

---

# Spritzbetoninnenschalen in Zusammenhang mit KDB (Kunststoff-Dichtungsbahnen) bei der Ausführung von Sonderquerschnitten am Beispiel des Innerstädtischen Entlastungstunnels Bad Wildbad

---

## SPRAYED CONCRETE INNER LININGS IN COMBINATION WITH PLASTIC SEALING SHEETS USED FOR NON-STANDARD TUNNEL SECTIONS THE PROJECT OF THE BAD WILDBAD BY-PASS TUNNEL

### GEORG FISCHNALLER, HELMUT WESTERMAYR

Zur Entlastung des Kurortes Bad Wildbad, gelegen an der viel befahrenen "Enztaler Bundesstraße B 294, wurde eine ortsnahe Tunnelvariante, bestehend aus einem rund 1340 m langen bergmännischen Tunnelabschnitt und einer daran anschließenden, 340 m langen offenen Bauweise geplant und ausgeführt.

Als Lüftungssystem wurde für den Tunnel eine Längslüftung mit einer zentralen Absaugung über der in Tunnelmitte gelegenen Pannenbucht und der seitlich anschließenden Lüfterkaverne mit Lüftungsschacht vorgesehen. Während die Innenschale des bergmännischen Tunnels unbewehrt ausgeschrieben war, ist sowohl für die Pannenbucht als auch die Lüfterkaverne eine 30 cm starke Betoninnenschale mit einer selbsttragenden Bewehrung vorgesehen gewesen. Der geometrisch komplizierte Verschnitt der Lüfterkaverne mit der Pannenbucht, vor allem im Firstbereich, stellte in schaltechnischer Hinsicht einen Problembereich dar.

Die beauftragte Arbeitsgemeinschaft hat aus diesem Grund einen Alternativvorschlag ausgearbeitet, wonach die Innenschale über der Zwischendecke in der Pannenbucht, der Lüfterkaverne und im Verzugsbereich mit bewehrtem Spritzbeton hergestellt werden sollte.

Die zuständigen Behörden und die Bauherrschaft stimmten dieser Alternative nur unter der Voraussetzung zu, daß die Spritzbetoninnenschale auf das ausgeschriebene Abdichtungssystem, bestehend aus einem Drainagevlies und einer 2 mm starken Kunststoffdichtungsbahn, aufgetragen wird.

Nach der Ausarbeitung eines detaillierten Ausführungs- bzw. Arbeitsprogrammes und eines Kostenvergleiches für beide Varianten, wurde die Arbeitsgemeinschaft mit der Ausführung des Sondervorschlages beauftragt.

Am Beispiel des Innerstädtischen Entlastungstunnels Bad Wildbad hat sich die Ausführung der Innenschale mit bewehrtem Spritzbeton in Verbindung mit der Kunststoffdichtungsbahn bei der Herstellung der Sonderquerschnitte, Verschneidungen und Verzugsstrecken bewehrt. Eine Spritzbetoninnenschale ist bei einer statisch und konstruktiven Gleichwertigkeit vor allem für jene Bauteile zweckmäßig, bei denen keine besondere Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit wie z.B. die Rauigkeit gestellt werden.

*In order to relieve traffic in the spa of Bad Wildbad, situated along the very busy Enztaler Bundesstraße B 294, a by-pass tunnel was constructed close to the town, consisting of a roughly 1340-m-long underground tunnel followed by an approximately 340-m-long cut-and-cover section.*

*The tunnel's ventilation system provides for longitudinal ventilation with central suction through the service*

area for broken-down vehicles situated in the centre of the tunnel and through the adjacent ventilation chamber with ventilation shaft.

While the inner lining of the underground tunnel was specified in the tender without reinforcement, a 30-cm concrete inner lining with self-supporting reinforcement was foreseen for the service area and the ventilation chamber. A major problem, concerning formwork resulted from the geometrically complicated interface of ventilation chamber and service area especially in the roof section.

For this reason the joint venture commissioned with the project presented an alternative option, namely to use reinforced sprayed concrete for the inner lining above the false ceiling in the service area, in the ventilation chamber as well as in the interface area.

The competent authorities and the owner accepted this option only with the proviso that the shotcrete should be applied on the tendered sealing system consisting of a drainage foil and a 2-mm plastic sealing sheet.

After a detailed execution and work programme as well as a cost estimate had been drawn up for the two options, the joint venture was commissioned with the alternative option presented above.

The example of the Bad Wildbad bypass tunnel shows that a reinforced shotcrete inner lining in combination with plastic sealing sheets proves particularly adapted to non-standard sections, interfaces etc. A shotcrete inner lining - while structurally equivalent to a cast-in-situ inner lining - is particularly functional for all those components that make no great demands in terms of the surface state, such as surface roughness for example.

