Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 105 (1987)

Heft: 5

Artikel: Die Neubaustrecke Mannheim-Stuttgart: Tunnelbauten der Deutschen Bundesbahn

Autor: Hefti, Ruedi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76505

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: 13.07.2025

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

und korrekter Dritter in der Position der Gegenpartei unter den konkreten Umständen verstehen durfte und musste», verbindlich ist [29]. Für die Korrektur von unbilligen Auswirkungen vorgeformter Vertragsbedingungen haben die Lehre und die Rechtsprechung differenzierte geschaffen, so die Ungewöhnlichkeitsregel und die Unklarheitsregel. Nach der Ungewöhnlichkeitsregel ist zu untersuchen, ob der Inhalt der (ungelesenen) vorgeformten Bedingung derart aus dem Rahmen falle, dass die Bestimmung für den Vertragspartner unverbindlich sei, weil er mit einer solchen Regelung nicht habe rechnen müssen. Die (nicht ganz unbestrittene) Unklarheitsregel lastet die Unklarheiten demjenigen an, der die unklare Bestimmung aufgestellt hat.

Die Unzulänglichkeit der neuen Norm Haustechnik wurde einzig anhand des Artikels 6 4 *Garantie und Verjährung* aufgezeigt. In Wirklichkeit hält das ganze Kapitel 6 *Abnahme* der neuen SIA-Norm 380/7 einer kritischen Betrachtung nicht stand.

Adresse des Verfassers: *N. Ruoss*, dipl. Bauing. ETH/SIA und lic. iur., Technische und juristische Bauberatung, Rotbuchstrasse 68, 8037 Zürich.

Literatur und Anmerkungen

Dem Aufsatz liegt das Standardwerk Peter Gauch «Der Werkvertrag» 3. Auflage zugrunde. An Hand des Sachregisters und des Normenregisters können die ausführlichen Darlegungen in diesem Werk leicht gefunden werden. Die Nummern (Nr. ...) im Text der unten folgenden Hinweise beziehen sich alle auf dieses Standardwerk.

[1] Dies kritisiert auch Duri Prader in Baurecht 4/81 S. 80.
[2] Verwirkung der Mängelrechte des Bauherrn nach der SIA-LHO 102, Art. 4.5.3, wonach die Mängel, die bis zum *Ablauf* der zweijährigen Rügefrist aufgetreten sind, in Listen nachgeführt werden.
[3] Unterbrechung der Verjährung ausführlich Nr. 1634 ff.
[4] Bruno von Büren, Schweizerisches Obligationenrecht, Besonderer Teil, S. 48 f.
[5] Kausalhaftung für Mangelfolgeschaden Nr. 1845 ff.
[6] Schadenersatz nach Art. 97 Abs. 1 OR Nr. 1685 ff.; Eugen Bucher, Schweizerisches Obligationenrecht, Allgemeiner Teil ohne Deliktsrecht, S. 304, 397; BGE 87 II 159 E.a.
[7] Nr. 1597; BGE 93 II 245.
[8] Oser/Schönenberger Art. 371 N 5, S. 1408 «von Menschenhand aus Material erstellte Sache».
[9] Nr. 1602.
[10] Werkstoff, im weiteren Sinne auch Motoren, Maschinen, Heizungskörper usw. Nr. 61.
[11] Nr. 112 ff. Der Werklieferungsvertrag: Rechtliche Behandlung und Abgrenzung; ausführliche Abgrenzung zum Kauf mit Montagepflicht Nr. 118 ff.
[12] Nr. 1599; BGE 93 II 245.
[13] ausführlich zu Zweckgedanke Nr. 1600.
[14] Nr. 1619.
[15] Nr. 162 individuelle Abrede der Parteien mit weiteren Hinweisen, Nr. 242 f., Vorrang gegenüber den SIA-Normen Nr. 268.
[16] Nr. 950 ff.
[17] Nr. 920 ff.
[18] Nr. 923 ff.
[19] über Wertqualität Nr. 952, über Gebrauchstauglichkeit Nr. 956.
[20] Nr. 1597 mit weiteren Hinweisen.
[21] Allgemeine Vertragsbedingungen, die von den Parteien übernommen wurden, bedürfen immer auch der Auslegung Nr. 165.
[22] Werklieferungsvertrag Nr. 110 ff.
[23] Stofflieferung durch den Unternehmer Nr. 77.
[24] Zur Unterscheidung von Garantie- und Verjährungsfrist Nr. 1986.
[25] ausführlich Nr. 1662 ff. und mit Hinweisen auf die Botschaften.
[26] Nr. 1663.
[27] ausführlich Baurecht 1/79 S. 8.
[28] Zu vorgeformten Vertragsbestimmungen siehe Jäggi/Gauch, Kommentar zu Art. 18, 463 ff., S. 118; Peter Gauch, Vorgeformte Baubedingungen, Baurecht 1/79 S. 4
[29] Hans Giger, Grundsätzliches zum Einbezug Allgemeiner Geschäftsbedingungen in den Einzelvertrag, Schriftenreihe zum Konsumentenschutzrecht, Band 5, S. 60 und S. 63.

Die Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart

Tunnelbauten der Deutschen Bundesbahn

Von Ruedi Hefti, Zürich

Streckenführungen aus der Gründerzeit ermöglichen der Bahn keine zeitgemässen, wettbewerbsfähigen Reisegeschwindigkeiten mehr. Folgerichtig investiert die Deutsche Bundesbahn Milliarden in neue und modernisierte Trassen, um die Attraktivität des umweltschonenden Verkehrsmittels zu erhöhen.
Auf eine Ausbaugeschwindigkeit von 250 km/h ausgelegte Trassierungsparameter, umweltpolitische Abwägungen sowie topographische Randbedingungen erfordern eine Vielzahl von aufwendigen Kunstbauten auf der rund 100 km langen Neubaustrecke.
Insbesondere soll an dieser Stelle auf einige der im Tagbau oder in bergmännischer Weise zu erstellenden Tunnelbauwerke eingegangen werden [1].

