Tunnel liegt in drei typischen Lockergesteinsarten, die alle vorbelastet sind: eiszeitliche Schotter, Moräne und eiszeitliche Seeablagerungen. Die Überlagerung zwischen Tunnelfirst und Geländeoberfläche beträgt 8,5 m bis 45,0 m. Die untere Moränenoberfläche weist einen unregelmässigen Verlauf auf und bildet zusammen mit den eiszeitlichen Seeablagerungen eine Art Hügellandschaft, die von wasserführenden Schottern überdeckt ist (Bild 1). Der Grundwasserträger wird dadurch in einzelne Becken gegliedert, die durch die praktisch undurchlässigen Moräne und Seeablagerungen getrennt und somit weitgehend voneinander unabhängig sind. Der Grundwasserspiegel liegt je nach Becken zwischen 6 m und 14 m über der Tunnelsohle.

Für den Bau des Tunnels musste das Grundwasser in den einzelnen Becken mit Hilfe von 22 Filterbrunnen abgesenkt werden. Entsprechend dem Baufortschritt und dem jeweiligen Grundwasserstand wurden die Filterbrunnen zeitlich gestaffelt erstellt und in Betrieb genommen. Dieses Vorgehen war erfolgreich und erwies sich als sehr preisgünstig.

Der Tunnel wurde mit zwei Schilden vorgetrieben, deren Durchmesser 11,40 m betrug und in deren Schutz vorfabrizierte Stahlbetontübbinge als Aussengewölbe versetzt wurden. Der Hohlraum von 5 bis 10 cm zwischen Tübbingaussenseite und Ausbruchrand wurde aus Kostengründen nicht mit Mörtel, sondern mit Einkomponentenkies hinterfüllt. Um eine Vernässung des Fahrraumes zu vermeiden, ist der obere Teil des Gewölbes durch eine elastische Isolation abgedichtet. Der Wasserdruck wird durch ein unarmiertes 25 cm starkes Innengewölbe aus Ortbeton aufgenommen (Bild 2).

Abdichtungsmassnahmen

Grundlage für die Massnahmen zur Abdichtung der Tunnelröhre war die Bedingung des kantonalen Gewässerschutzamtes, nach dem Bau des Hagenholztunnels *das ursprüngliche Grundwasserregime wieder herzustellen*. Ausserdem durften im Gewölbe oberhalb der Gleise aus betrieblichen Gründen keine Wassereintritte zugelassen werden. Für die Ableitung des aus dem Tunnel anfallenden Wassers wurde beim Flughafenbahnhof ein Pumpenschacht erstellt. Aus bauprogrammlichen Gründen musste dieser vor Abschluss der Abdichtungsmassnahmen im Hagenholztunnel ausgeführt werden. Der Pumpenschacht sowie die dazugehörigen Pumpen und Ableitungen wurden deshalb aufgrund von Schätzungen auf einen maximalen Wasserandrang von Q_{max} = 3000 l/Min bemessen.

Verhinderung der Drainagewirkung längs des Tunnels

Um eine Drainage längs der Tunnelröhre zu verhindern, musste die Wirkung der natürlichen Barrieren zwischen den einzelnen Becken auch nach der Erstellung des Tunnels gewährlei-