Dieser Beitrag ist in zwei Abschnitte unterteilt. Der erste Teil beinhaltet eine allgemeine Projektbeschreibung und grundlegende Erläuterungen zur Aufgabenstellung.

Im zweiten Teil werden die konstruktiven und wirtschaftlichen Aspekte sowie die praktischen Erfahrungen bei der Ausführung der Spritzbetoninnenschale in Zusammenhang mit einer Kunststoff-Dichtungsbahn am Beispiel des Tunnels in Bad Wildbad aufgezeigt.

Die Kurstadt Bad Wildbad, gelegen im Nord-schwarzwald etwas 20 km südwestlich von Pforzheim im Landkreis Enz, hat aufgrund der engen Tallage sehr stark unter den Folgen des Straßenverkehrs zu leiden gehabt. Bereits zu Beginn der 70iger Jahre wurde mit der Planung einer Ortsumfahrung begonnen. Nachdem diverse Trassenstudien durchgeführt worden sind, haben sich die Stadtverwaltung zusammen mit den zuständigen Fachbehörden schlußendlich für eine ortsnahe Tunnelösung entschieden. Ein wesentlicher Zwangspunkt bei der Festlegung des endgültigen Trassenverlaufes (Bild 1) waren die im "Meistern-Hang" vorhandenen und für die Stadt Bad Wildbad "überlebenswichtigen" Thermalwasservorkommen. Diese



Bild 1: Trassenverlauf des Umfahrungstunnels Stadt Bad Wildbad

mußten mit einem ausreichenden Sicherheitsabstand großräumig umfahren werden.

Nachdem im Jahr 1993 das Planfeststellungsverfahren erfolgreich abgeschlossen werden konnte, wurde im darauffolgenden Jahr die Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus den Firmen Beton & Monierbau, Heitkamp und Stetzler mit der Ausführung dieses Bauvorhabens beauftragt.

In Anlehnung an die Vorgaben des Planfeststellungsverfahrens wurde für die Tunnelbelüftung ein Längs-