Auf der Neubaustrecke der Deutschen Bundesbahn, zwischen Mannheim und Stuttgart, streben die baulichen Aktivitäten an den Dämmen, Brücken und Tunnels ihrem Höhepunkt entgegen. Seit die Projektgruppe in allen Abschnitten die rechtlichen Voraussetzungen zum Bau erfüllt, investiert sie über zwei Millionen DM pro Arbeitstag für die neue Bahn und sichert damit fast 10 000 Arbeitsplätze.

Baubeginn für das 3,65 Milliarden DM teure Projekt (Preisstand 1985) war 1976 in Mannheim. Nach der etappenweisen Inbetriebnahme werden ab 1991 die Intercity-Expresszüge (ICE) die gesamte Strecke bis nach Stuttgart in der Hälfte der heutigen Reisezeit zurücklegen. Zwanzig Jahre werden dann von den ersten Überlegungen bis zum fertigen Bauwerk verstrichen sein.

Zehn Jahre, von 1974 bis 1984, dauerte allein die Planfeststellungsphase. Während dieser Zeit (und ebenso in der nun laufenden Bauphase) galt und gilt es, die zahlreichen bauverzögernden Einsprachen aus der Bevölkerung sorgfältig zu prüfen. Pläne mussten geändert, tiefliegende Einschnitte beispielsweise überdeckt und rekultiviert werden.

Die Linienführung im dichtbesiedelten Rheintal hält sich weitgehend neben bestehenden Verkehrswegen, um ein zusätzliches Zerschneiden der Landschaft zu vermeiden. Im Hügelland zwischen Bruchsal und Stuttgart verläuft der neue Schienenweg überwiegend abseits der Orte, um deren Entwicklung nicht zu behindern und die Anwohner möglichst wenig zu belasten. Die Gesamtlänge der Neubaustrecke von 100 km gliedert sich in folgende Streckenanteile:

- Damm	22 km
- Einschnitt	38 km
- Brücken (90 Stk.)	5 km
- ebenerdig	4 km
- Tunnel (15 Stk.)	31 km
(davon rund 15 km im Tagbau)	

Für die Tunnelbauten bildete die Überdeckung von mindestens einem Tunneldurchmesser die Entscheidungsgrenze für das gewählte Bauverfahren (offene bzw. bergmännische Bauweise).

Für die oberflächennah geführten Tagbautunnels kommt das Tragwerksprinzip des Rechtecktrahmens mit abgeschrägten Ecken zur Anwendung; bei grösseren Überdeckungen (bis zu 15 m) wird der Querschnitt als Gewölbe ausgebildet. Bis auf zwei Ausnahmen (betonagressive Umgebung) werden diese Tunnels in wasserundurchlässigem Beton ohne Aussenabdichtung hergestellt.

Den in bergmännischer Bauweise zu erstellenden Objekten gingen umfangreiche Erkundungsmassnahmen mit Probevortrieben voraus. Durch dieses Vorgehen konnten detaillierte Erfahrungen mit der Geologie/Hydrologie des anstehenden Gebirges gesammelt und geeignete Vortriebsmethoden gewählt werden.

Tunnel Forst

Der hier betrachtete Teilbereich der Neubaustrecke mit Querung der Autobahn A5 Heidelberg–Karlsruhe sowie einer Kreisstrasse wären am wirtschaftlichsten in einer Dammlage auszuführen gewesen. Diese kostengünstige Variante wurde von der betroffenen Gemeinde Forst jedoch nicht akzeptiert. Eine solche Hochlage hätte die Gemeinde vom angrenzenden Naherholungsgebiet abgesperrt, die Lärmeinwirkung stark erhöht und durch die Autobahn, die Kreisstrasse und den Bahndamm wäre eine weitere flächenmässige Entwicklung der Gemeinde praktisch vollständig verhindert. Aus diesen Gründen fällt das Trassee in einer 993 m langen Trogstrecke bis zur Autobahn ab, unterquert diese und steigt in einem 1726 m langen Tunnel mit anschliessender Trogstrecke von 504 m wieder an die Terrainoberfläche an (max. Gefälle 12,4‰).

Baugrund

Die geologisch sehr jungen Ablagerungen (Quartär) des Rheintalgrabens bestehen im wesentlichen aus Sanden und Kiesen, die durch Dünenzüge und versandete Rinnen gegliedert sind. Bohrungen im Baugrund ergaben eine Wechsellagerung von Feinsand, Sand und Kiessand. Diese sind bis in eine Tiefe von etwa 6 m bis 7 m locker, darunter mitteldicht bis dicht gelagert. Der Grundwasserspiegel liegt knapp unter Geländeoberfläche, die Durchlässigkeit des Bodens in horizontaler Richtung ist relativ gross ($k = 3{,}4 \cdot 10^3$ m/sec). Eine Grundwasserabsenkung zum Erstellen der etwa 12 m tiefen und 20 m breiten Baugrube in offener, geböschter Bauweise hätte einen erheblichen Eingriff in den Grundwasserhaushalt bedeutet und wurde als nicht umweltverträglich abgelehnt.

Das Bauwerk

Ausgehend von den Lichtraumprofilen für die Neubaustrecke der Deutschen Bundesbahn kommt beim Tunnel Forst ein Tunneldoppelspurprofil als Rechteckquerschnitt mit oben abgeschrägten Ecken zur Ausführung (Bild 1).

Die aus der Sohlplatte auskragenden Sporne aktivieren das über ihnen liegende, zwischen Baugrubenabschluss und Tunnelaussenwand aufgefüllte Bodengewicht. Ohne diese Auflast wäre eine ausreichende Auftriebssicherheit bei den gewählten Bauteilabmessungen im Endzustand nicht gewährleistet. Es wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Baugrube nicht in das Bauwerk integriert wird und keinerlei tragende oder dichtende Funktion mehr besitzen soll.

Die Blocklänge der Betonieretappen (rund 300 m³) beträgt 8,80 m. Zur Abdichtung gegen das Grundwasser wird wasserundurchlässiger Beton in Verbindung mit Kunststoffugenbändern (Blockanschlüsse) verwendet. Jeweils ein Tunnelblock ist zur Vermeidung von Arbeitsfugen monolithisch in einem Arbeitsgang betoniert. So wird eine vermehrte Rissbildung durch Schwinden und Temperaturdehnung verhindert.