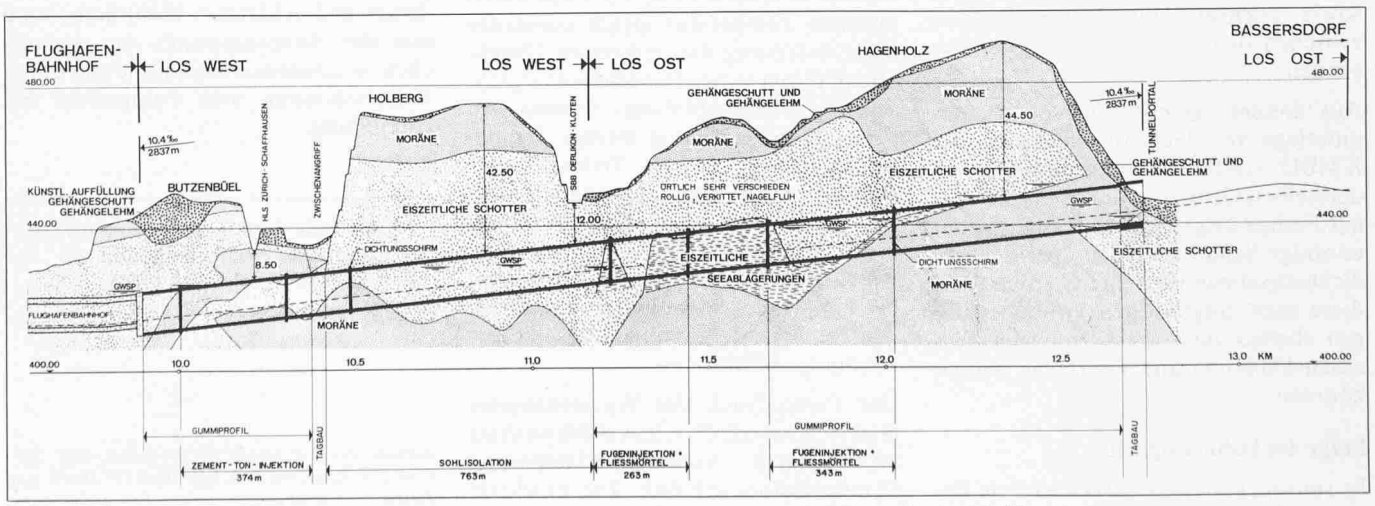


Bild 1. Geologisches Längenprofil mit Eintrag der Dichtungsschirme und der Abdichtungsmassnahmen in der Tunnelsohle

stet bleiben. Dies wurde erreicht durch den Einbau von insgesamt sieben Dichtungsschirmen (Bild 1), welche die Tunnelröhre in Form einer Manschette umschliessen (Bild 2). Jeder Dichtungsschirm besteht aus zwei 40 cm breiten Betonriegeln in 10 m Abstand, die durch einen Schlitz im Tübbingring etwa 60 cm tief ins umgebende, nahezu undurchlässige Material der Moränen und Seeablagerungen eingebunden sind. Der mit Feinkies ausgefüllte Hohlraum zwischen Tübbingring und Bodenmaterial wurde zwischen den beiden Betonriegeln noch mit Zement ausinjiziert.

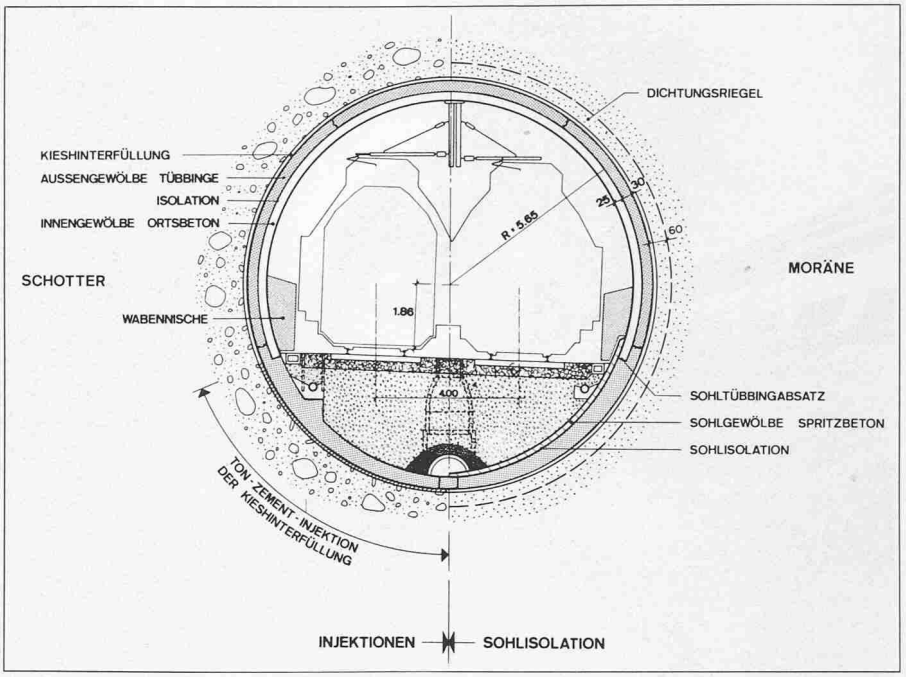


Bild 2. Normalprofil mit Abdichtungsmassnahmen

Abdichtung des Gewölbes oberhalb der Gleise

Da das Gewölbe oberhalb der Gleise trocken bleiben muss, ist in diesem Bereich auf die ganze Tunnellänge eine elastische Isolation eingebaut worden. Im Los West kam eine 1,5 mm starke Chloroprenfolie (Bild 3) zur Anwendung, wobei die einzelnen Bahnen der Folie miteinander verklebt wurden. Im Los Ost wurde eine 1,0 mm starke Hypalonfolie verwendet, deren Bahnen miteinander verschweisst wurden.