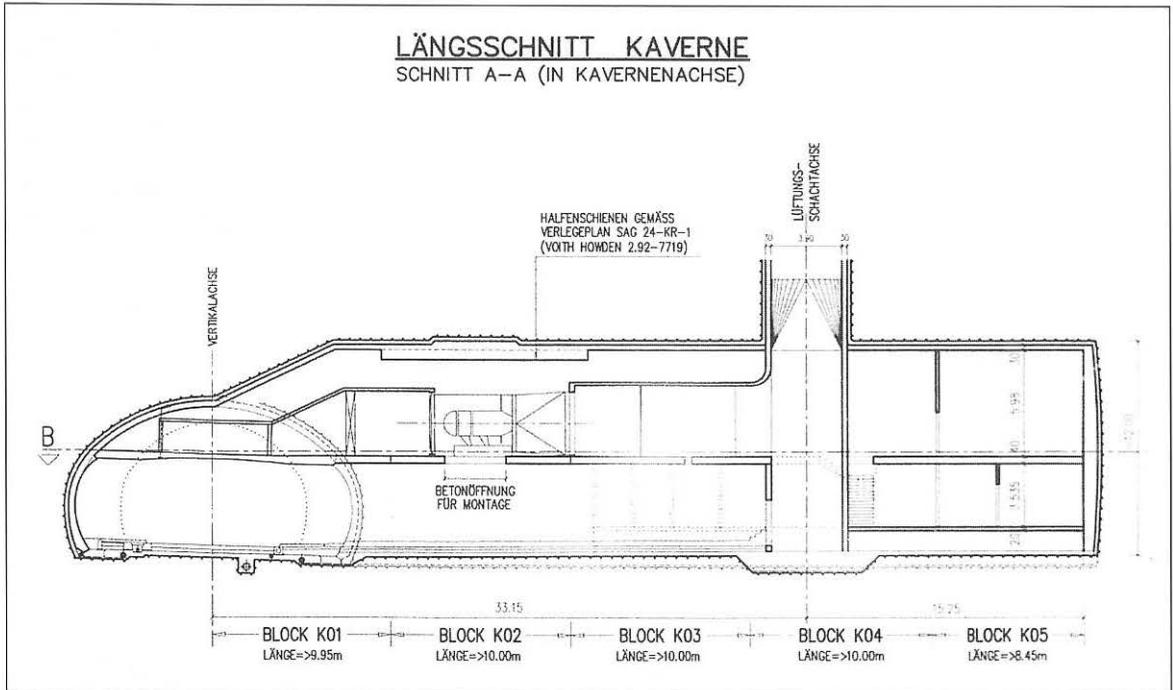


Bild 2: Längsschnitt der Lüfterkaverne des Umfahrungstunnels Stadt Bad Wildbad

lüftungssystem mit zentraler Absaugung vorgesehen. Zu diesem Zweck wurden in der Mitte des 1340 m langen bergmännischen Tunnelabschnittes die entsprechenden Untertagebauwerke wie die Pannenbucht mit der senkrecht daran anschließenden, rund 48 m langen Lüfterkaverne vorgesehen (Bild 2). Die Tunnelabgase werden dabei mittels Strahlerventilatoren über den Luftkanal oberhalb der Zwischendecke zur Pannenbucht/Lüfterkaverne befördert und gelangen von dort über einen rund 120 m hohen Lüftungsschacht in die Atmosphäre. In der Lüfter-

kaverne (Bild 2) sind neben den Hauptlüftern, weitere Betriebs- und Maschinenräume auf zwei Etagen untergebracht.

Der Tunnelausbau für das Regelprofil sah eine klassische zweischalige Bauweise mit einer Sicherungsspritzbetonaußenschale, einer 2 mm starken Kunststoffdichtungsbahn in Kombination mit einem Schutz- und Drainagevlies, sowie einer 25 cm starken unbewehrten Betoninnenschale vor. Für die rund 130 m<sup>2</sup> großen Ausbruchsquerschnitte der Pannen-

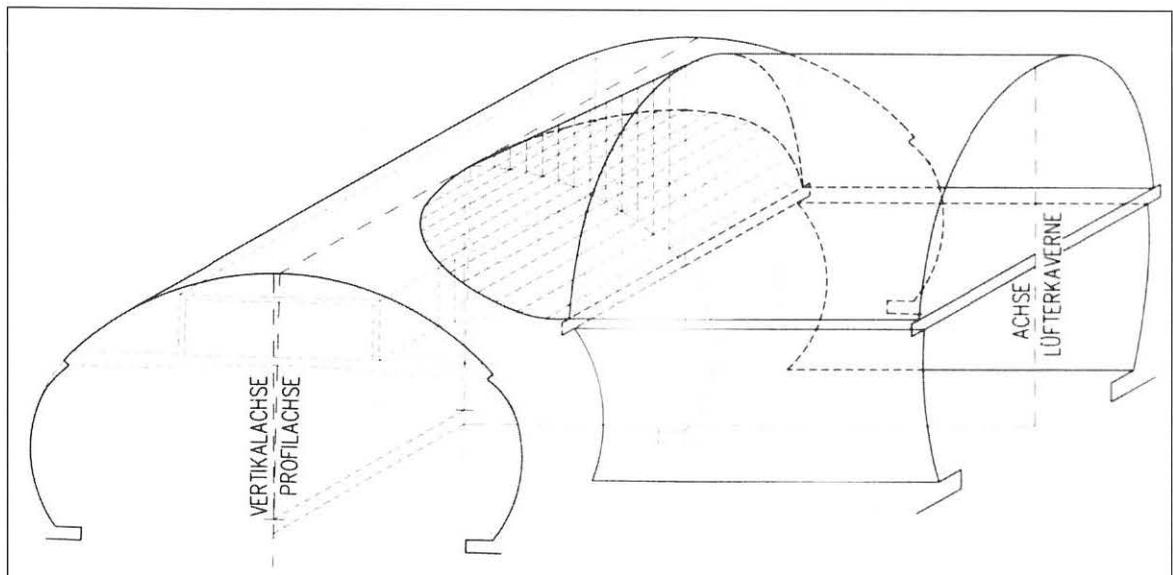


Bild 3: Axiometrische Darstellung der Verschneidung Haupttunnel mit Lüfterkaverne

bucht und Lüfterkaverne war, mit Ausnahme der 30 bzw. 35 cm starken Innenschalen aus Stahlbeton B25, grundsätzlich derselbe Innenausbau geplant. Auch der Verzugsbereich, das heißt der Übergang von der Firste der Pannenbucht zur ungefähr 3 m höheren Firste der Lüfterkaverne (Bild 3), sollte ebenfalls nach derselben zweischaligen Bauweise hergestellt werden. Eine Befestigung der zum Teil recht massiven Bewehrung an der Kunststoffdichtungsbahn bzw. durch diese hindurch in den Untergrund war nicht gestattet. Die Bewehrung mußte daher als selbsttragendes Netz konzipiert und dimensioniert werden.

Bereits bei der näheren Betrachtung des geometrisch komplizierten Verzugsbereiches und unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten der einzelnen Arbeitsabläufe war klar, daß für die ausführende Firma ein erheblicher Aufwand nicht nur in die Arbeitsvorbereitung, sondern schlußendlich auch in die Organisation der Ausführung zu investieren war. Insbesondere in schalentechnischer Hinsicht stellte diese Aufgabe eine hohe Herausforderung für die Projektverantwortlichen dar.

In Anbetracht dessen und aufgrund der knappen Terminalsituation, ist die Arbeitsgemeinschaft bereits zu einem frühzeitigen Zeitpunkt mit diversen Alternativvorschlägen für die Ausführung der Innenschale in der Pannenbucht und Lüfterkaverne an den Bauherren herangetreten.

Seitens der Bauherrenschaft wurden die ins Auge gefaßten Spritzbetonlösungen grundsätzlich befürwortet, da einerseits eine Beeinträchtigung der Bauwerkstauglichkeit nicht zu erwarten war und andererseits an die, von dieser Ausführungsvariante betroffenen Räumlichkeiten keine besonderen Ansprüche in Bezug auf Oberflächenbeschaffenheit und Rauigkeit gestellt waren. Die praktischen Erfahrungen bei der Ausführung von Spritzbetoninnenschalen in Zusammenhang mit unterschiedlichen Spritzuntergründen an zahlreichen untergeordneten Bauwerken, wie zum Beispiel an diversen Fluchtstollen, haben zu guter letzt auch wesentlich zu einer Entscheidung für diese Ausführungsvariante beigetragen.

Folgende Ausführungsvarianten wurden dabei dem Bauherren unterbreitet:

- Ausführung der Innenschale über der Zwischendecke mit bewehrtem Spritzbeton B25 ohne jegliche Abdichtung
- Ausführung der Innenschale über der Zwischendecke mit bewehrtem Spritzbeton B25 aufgetra-

gen auf einer speziellen Vliesunterlage (Drainfelt Super).

- Ausführung der Innenschale über der Zwischendecke mit bewehrtem Spritzbeton B25 aufgetragen auf das ausgeschriebene Abdichtungssystem bestehend aus einem Schutz- und Drainagevlies (500 gr/m<sup>2</sup>) und einer 2 mm starken PVC-Dichtungsbahn.

Nachdem für die ersten beiden Varianten die technische Gleichwertigkeit nicht gegeben war und von Seiten der Baulasträger, dem zuständigen Straßenbauamt Calw und dem Regierungspräsidium Karlsruhe, berechnete Bedenken hinsichtlich der nach dem Ausbruch aufgetretenen Feuchtstellen in der Pannenbucht/Lüfterkaverne und der damit verbundenen eventuellen Langzeitfolgen für das Bauwerk bestanden, sind diese nicht weiter verfolgt worden.

Aus den zahlreichen Vorgesprächen mit den Behörden wurde deutlich, daß auf keinen Fall auf das ausgeschriebene Abdichtungssystem verzichtet werden konnte und daher nur eine Ausführung nach Variante 3 zur Diskussion stand. Von der Arbeitsgemeinschaft sind daraufhin die entsprechenden Ausführungspläne mit einer ausführlichen technischen Beschreibung und ein detailliertes Arbeitsprogramm ausgearbeitet und den Behörden erneut zur Stellungnahme vorgelegt worden.

Die Befürchtungen der Behörden, daß die PVC-Dichtungsbahn beim Auftragen des Spritzbetons beschädigt würde, konnten durch auf der Baustelle ausgeführten Spritzversuchen entkräftet werden. Bei einem Düsenabstand von 1,5 m (Bild 4) und einem Förderdruck von rund 6 bar an der Spritzdüse sowie dem eingesetzten Trockenmischgut mit einem gebrochenem Kalkzuschlag Größtkorn 8 mm, wurden an der Folie keine Beschädigungen festgestellt.



Bild 4: Aufbringen des Spritzbetons auf die PVC Dichtungsbahn

Aufgrund der geleisteten Überzeugungsarbeit und den bereits vorhandenen Erfahrungen an ausge-

fürten Untertagebauwerken untergeordneter Bedeutung, konnten schließlich sämtliche vorgebrachten Bedenken ausgeräumt werden, so daß die vorgeschlagene Variante zur Ausführung freigegeben wurde.

Nach der Vorlage einer detaillierten Kostenaufstellung durch die Arbeitsgemeinschaft, aus der hervorging, daß die vorgeschlagene Ausführungsvariante gegenüber der ausgeschriebenen Lösung kostenneutral war, bzw. für den Bauherren sogar geringfügige Einsparungen zu erwarten waren, wurde die Baufirma mit der Ausführung des Alternativvorschlages beauftragt.

Die nachteiligen Auswirkungen beim Spritzen auf Folien waren bekannt.

Dazu zählen u.a.

- erhöhter Rückprall durch Federn der losen Folien,
- Bildung von Hohlstellen,
- Spritzschatten bei mehreren Bewehrungslagen.