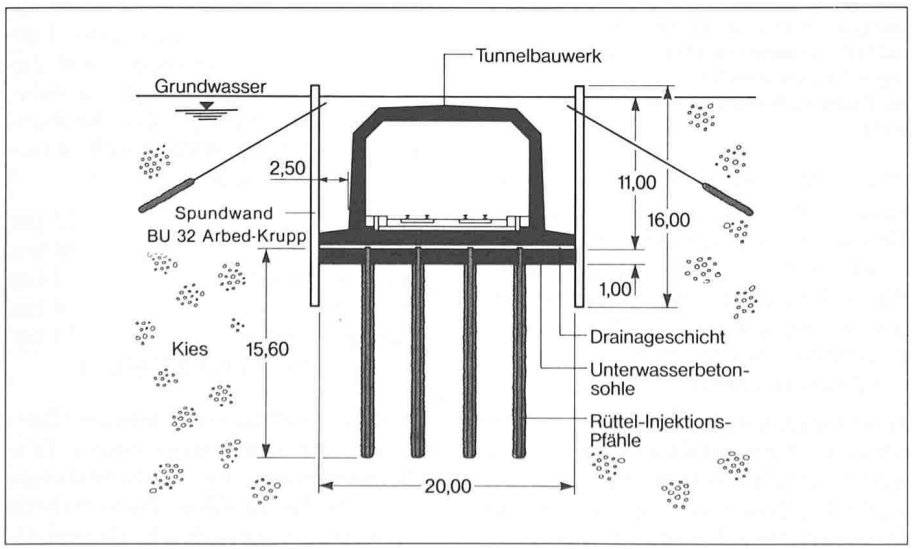
Bauablauf

Dem Ausschreibungsentwurf wurde eine wasserdichte Baugrubenumschliessung mit Unterwasserbetonsohle zu Grunde gelegt. Zur Prüfung der technischen Durchführbarkeit des Entwurfes kam unabhängig von der Ausschreibung eine Probebaugrube zur Ausführung, wo wichtige Erkenntnisse für den späteren Bauablauf gewonnen werden konnten.

Im Sinne einer wandernden Baustelle (Bild 2) von rund 450 m Länge werden zunächst 17 m lange, 8 Tonnen schwere Spundwand-Doppelbohlen in den Boden gerüttelt (bis zu 20 Doppelbohlen pro AT). Noch oberhalb des Grundwasserspiegels wird die Spundwand mit einer Ankerlage mit wiederverwendbaren Longarinen zurückverankert. Ein Portalgreifer (Inhalt 5 m³) hebt den kiesigen Boden zwischen den Spundwänden und den im Abstand von 70 m eingebrachten Querschotts aus. Die Feinplanie wird mit einer Unterwasser-Baggerpumpe, Toleranz 10 cm, ausgeführt. Von dem gesamten Aushubmaterial kann ein grosser Teil zur Betonherstellung wiederverwendet werden. Die nächste Bauphase dient dem Einbringen von 16 m langen Rütelinjektionspfählen. Diese im Raster von 4×4 m eingebrachten HEB-Profile müssen nach dem Leerpumpen des Abschnittes die Auftriebssicherheit der Bodenplatte gewährleisten; dies ergibt eine Pfahlbelastung von rund 1200 kN.

Die Pfahlköpfe sowie die Spundwände auf Höhe des anschliessend eingebrachten, 1 m dicken Unterwasserbetons werden durch Taucher gereinigt, um einen einwandfreien, dichten Anschluss an die Profile zu sichern. Zum Einbringen des Unterwasserbetons sind mehrere in Baugrubenquerrichtung angeordnete Betoniertrichter auf einer fahrbaren Brücke installiert. Der Betoniervorgang der so im Contractorverfahren eingebrachten Betonmenge von 1600 m³ dauert rund 24 Stunden. Nach Erhärtung der Sohle wird das Wasser weggepumpt. Im nun vorhandenen Trockendock werden die 8,80 m langen Tunnelblöcke im «Pilgerschritt» mit zwei fahrbaren Schalwagen erstellt. Der geplante Arbeitstakt von zwei Blökken pro Woche konnte erreicht und teilweise sogar überschritten werden.

Bild 1. Querschnitt Tunnel Forst



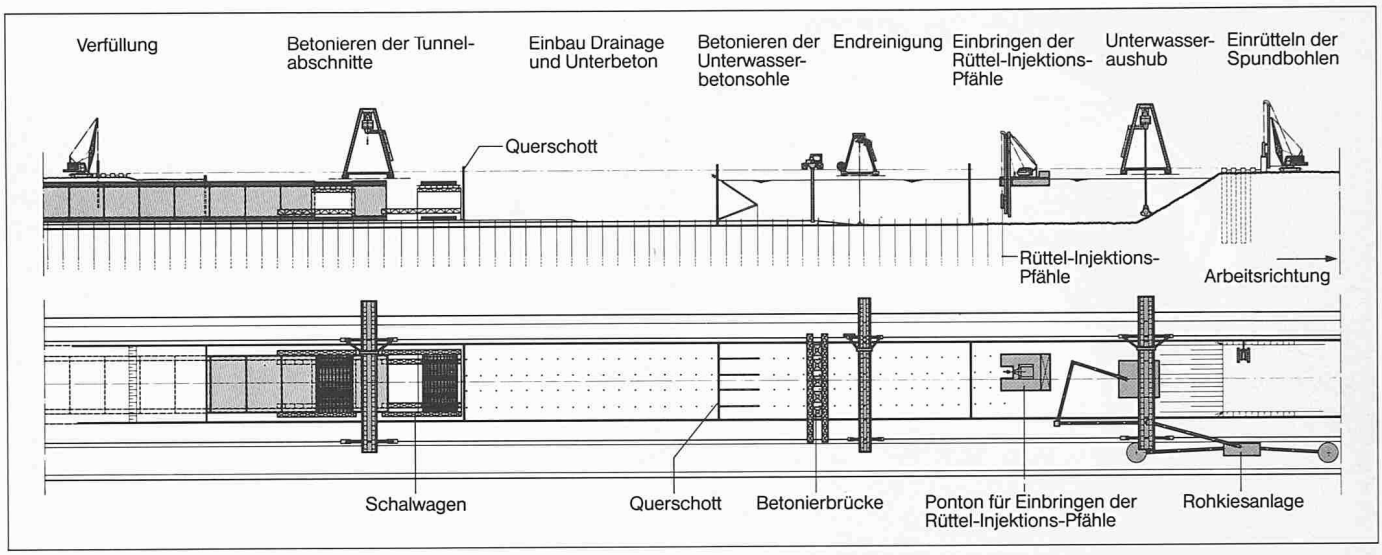


Bild 2. Systematischer Arbeitsablauf Forsttunnels

Als Abschluss verfüllt man den Arbeitsraum zwischen dem Bauwerk und den Spundbohlen, diese werden gezogen und am Kopf der Baustelle wieder eingerüttelt.

Durch die Wiederverwendung der für die Baugrubenherstellung verwendeten Materialien (Spundwand, Longarinen, Querschotte usw.) konnten mit diesem Prinzip der «wandernden Baustelle» wesentliche Kosten eingespart werden. Die Vergabesumme betrug rund 85 Mio DM, die Bauzeit wird mit 4 Jahren angegeben.

Tunnel Rollenberg

Das Trassee der Neubaustrecke verlässt bei Bruchsal die Rheinebene und tritt bei km 45 in das Hügelland des Kraichgaus ein. Zur Durchfahrung dreier Hügelzüge wird hier der Bau des 3303 m langen Rollenbergtunnels erforderlich (Überdeckung 6 m bis 60 m).

Durch die Einführung der bestehenden Bahnstrecke Stuttgart–Heidelberg in diesem Bereich weist das Westportal einen tiefen Einschnitt auf (Bild 3). Der anfänglich dreigleisige Portalquerschnitt mit einer Ausbruchsfläche von 260 m² verjüngt sich in einem 250 m langen Trompetenbauwerk auf den zweigleisigen Ausbruchsquerschnitt von rund 110 m².

Zur Untersuchung der Gebirgseigenschaften und mit dem Ziel der Gebirgsentwässerung gingen dem eigentlichen Bau umfangreiche Erkundungsmassnahmen voraus. Von 1980 bis 1984 dauerte dieses mit einem Kostenaufwand von 16,5 Mio DM betriebene Untersuchungsprogramm.

Zunächst wurde von einem Schacht aus eine 38 m lange Probevortriebsstrecke in der Kalotte des späteren Tunnels aufgefahren. Anschliessend baute man vom selben Schacht aus einen 1575 m langen Erkundungsstollen (F = 12 m²) in der Sohle des späteren Tunnels, einschliesslich zweier Aufweitungen von 100 m auf die volle Grösse des späteren Profils.

Dank eines Fensterstollens im Bereich des Schachtes, der in eine der genannten Aufweitungsstrecken führt, konnte der Rollenbergtunnel von den Portalen wie auch von diesem Zwischenangriff her aufgefahren werden.

Heute sind die Arbeiten für den Innenausbau in vollem Gange, Mitte 1987 soll der 90 Mio DM teure Tunnel nach 31monatiger Bauzeit vollendet sein.

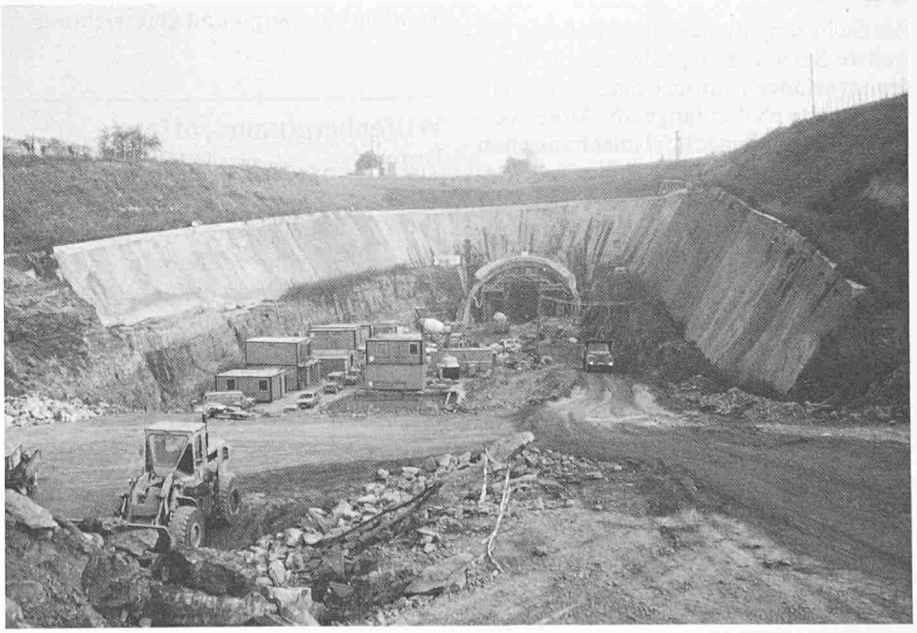
Geologie

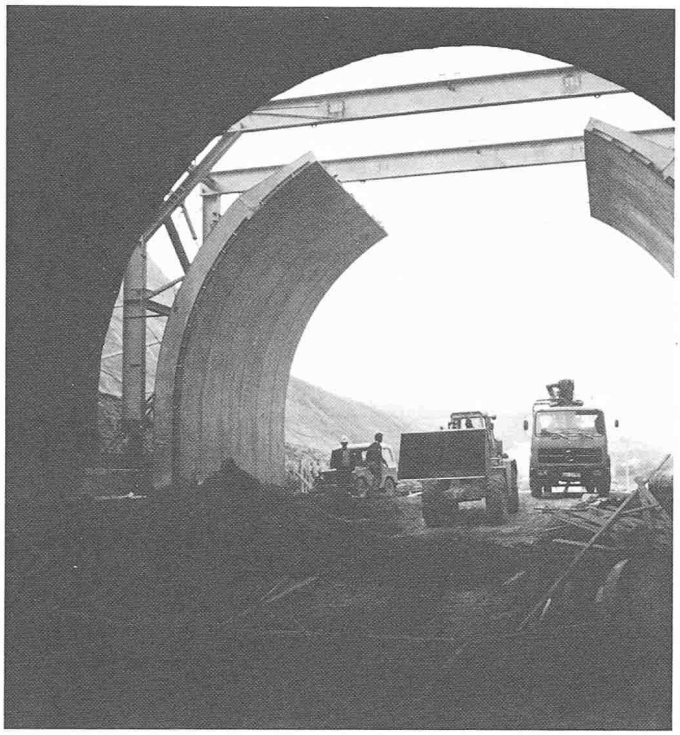
Der Tunnel durchfährt mit 12,5 ‰ Steigung die Formationen des Muschelkalkes, des Lettenkeupers sowie den Gipskeuper mit verschiedenen Gips- und Mergelhorizonten. Der Muschelkalk besteht überwiegend aus harten Kalksteinen und Dolomiten, im westlichen Portalbereich sind diese durchsetzt mit Karsthöhlen und Gängen.

Der Lettenkeuper setzt sich vor allem aus harten Tonsteinen zusammen, in welche zum Teil dickbankige Dolomite und Sandsteine eingelagert sind.

Im Gipskeuper weisen die dünnbankigen Ton- und Mergelschichten unterschiedliche Verwitterungsgrade auf. Fester Fels wechselt ab mit stark verwittertem, bis steifplastischem Gestein. In dieser Zone wurde in den Mergeln ein hoher Anteil an quellfähigen Tonmineralien festgestellt.

Bild 3. Voreinschnitt West des Rollenbergtunnel





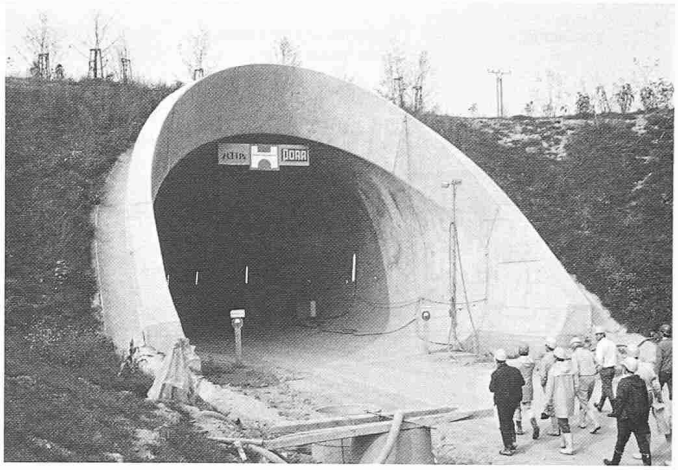


Bild 5. Portal Tunnel Wilfenberg

Bild 4 (links). Fahrbare Gewölbeaussenschalung Tunnel Wilfenberg

Ausbruch- und Sicherung

Der Ausbruch wurde in Kalotte, Strosse und Sohle aufgeteilt. Das Nachziehen der Strosse und der Sohle erfolgte erst nach Beendigung des Kalottenvortriebes. Im Bereich des zum Teil stark verwitterten Gipskeupers wurde der Ausbruch mit einem Tunnelbagger vorgenommen. Bei sehr schlechten Gebirgsverhältnissen stabilisierte ein Stützkern die Ortsbrust in der Kalotte, den Firstbereich sicherte man mit voreilenden Spiessen oder Blechen. Die Abschlagslänge betrug je nach Güte des Gesteins 1 m bis 2 m. Im festeren Gestein kam ein Fräsbagger zum Einsatz. In der Zone des Muschelkalkes und des Lettenkeupers wurde mit einer Abschlagslänge von rund 2,50 m gesprengt.

Als Sicherung diente eine zweilagig bewehrte Spritzbetonschale, die im Nassspritzverfahren aufgetragen und zusätzlich durch 4 m lange SN-Anker verstärkt wurde. Je nach felsmechanischen Verhältnissen variert die Spritzbetonstärke von 15 cm bis 30 cm, bei Bedarf sind weiter Ausbauträger unterschiedlicher Profilstärke eingespritzt.

Innenschale

Die Innenschale wird aus wasserundurchlässigem Stahlbeton hergestellt. Eine Isolation zur Spritzbeton-Aussenschale fehlt.

Vorauseilend erfolgt das Betonieren der Sohle, die je nach Gebirgs- und Wasserverhältnissen als Gewölbe oder Platte ausgebildet ist. In 11 m langen Blöcken rückt der Gewölbeteil nach. Es gelangen zwei Schalwagen zum Einsatz, wobei der erste jeweils eine Lücke von einem Block ausspart, die durch den zweiten nachlaufenden Wagen geschlossen wird. Die Arbeitsfugen zwischen Sohl- und Gewölbeteil sind mit Stahlblechfugenband, die Ringfuge zwischen den Blöcken mit Kunststoffband abgedichtet. Zur Vermeidung einer Verzahnung (vermehrte Rissbildung) zwischen Spritzbetonring und Innenschale dient eine auf den Spritzbeton aufgebrachte Luftpolsterplastikfolie.

Im Bereich des dreigleisigen Profils am Westportal weist die Innenschale eine Dicke von 1,20 m auf. Im Regelfall ist sie rund 40 cm dick mit einer inneren und äusseren Armierung von etwa 6 cm^2/m' in Längs- und Querrichtung.

Wilfenbergtunnel, offene Bauweise

Der Wilfenbergtunnel (Streckenkilometer 69 von Mannheim aus) ist 1006 m lang. Wegen der geringen Überlagerung und den tunnelbautechnisch schwierigen geologischen Verhältnissen werden rund 750 m in offener und etwa 250 m in bergmännischer Weise hergestellt.

Die temporären Böschungen der bis zu 25 m tiefen, offenen Baugrube sind je nach Aushubtiefe zwischen 0,9:1 bis 2,0:1 geneigt. Diese relative grosse Steilheit erfordert eine Sicherung der Böschung gegen Erosion mit Spritzbeton.

Baugrund

Die oberste Deckschicht entlang des Streckenabschnittes bilden quartäre Gletscherablagerungen von sehr unterschiedlichen Mächtigkeit. Sie bestehen überwiegend aus steifem Lösslehm und Löss ($\varphi'=30°$, $c'=20$ KN/m^2). Die darunterliegenden Gesteine aus dem Gipskeuper (tonige Schluffe, verwitterte Mergel) gehen tiefer in harte, dunkelrote Mergel über. Im ganzen Bauabschnitt sind die Keuperschichten jedoch bis weit unter die Tunnelsohle verwittert.

Profilwahl

Im Bereich der offenen Bauweise wurden Rechteckquerschnitte sowie Gewölbeprofile mit horizontalen und geneigten Sohlen untersucht. Diese Querschnittsformen hatten trotz variieren der Sohlform (abschrägen, verdicken) wegen der bis zu 17 m hohen Überdekkung unwirtschaftliche Bauwerksabmessungen und Bewehrungen zur Folge. Verschiedene Untersuchungen ergaben, dass das aus dem bergmännischen Vortrieb bekannte Maulprofil mit Sohlgewölbe zur kostengünstigsten Lösung führt.

Durch eine gewählte Schalendicke von 50 cm im Gewölbebereich ist das Bauwerk in Relation zum umgehenden Boden relativ weich. Diese Verhältnisse erfordern eine Bettung in Sohle und Ulme bis zu etwa 4 m über Schienenoberkante mit Hinterfüllmaterial, welches die seitliche Bewegungsbehinderung garantiert (hochwertiger, verdichteter Kies).

Viel Aufwand auf der gesamten Neubaustrecke betreibt die Deutsche Bundesbahn zur Gestaltung ihrer Tunnelportale. Die Eingänge des Wilfenbergtunnel zum Beispiel sind mit komplizierter Schaltechnik (doppelgekrümmte Schalflächen) so gestaltet, dass sie sich mit ansprechender Leichtigkeit in die Landschaft einfügen (Bild 5). Wie ein Rollkragen wölbt sich der Portalkranz um das Tunnelprofil und unterstreicht in seiner Form das Gefühl der Hochgeschwindigkeit.

Verformungen

Abhängig von der Baugrubentiefe stellen sich beim Aushubvorgang im Bereich der offenen Baugrube Hebungen der Sohle ein, die rund 10 bis 15 cm betragen. Während des Wiederverfüllens passt sich das Bauwerk den fortschreitenden Setzungen in der Form einer Gliederkette an. Diese Setzungen bewegen sich etwa in der gleichen Grössenordnung von 10 cm bis 15 cm bei maximaler Überdeckung. Da der Tunnel in einzelnen Blöcken gefertigt wird, müssen die durch die Setzungen hervorgerufenen Verdrehungen zwischen den Blöcken durch eine entsprechende Fugenausbildung aufgenommen werden können. Insbesondere muss die Dichtigkeit der Fugen gewährleistet sein. Die Fugen werden daher mit einem der Verdrehung entsprechendem Abstand ausgebildet und der Zwischenraum gegen hereindrängendes Material gesichert. Letzteres geschieht mit verformbaren Fugeneinlagen und einseitig befestigten Abdeckungen.

Weiter treten während des Ausschalvorganges im Firstbereich elastische Deformationen von etwa 15 mm auf, infolge Überschüttung betragen die bauwerkseigenen Verformungen im First max. 35 mm. Unter Berücksichtigung des Kriechens rechnet man mit einer maximalen Firsteinsenkung von 100 mm. Ein Teil dieser Verformungen wird durch eine vorgesehene Firstüberhöhung aufgenommen, der Rest durch einen Toleranzbereich von 10 cm im Lichtraumprofil des Tunnelquerschnittes abgedeckt.

Bauablauf

Im Taktverfahren werden die 83 Blöcke von je 8,80 m (Tagbaubereich) im Sinne einer wandernden Baustelle errichtet. Die Baugrubenlänge beträgt 150 m bis 200 m, so dass jeweils der Aushub ohne Zwischendeponie zur Wiederauffüllung verwendet werden kann.

Der Betonquerschnitt wird in wasserundurchlässigem Beton hergestellt, eine zusätzliche Abdichtung fehlt. Diese Bedingung hat zur Folge, dass die einzelnen, durch Fugenbänder getrennten Blöcke, monolithisch zu fertigen sind. Die insgesamt 200 m³ Beton pro Block wurden mit einer Leistung von 25 m³/Stunde gepumpt und mit Schalungsrüttlern vibriert. Aus der Bedingung der monolithischen Bauweise kommt wegen des hohen technischen Aufwandes nur ein Schalwagen zum Einsatz. Der innere Schalwagen fährt auf einer Brücke aus Vorbauträgern, die ungefähr die doppelte Blocklänge aufweisen und den Betonierabschnitt abstützungsfrei überspannen. Bei diesem Betoniervorgang «Block an Blok» waren die durch die einseitige Stirnschalung auftretenden Längskräfte besonders zu beachten.

Die Längsentwicklung des Betonierablaufes sieht folgendermassen aus: 3 Blocklängen für Magerbeton und Hilfsfundamente, Verschiebebahnkran und Schalungswagen; 2 Blocklängen für vorauslaufende Sohlbewehrung; 1 Blocklänge für die Herstellung der Gewölbebewehrung (bis 22 to) auf Bewehrungswagen; 1 Blocklänge für Innen- und Aussenschalwagen sowie Betoniervorgang (Bild 4).

Nach einer gewissen Anlaufzeit liegt heute die Leistung bei zwei Blöcken pro Woche. Anfang 1987 wird der gesamte Tunnel nach 21monatiger Bauzeit vollendet sein.

Tunnel Freudenstein

Ein 6800 m langes Tunnelbauwerk ist erforderlich, um die Hügelzüge des Stromberges zu durchfahren. Wegen der grossen Überlagerung von bis zu 100 m sind etwa 6100 m im Bergbau zu erstellen. Im südöstlichen Portalbereich werden im Schutze einer aufgelösten, verankerten Pfahlwand noch rund 700 m Tunnel im Tagbau gebaut. Der Bau eines vorgängig erstellten Erkundungsstollens auf der gesamten Tunnellänge ist abgeschlossen.

Geologie

Die Geologie gibt bei diesem Tunnel besondere Probleme auf. Unverwitterte Anhydritschichten im rund 160 m mächtigen Gipskeuper quellen bei Wasserzutritt bis zu 40% ihres ursprünglichen Volumens. Bei verhinderter Quelldehnung ergeben sich im Labor Quelldrücke von bis zu 7 N/mm². Von Westen her fährt der Tunnel rund 3600 m in diesem unverwitterten, meist trockenen Gebirge, um dann gegen das östliche Portal hin leicht steigend in verwitterte und wasserführende Esterienschichten einzutauchen. Die Grenze zwischen ausgelaugtem und nicht ausgelaugtem Gebirge ist hier in Form eines Gips- und Anhydritspiegels meist scharf ausgebildet.

Zur genauen Erfassung der vorliegenden Gebirgseigenschaften ist die Sektion für Fels- und Untertagebau der ETH Zürich an Quellversuchen in Situ beteiligt.

Bei Behinderung der Quelldehnungen durch ein satt an das Gebirge anliegendes Sohlgewölbe treten je nach Quellpotential des Gebirges mehr oder weniger hohe Drücke auf das Sohlgewölbe auf. Überschreitet dieser Quelldruck eine bestimmte Grenze, so kann selbst mit der Wahl eines Kreisprofils mit vertretbarer Gewölbestärke und Bewehrung der Druck nicht mehr aufgenommen werden.

Das ursprüngliche Projekt mit einem Kreisprofil und einer bewehrten Innenschale, welche in der Sohle eine Stärke von 1,70 m und im Scheitel 1,20 m aufwies, wurde fallengelassen. Stattdessen gelang das von Prof. Dr. *K. Kovari* und seinen Mitarbeitern ausgearbeitete «Verfahren mit nachgiebiger Sohlstützung» zur Ausschreibung. Es beruht auf der Erkenntnis, dass eine Zulassung von Quellhebung mit einer raschen Abnahme des Quelldruckes einhergeht. Zwischen Gebirge und Sohlgewölbe wird deshalb eine Knautschzone (Blähtonschüttung) eingeschaltet, welche durch ihre Zusammendrückbarkeit die erwünschte Sohlhebung zulässt. Die Abmessungen dieser Knautschzone ergaben sich aus den im Labor ermittelten Quellparametern des Gipskeupers, dem maximal zugelassenen Quelldruck sowie den Verformungseigenschaften des Verfüllmaterials. Durch die wesentliche Begrenzung des max. Quelldrucks kommt ein flaches Sohlgewölbe zur Anwendung, das gegenüber dem Kreisprofil bei geringerem Ausbruchvolumen auch einen grösseren Baufortschritt erlaubt.

Erkundungsstollen

Der Erkundungsstollen wurde, unterteilt in Los 1 und Los 2, von beiden Portalen her aufgefahren. Für das Auffah-

Bild 6. Vollschnittmaschine mit spreizbarem Messerschild (Erkundungsstollen Freudenstein-Ost)

ren des Stollens von Osten her wurde auf rund 1,4 km Länge eine Vollschnittmaschine mit spreizbarem Messerschild eingesetzt (∅ 5,30 m) (Bild 6). Die Grundwasserverhältnisse erforderten einen Betrieb unter Druckluft. Unter den vorliegenden Gebirgs- und Wasserverhältnissen hat sich das System jedoch nicht bewährt. Schlammiges Ausbruchsmaterial führte zu einem vollständigen Verkleben der Meissel und der Förderschaufeln; in Handarbeit musste der gesamte Bohrkopf jeweils gereinigt werden. Durch das Entspannen und Wiederspannen der Spreizmesser auf einer Länge von 10 m wurde das Gebirge im Firstbereich stark aufgelokkert, was Nachbrüche zwischen Bohrkopf und Messerschild hervorrief. Mehrausbrüche traten auch hinter dem Nachlaufschildmantel auf, welche auf die Tübbingschalung fielen. Dadurch sind Fehlstellen durch Gebirgseinschlüsse in der Extrudierbetonschale aufgetreten, die saniert werden mussten.

Die Weiterführung des Stollens im Westen (nach Ausbruch einer Aufweitung im Sprengvortrieb) wurde in standfestem, trockenem Gebirge mit einer bewährten Vollschnittmaschine aufgefahren und das Gebirge mit bewehrtem Spritzbeton gesichert. Zwei Züge mit Kippwagen transportierten das Ausbruchsmaterial in eine Schuttergrube im Voreinschnitt.

Weiterer Bauablauf

Das Gebirge wird zurzeit in allen kritischen Abschnitten gegen Wasser abgedichtet. Teile des Haupttunnels befinden sich heute im Bau, die Schutterung erfolgt im Geleisbetrieb durch den bereits vorhandenen Erkundungsstollen (Bild 7). Zur Zeit läuft die Ausschreibung für die wichtigsten Lose des Haupttunnels. Im Hinblick auf die Eröffnung der Neubaustrecke im Jahre 1991 befindet sich das Bauwerk des Freudensteintunnels auf dem kritischen Weg, und es werden alle Anstrengungen unternommen, den Tunnel mit all seinen geologischen und technischen Schwierigkeiten als letztes Glied in der Kette termingerecht zu vollenden.

Adresse des Verfassers: *R. Hefti*, dipl. Bauing. ETH, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Anlässlich der Exkursion der Fachgruppe für Untertagbau (FGU) vom 16./17. Oktober 1986 wurden von Vertretern der Bundesbahndirektion Karlsruhe sowie eines beratenden Ingenieurbüros für Felsmechanik und Tunnelbau die hier beschriebenen Baustellen der Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart vorgestellt.

Literatur

[1] Verschiedene Publikationen der Deutschen Bundesbahn Projektgruppe M/S, Karlsruhe, sowie Coordinated Engineering Edition/ibw 1, 2 (Bild 1, Bild 2), Herausgeber Dipl. Ing. *G. Prommersberger*

Zuschriften

Eternit und neue Technologie

In Heft 46/86 wird unter dem Titel «As(p)est», Kehrseite der Medaille «auf die vorhandene Gefährlichkeit von Asbest hingewiesen. Mit dem im Leitartikel erwähnten Satz, wonach der Eternit AG aufmerksamen Spürsinn attestiert werden kann, nachdem sie frühzeitig aus dem Asbestgeschäft ausgestiegen sei, könnte dem nicht näher mit der Materie vertrauten Leser ein Zusammenhang zwischen Eternit und Spritzasbest suggeriert werden, vor allem deshalb, weil sich die drei nachfolgenden Artikel vorwiegend mit Spritzasbest befassen. Die Eternit AG hat sich jedoch nie mit der Herstellung und/oder Anwendung von Spritzasbest befasst. Umgekehrt ist der Korrektheit halber festzuhalten, dass die Eternit AG derzeit noch nicht vollständig auf die Verwendung von Asbest verzichten kann. Die Entwicklung geeigneter Asbestsubstitute ist technisch schwierig und erfordert umfangreiche und kostspielige Aktivitäten im Bereich Forschung, Entwicklung und Langzeiterprobung. Dieser Weg hat zum Ziel, bis 1990 alle Hochbauprodukte auf eine asbestfreie Materialtechnologie umzustellen. Mit einem Forschungsaufwand von bis jetzt über 50 Mio. Fr. ist es der schweizerischen Eternit-Gruppe gelungen, alle Gartenartikel sowie Dach- und Fassadenschiefer wie auch Lüftungsrohre in asbestfreier, neuer Technologie anzubieten. Heute sind bereits mehr als 50% der gesamten Produktionspalette asbestfrei!

Die Eternit AG ist sich ihrer Verantwortung im Umgang mit Asbest voll bewusst. So hat sie unter anderem durch die Herausgabe eines für die Eternit-Gruppe weltweit mit gleichem Standard gültigen Sicherheits-Handbuch die von der Internationalen Arbeitskonferenz (ILO) geforderte maximale Faserkonzentration am Arbeitsplatz von 1 Faser/m³ schon seit einiger Zeit vorweggenommen.

Zur Gefährdung durch Asbestfasern ist anzumerken, dass nicht generell alle Asbestfasern für Erkrankungen verantwortlich sind. Es können nur die sogenannten atembaren Asbestfasern, die einen Durchmesser kleiner als 3 µm und eine Länge grösser als 5 µm aufweisen – wie sie beispielsweise bei einem unsachgemässen Umgang mit Asbest entstehen können – ins Lungengewebe gelangen und bei Auftreten in grosser Konzentration und längerer Einwirkung Asbestose, Lungenkrebs oder Mesotheliom verursachen.

Die generelle Asbestbelastung der Umwelt durch alte, asbesthaltige Faserzement-Produkte ist gering, wie dies aus der bereits 1980 durchgeführten «Leoben-Studie» hervorgeht [1]. Diese Untersuchung wird bestätigt durch Untersuchungen des Bundesamtes für Umweltschutz [2], wie auch einer soeben in Deutschland erschienenen Studie [3]. Letztere ist speziell der Frage nachgegangen, ob allfällig durch Witterungseinflüsse angegriffene Asbestzementprodukte zu unzulässigen Immissionen führen können. Die Untersuchungen durch Messungen auf und in der Umgebung von Häusern mit Asbestzement-Dächern ergaben, dass die gemessene Asbestfaserkonzentration weit unter dem vom Bundesgesundheitsamt als tolerabel angesehenen Wert von unter 1 000 Fasern/m³ liegt. Diese Tatsache veranlasste das deutsche Bundesgesundheitsamt zu folgender Feststellung [4]:

«Aus Messungen ergibt sich, dass die Bewohner von Häusern, die mit Asbestzement-Platten gedeckt sind, auch nach Verwitterung der Oberfläche keinem merklich erhöhten Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind.»

Bereits 1983 hatte das deutsche Bundesgesundheitsamt eine Risikobewertung der unterstellten Faserbelastung von 1000 Fasern/m³ vorgenommen und dazu folgendes ausgeführt [5]:

«Unter Zugrundelegung äusserst vorsichtig getätigter Annahmen und Berechnungen haben unsere diesbezüglichen Abschätzungen ergeben, dass das durch eine kontinuierliche (24stündige) Asbestfaserbelastung über das ganze Leben von z.B. 1 000 Fasern/m³ hervorgerufene Krebsrisiko demjenigen Krebsrisiko grössenordnungsmässig vergleichbar ist, das durch das Rauchen von 2 Zigaretten pro Jahr hervorgerufen wird.»

Die erwähnten Untersuchungen können bei den genannten Fachbehörden jederzeit bezogen werden.

Linus B. Fetz, Bauing. ETH/SIA
Leiter Öffentlichkeitsarbeit
Arbeits- und Umweltschutz
Eternit AG, 8867 Niederurnen

[1] *Felbermayer W. und Ussar M.*, Die Belastung der Umwelt mit Abwitterungsmaterial von Asbestzement-Platten, Forschungsbericht des Inst. für Umweltschutz und Emissionsfragen, Leoben, Dez. 1980.
[2] Bundesamt für Umweltschutz, Luftbelastung durch Asbestfasern in der Schweiz, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 49, Bern 1986
[3] *U. Teichert*, Immissionen durch Asbestzementprodukte, Teil I, STAUB Reinhaltung der Luft, Nr. 10, Oktober 1986
[4] Beitrag für Pressegespräch des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 7.2.1986.
[5] Bundesgesundheitsamt, Gesundheitsgefahren durch Asbest und andere faserige Feinstäube in der Umwelt, Bundesgesundheitsblatt, 26. Jahrgang / Oktober 1983, Nummer 10.