Abdichtung der Tunnelsohle

Normalerweise würde bei den vorliegenden Verhältnissen die Tunnelröhre auf ihrer ganzen Länge und auf dem vollen Umfang durch eine elastische Isolation abgedichtet. Um sich aber nicht von vornherein auf die teuerste Lösung festlegen zu müssen, beschlossen Bauherr und Projektverfasser für die Abdichtung der Sohle ein *stufenweises* Vorgehen zu wählen. Es wurden deshalb bereits in der Submissionsphase mehrere Abdichtungsmassnahmen unterschiedlicher Wirkung studiert. Da das Eindringen von geringen Sickerwassermengen in der Sohle unter Beachtung der oben erwähnten Bedingungen zulässig war, wurde als einfachste und billigste Lösung vorgesehen, *Gummiprofile in die Sohltübbingfugen* einzulegen. Durch entsprechende Messungen beim Wiederanstieg des Grundwassers sollte die Wirksamkeit überprüft und je nach Resultat durch weitere Massnahmen ergänzt werden.

Die *Wiederanstiegsversuche* zeigten in der Folge, dass die Gummiprofile zwischen den Sohltübbingfugen den Anforderungen nicht genügten. Durch den Einbauvorgang und durch die hohen Vorschubkräfte der Schilde traten bei den Tübbingfugen Verkantungen und Abplatzungen auf, die zu Wassereintritten führten. Ausserdem waren viele Injektionslöcher, welche der Kieshinterfüllung dienten, ungenügend abgedichtet worden. Die durch diese Leckstellen in den Tunnel eintretenden Grundwassermengen waren gross genug, um den Wiederanstieg des Grundwassers auf die ursprüngliche Spiegellage in Frage zu stellen.

Aufgrund dieser Erfahrungen wurden in den Bereichen der Grundwasserbekken *zusätzliche* Abdichtungsmassnahmen beschlossen. Bei der Planung dieser Massnahmen mussten die Bauprogramme der Unternehmungen mitberücksichtigt werden. Dabei zeigte sich, dass die Abdichtung der Sohle im grössten und wichtigsten Becken Holberg (Bild 1) aus Termingründen keine weiteren Abklärungen mehr zuliess. Deshalb wurde hier die Isolation mit einer Chloroprenfolie beschlossen. Da im Sohlbereich mit erhöhter Beschädigungsgefahr der Folie zu rechnen war, wurde deren Stärke im Vergleich zum Firstbereich auf 2,0 mm erhöht. Der bis