Es galt nun, diesen nachteiligen Erscheinungen durch geeignete Maßnahmen zu begegnen.

Wie man aus dem Längsschnitt der Lüfterkaverne (Bild 2) ersieht, weisen Tunnelregelquerschnitt, Pan-

nenbucht und Lüfterkaverne unterschiedliche Querschnitte, Radien und Firsthöhen auf. Lediglich die Zwischendecke befindet sich auf gleichem Niveau.

Während der Übergang vom Tunnelregelprofil auf die Pannenbucht durch senkrechte Stirnwände herzustellen war, sollte der Übergang von Pannenbucht zu Lüfterkaverne durch einen ca. 30° geneigten Verzug erfolgen. Dieser Verzug führt zu komplizierten geometrischen Verschneidungen mit ständig wechselnden Radien.

Nur der erfahrene Arbeitsvorbereiter und Schalungstechniker kann ermessen, was es bedeutet, einen derartigen Verschneidungsbereich unter bergmännischen Bedingungen zu schalen und zu betonieren.

Wie bereits erwähnt, beschränkte sich die Ausführungsvariante auf den Kalottenbereich oberhalb der Zwischendecke. Die Ulmenwände der 40 m langen Pannenbucht sowie der 48 m langen Lüfterkaverne wurden ausschreibungsgemäß hergestellt (Bild 6).

Dazu wurde eine 10 m lange verfahrbare Stahlshaltung eingesetzt mit 2 Hüllen, eine für die Pannenbucht, eine für die Lüfterkaverne, da diese unterschiedliche Radien aufwiesen.

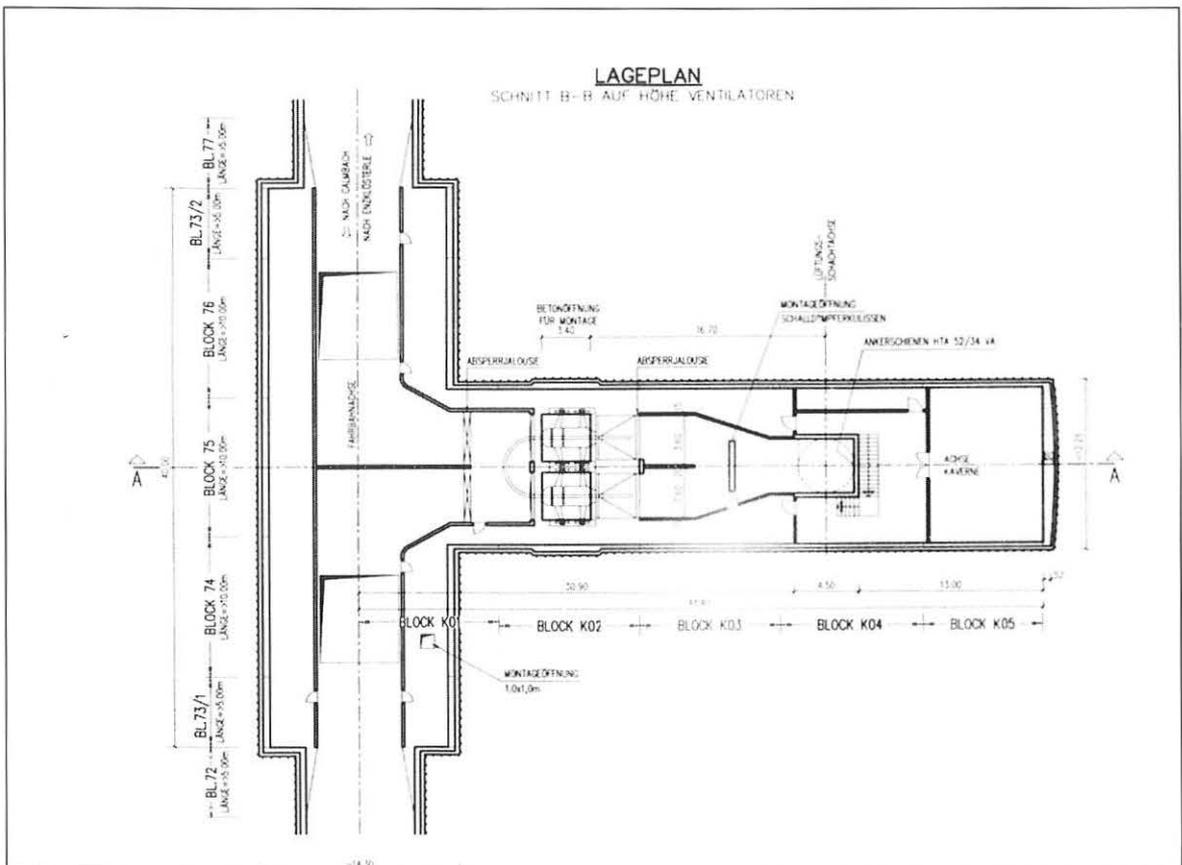


Bild 5: Lageplan der Lüfterkaverne



Bild 6: Kunststoff-Dichtungsbahnen und Betonierung eines Ulmenabschnittes

Um die bekannten nachteiligen Erscheinungen zu reduzieren, wurde folgender Maßnahmenkatalog festgelegt:

- Zuerst wurden vorhandene Überprofile im Sicherungsspritzbeton ausgespritzt. Generell waren an den Abdichtungsträger höhere Anforderungen hinsichtlich Ebenheit zu stellen (Der ganze Tunnel befand sich geologisch im Unteren Buntsandstein, Rotliegenden und teilweise Fanglomeraten, also härtesten Sprengfels und dementsprechend unruhig war die Ausbruchslaubung beschaffen).
- Die PVC-Bahnen wurden besonders sorgfältig verlegt unter Vermeidung des Überspannens von Hohlkehlen.
- Die Anzahl der Befestigungsrundellen wurde verdichtet, vor allem im Überkopfbereich, um die sonst übliche Girlandenbildung zu verhindern.
- Anschließend wurden die freistehenden und selbsttragenden Stützbögen (normale Dreigurt-Gitterträger des Typs 130/20/30, wie sie im Vortrieb verwendet wurden) im Abstand von 1,25 m montiert und mit der Anschlußbewehrung aus den Ulmenwänden verrödelt (Bild 7).
- Danach war vorgesehen, die äußere Bewehrungsmatte (Lagermatte R 589) am Gitterträger zu befestigen und anschließend die Stützbögen von unten nach oben satt einzuspritzen, mit Ausnahme des Innengurtes, der für die Befestigung der inneren Lage diente.
- Als nächstes sollte das bogenförmige Ausfachen zwischen den Stützbögen erfolgen, dann das Anbringen der inneren Bewehrungslage und die Vervollständigung der kompletten Spritzbetonstärke von 35 cm in der Pannenbucht bzw. 30 cm in der Lüfterkaverne.
- In gleicher Weise sollte auch die Lüfterkaverne hergestellt werden, nur daß hier zuerst die Zwischendecke betoniert werden mußte.

Im Zuge der Ausführung stellte sich bald heraus, daß anfängliche Bedenken hinsichtlich Hohlraum-

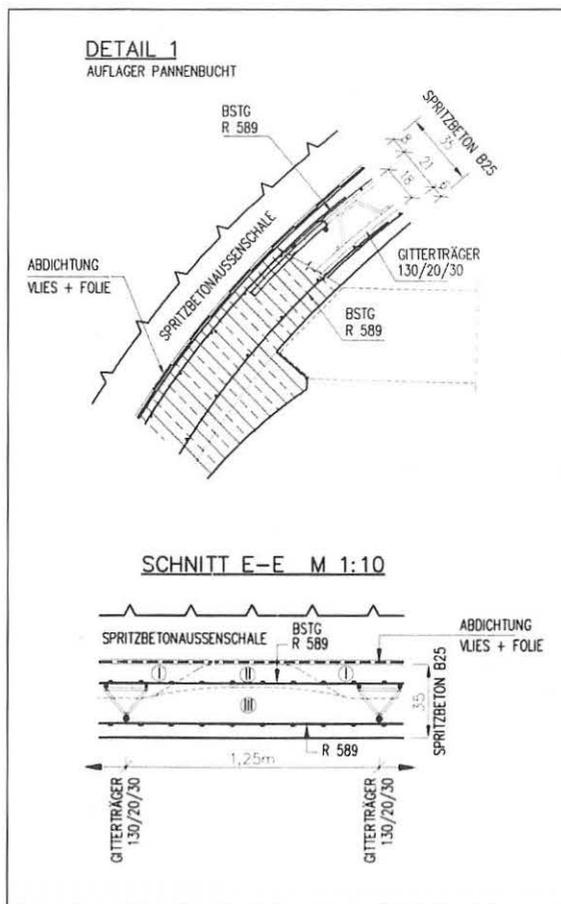


Bild 7: Detail zum Anbringen der Folie und der Gitterträger

bildung aufgrund der vorgängigen Maßnahmen nicht gerechtfertigt waren, und so wurde bald die 1. Lage Baustahlgitter in einem Arbeitsgang eingespritzt und die 2. Lage abschnittsweise entsprechend des phasenweisen Auftrags des Auskleidungsspritzbetons eingebaut.

Ein besonderes Gustostück war die Herstellung der Verzugsstrecke zwischen Pannenbucht und Lüfterkaverne, die bis zum Schluß ausgespart und als letztes gespritzt wurde. Die verlorenen Teile der Stützbögen, die bis zum Erhärten der Spritzbetonschale als Abstützung dienten wurden anschließend abgeschnitten.

Der Verzugsbereich selbst erforderte schon etwas mehr Bewehrung und naturgemäß erhöhte Sorgfalt, um ein saftes Einspritzen ohne Spritzschatten zu gewährleisten.

Nach Abschluß der Arbeiten kann festgestellt werden, daß die im Zuge der Arbeitsvorbereitung getroffenen Annahmen für diese Variante voll eingehalten werden konnten.

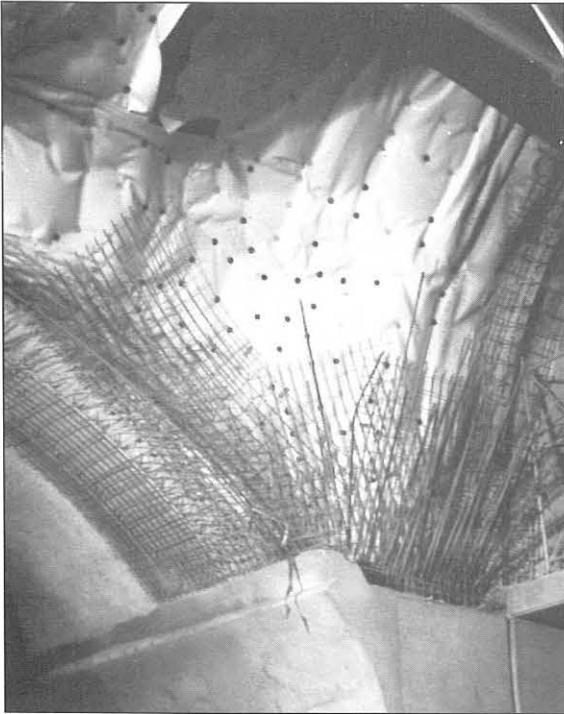


Bild 8: Eckteile bei der Einmündung der Lüfterkaverne in die Pannenbucht mit der Anschlußbewehrung

Eine Ausnahme muß dabei angesprochen werden: Der Rückprall war durch das Spritzen auf die glatte, anfänglich lose Folie, durch die Bewehrung und wegen der sehr hohen Frühfestigkeiten beträchtlich und darf nicht unterschätzt werden.

Als Spritzbeton wurde Trockenbeton mit alkalifreiem Spritzzement ohne Erstarrungsbeschleuniger verwendet, der sich durch hohe Früh- und Endfestigkeiten auszeichnete.

So wurden 1 - Tagesfestigkeiten von  $20,3 \text{ N/mm}^2$ , und 28 - Tagesfestigkeiten von  $60,3 \text{ N/mm}^2$  erzielt.

Der Spritzbeton wurde als Siloware geliefert, und aus Drucksilos mit Dosierblasschnecken direkt aufgetragen. Der aufgebrauchte Druck von ca. 6 bar reichte aus, um die punktweise befestigte Folie satt an den Untergrund zu pressen und die schnelle Erhärtung des Spritzbetons vermied auch eine allenfalls nachträglich auftretende Hohlraumbildung infolge Spannungen der Folie.

Die erwarteten Vorteile hinsichtlich der einfachen Herstellung der Profilübergänge und Verzugsflächen, sowie Anschlüsse an bestehende Bauteile, beim Einspritzen der Hängestangen und Einbauteilen wie Kranbahnschienen (Bild 9) etc. konnten voll lukriert werden.

Die damit verbundene Bauzeitverkürzung kann nur geschätzt werden, da der Nachweis der tatsächlichen Dauer des Ausschreibungsentwurfes fehlt, beträgt aber im Minimum 4 Monate.

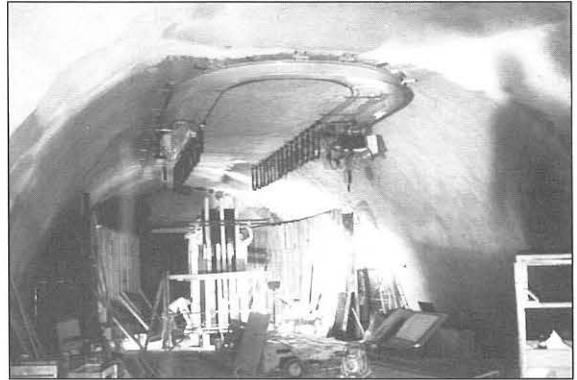


Bild 9: Kranbahnschiene in Firste der Lüfterkaverne

Unmittelbar nach Herstellung eines Bauabschnittes konnte nämlich sofort mit dem Endausbau, z. B. den Luftkanälen begonnen werden (Bild 10).

Für den Auftraggeber ergaben sich bei voller technischer Gleichwertigkeit Einsparungen an Bewehrungsgehalt, da die komplizierten Zwischenbaustadien statisch nicht berücksichtigt werden mußten.



Bild 10: Bau der Luftkanäle

Nach Abschluß der Arbeiten zeigte sich, daß die dem Spritzbeton eigene raue Oberflächenstruktur einen optisch durchaus ansprechenden Eindruck hinterläßt und speziell dem Kreuzungsbereich und der Kaverne einen besonderen Charakter verleiht (Bild 11).

Die Beteiligten sind sich einig, daß die Umsetzung von Theorie in Praxis gelungen ist, und daß auch untertägige Bauwerke ästhetisch sein können.

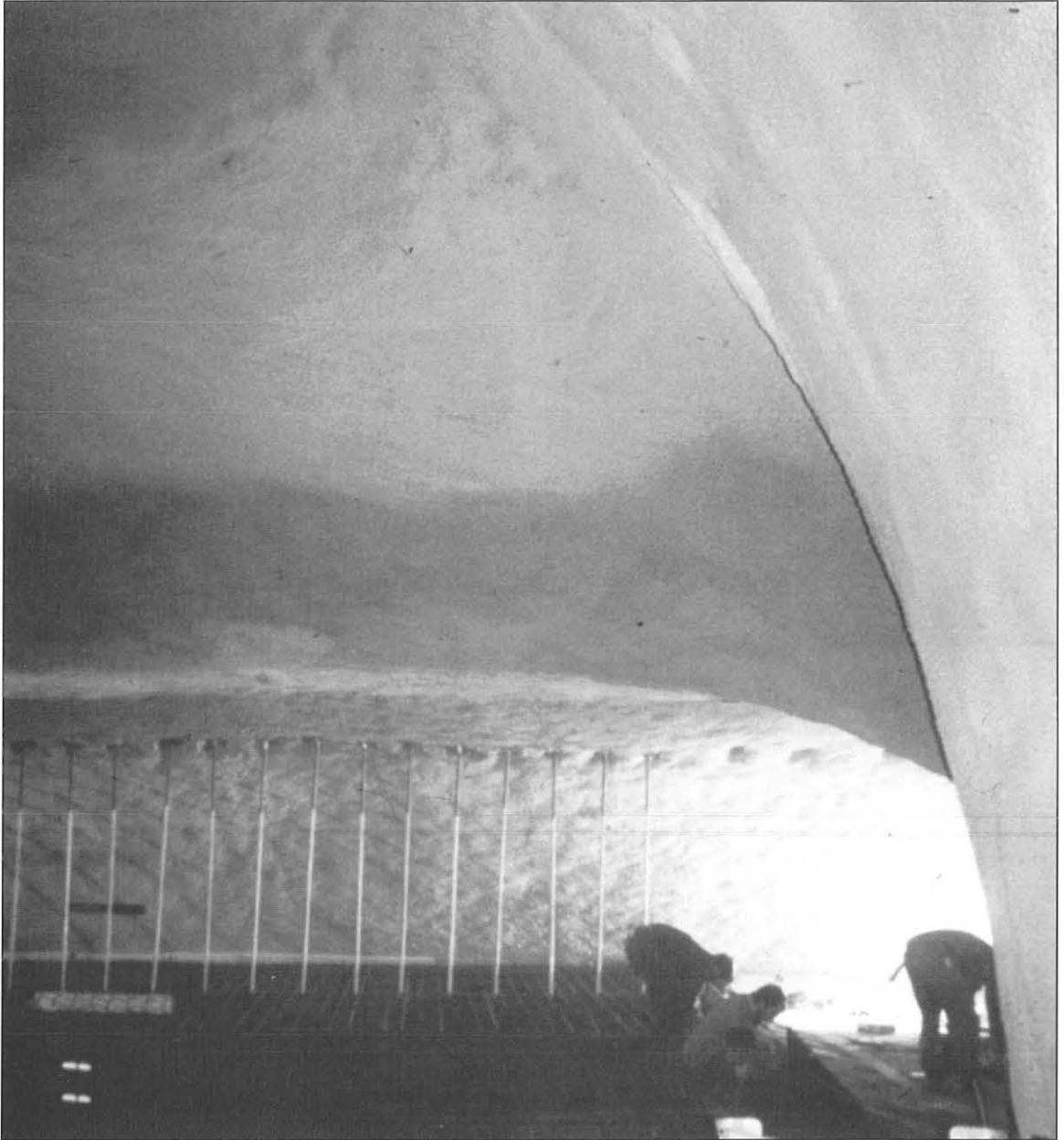


Bild 11: Spritzbeton mit seiner rauhen Struktur als gestalterisches Element