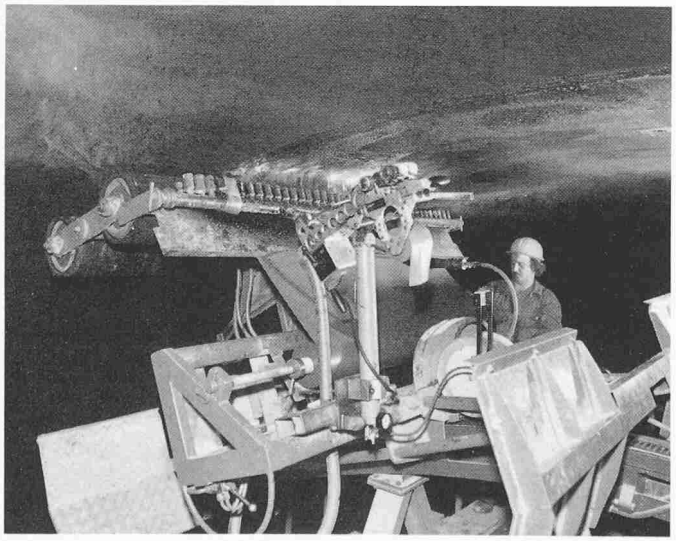


Bild 3. Los West: Aufkleben der Gewölbeisolation auf das Tübbingaussengewölbe



Bild 4. Los West: Erstellen des Spritzbetonsohlgewölbes

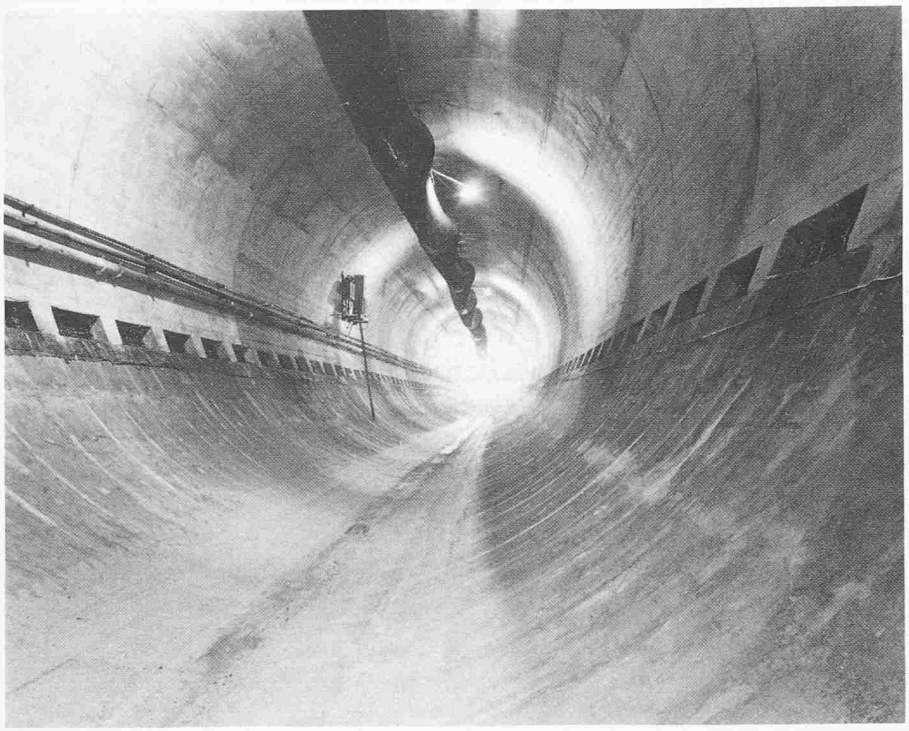


Bild 5. Los West: Der Kieskoffer ist entfernt; mit der Abdichtung der Tunnelsohle kann begonnen werden

14 m hohe Wasserdruck wird durch ein armiertes - je nach Wasserdruck 12 oder 16 cm starkes - Spritzbetonsohlgewölbe (Bild 4) exzentrisch auf das Firstgewölbe übertragen (Bild 2). Als Folge der exzentrischen Kraftübernahme ist das Firstgewölbe in diesem Tunnelabschnitt bis 3,0 m über dem Sohltübbingabsatz armiert.

Die Abdichtung der Sohltübbingfugen in den wasserführenden Schottern im Los Ost wurde wegen der ungenügenden Wirkung des Gummiprofils in einer zweiten Stufe durch injizieren von speziell zu diesem Zweck vorgesehenen *Injektionskanälen* verbessert und ebenfalls anhand eines Wiederanstiegsversuches überprüft. Diese Massnahme hatte ebenfalls nur einen geringen Anstieg des Grundwasserspiegels zur Folge und der Wassereintritt in den Tunnel war weiterhin sehr stark. Erst das zusätzliche *Ausgiessen der Sohltübbingfugen mit einem speziellen Fliessmörtel* brachte eine genügende Abdichtung, so dass der Wiederanstieg des Grundwassers gesichert war. Für die Ausführung musste der bereits teilweise eingebrachte Kieskoffer entfernt und die Fugen sorgfältig gereinigt werden.

Im Bereich Butzenbühl (Bild 1) war hingegen ein Ausgiessen der Tübbingfugen ohne ein vorgängiges Ausfräsen der Fugen nicht möglich und schied deshalb aus Kostengründen aus. Auch kam aus terminlichen Gründen eine Sohlisolation mit Folie nicht in Frage. Nach einem eingehenden Variantenvergleich und nach Ausführung einer Versuchsstrecke wurde beschlossen, die Kieshinterfüllung im Sohlbereich mit einem *Ton-Zement-Wasser-Gemisch* zu injizieren (Bild 2). Dazu musste der als Arbeitsplanum und Fahrbahnpiste eingebaute Koffer nochmals entfernt (Bild 5) und nach erfolgter Injektion wieder eingebaut werden.

Publikationen zum Hagenholztunnel

Hofmann, E.: «Wasserhaltungsprobleme beim Hagenholztunnel». Vortrag, Mai 1974 an der Frühjahrstagung der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik

Andraskay, E., Hagmann, A., Hofmann, E.: «Ausgewählte Projektierungsprobleme und ihre Lösungen bei der Ausführung des Hagenholztunnels». Schweiz. Bauzeitung, Heft 20, 1977

Müller, H.: «Der Hagenholztunnel, Los 6». Schweiz. Bauzeitung, Heft 20, 1977

Frey, R.: «Der Hagenholztunnel Los 7». Schweiz. Bauzeitung, Heft 20, 1977

Andraskay, E., Attinger, R. «Verhalten von vorfabrizierten Tunnelauskleidungen beim Schildvortrieb». 4. International Congress on Rock Mechanics, Montreux 1979

Adresse der Verfasser: *E. Andraskay*, dipl. Ing. ETH, *A. Fluder*, dipl. Ing. ETH, *A. Hagmann*, Dr. dipl. Ing. ETH, in Firma Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich