Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 44

Artikel: Die einschalige Bauweise
Autor: Amberg, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78547

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: 16.07.2025

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

Die einschalige Bauweise

Der Zugwald- (2,1 km) und der Vereinatunnel (19,0 km) werden mit Ausnahme der rund 300 m langen Dreispurstrecke beim Nordportal grundsätzlich einschalig ausgebaut. Letztere liegt zum Teil in der Trias der Aroser Schuppenzone (Rhauwake), so dass ein geschaltes Ortsbetongewölbe notwendig war. Dass dabei eine Folienvollabdichtung eingebaut wurde, war naheliegend.

VON RUDOLF AMBERG, SARGANS

Grundsätzlich gleicht sich der Aufbau der Felssicherung und des einschaligen Ausbaus in den Strecken mit konventionellem Bohr- und Sprengvortrieb wie in denjenigen, in denen der Ausbruch mit einer Tunnelbohrmaschine erfolgt. In beiden Fällen wird die Felssicherung als permanent wirksamer tragender Bestandteil des Ausbaus betrachtet und entsprechend ausgebildet. Dadurch können einerseits beträchtliche Kosteneinsparungen erzielt und andererseits technische Verbesserungen erreicht werden, die die bisherigen Nachteile gegenüber der zweischaligen Bauweise weitgehend ausgleichen. Die qualitativen Eigenschaften der Felssicherung müssen beim Spritzbeton denjenigen des Ausbaus entsprechen, während bei allen übrigen Baumaterialien auf eine möglichst hohe Alterungsbeständigkeit geachtet werden muss.

Bei einem tiefliegenden Tunnel sind höhere Fels- und Wassertemperaturen zu erwarten, was zu verstärkter Korrosion führt. Die vorgängige Prüfung der Baumaterialien auf Korrosionsbeständigkeit wird daher notwendig, wie auch eine sorgfältige Untersuchung der während der Bauausführung angetroffenen Bergwasser auf ihre chemische Zusammensetzung. Man kann auch sagen, dass bei der einschaligen Bauweise der Spritzbetonausbau unter anderem eine Verstärkung der permanent wirksamen Felssicherung darstellt, womit letztere zum Bestandteil des Ausbaus wird. Damit löst man sich von der hergebrachten Vorstellung, dass die Felssicherung lediglich der Bausicherheit diene und erst der Ausbau die Bauwerksicherheit zu übernehmen habe. Einschalig heisst damit auch, dass Felssicherung und Ausbau schlussendlich eine Schale bilden. Von dieser Überlegung soll im folgenden ausgegangen werden.

Der Spritzbeton

Das Nass-Spritzbeton-Dichtstromverfahren

Unmittelbar vor Baubeginn wurden in der Versuchsstollenanlage Hagerbach umfangreiche Spritzbetonversuche gefahren, die in Zusammenarbeit mit verschiedenen Firmen und Instanzen der Abklärung folgender Fragen dienen sollten:

- Welches Spritzbeton-Applikationsverfahren gestattet die Einhaltung der MAK-Werte bezüglich der Staubbelastung der Tunnelluft.
- Welches Applikationsverfahren ermöglicht das Erreichen hoher Dichtigkeiten und Festigkeiten des Spritzbetons bei gleichzeitig hoher Spritzleistung.

Ohne dass hier auf diese umfangreichen Versuchsarbeiten näher eingegangen wird, kann festgestellt werden, dass mit dem Nass-Spritzbeton-Dichtstromverfahren die gestellten Anforderungen am besten erfüllt werden können. Der MAK-Wert für die Staubbelastung der Tunnelluft kann eingehalten beziehungsweise unterschritten werden, wobei Spritzleistungen zwischen 10 und 15 m^3 pro Stunde möglich sind. Umfangreiche Vorversuche haben zudem gezeigt, dass der Spritzbetonrückprall ganz erheblich reduziert werden kann. In der Baupraxis kann mit Werten von 5 bis 10 Prozent gerechnet werden gegenüber von 15 bis 25 Prozent bei den übrigen Spritzverfahren. Die damit verbundenen Kosteneinsparungen sind beträchtlich.

Einmal mehr hat es sich gezeigt, dass eine Zusammenarbeit zwischen der ETH (Institut für Bauplanung und Baubetrieb, Prof. R. Fechtig), der Zulieferindustrie (Sika AG, Meynadier AG) und der Projektierung relativ schnell und kostengünstig in der Praxis brauchbare technische Weiterentwicklungen ermöglicht. Ganz speziell hat sich das unter der Führung der Suva stehende Gremium (Stuva, deutsche und österreichische Berufsgenossenschaften) erfolgreich für die Verminderung der Staubentwicklung unter Beachtung der übrigen Spritzbetoneigenschaften eingesetzt. Es ist wünschenswert und notwendig, dass in Zukunft für derartige Arbeiten vermehrt auch die Mitarbeit der bauausführenden Unternehmerschaft miteinbezogen wird.

Die Dichtigkeit und Festigkeitseigenschaften der einschaligen Bauweise

Dichter Spritzbeton besitzt einen höheren Widerstand gegen chemische Angriffe durch eindringendes Bergwasser. Dichtigkeit ist aber auch notwendig für den späteren Tunnelbetrieb. Nach der DIN-Norm 1048 wird ein Beton als dicht bezeichnet, wenn die Wassereindringtiefe 30 mm nicht übersteigt. Dieser Grenzwert wird beim Bau des Vereinatunnels allgemein unterschritten. Die Beimischung von Microsilica, das im Tunnelzement (siehe unten) bereits enthalten ist, erhöht die Wasserdichtigkeit und die Festigkeiten. Beobachtungen haben aber auch gezeigt, dass die früher öfters festgestellte intensive Frühversinterung durch die Beimischung von Microsilica vermindert werden konnte. Je dichter der Spritzbeton und je geringer die bergseitige Wassereintrittstiefe ist, umso geringer ist derjenige Anteil der Sinterbildung, der aus dem Spritzbeton selber stammt. Damit hat allerdings diejenige Versinterung nichts zu tun, die durch das Calziumbicarbonat im Bergwasser entsteht. In Zusammenarbeit mit der Bauchemie und den Zementherstellern konnten wesentliche Fortschritte erzielt werden, wobei die Entwicklung sicher noch nicht abgeschlossen ist. Ein von der Zementfabrik Untervaz (BCU) speziell entwickelter Tunnelzement hat an diesem Fortschritt einen bedeutenden Anteil. So konnten beispielsweise mit dem Tunnelzement bei einer Dosierung von 400 kg/m^3 Nassspritzbeton für die Felssicherung folgende einachsige Druckfestigkeiten erreicht werden:

Nach 7 Tagen 38 N/mm^2

Nach 28 Tagen 47 N/mm^2

bei einer maximalen Wassereindringtiefe von 13 mm. Das Schwergewicht der Vorteile des Tunnelzementes liegt allerdings nicht alleine in den erreichten Festigkeitswerten, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann. Festigkeitsmässig konnten entsprechende Werte für den Tunnelausbau von 50.5 N/mm^2 beziehungsweise 68.8 N/mm^2 erreicht werden. Pro Spritzvorgang wur-

den dabei Schichtstärken von 7–10 cm aufgetragen, ohne dass Ablösungen oder Absackungen auftraten.

Neue Perspektiven eröffnen sich mit den Kunststoff-Flüssigfolien, an denen zur Zeit intensiv gearbeitet wird. Die Haftprobleme auf nassem Untergrund, die Fragen der Dichtigkeit und Dauerelastizität sind weitgehend gelöst, so dass Nachdichtungen, falls solche notwendig sind, auf einfache Weise ausgeführt werden können. Man kann heute davon ausgehen, dass bei einer sorgfältigen Vorabdichtung das Problem der Dichtigkeit der einschaligen Bauweise gelöst werden kann. Damit wird aber auch die angestrebte hohe Alterungsbeständigkeit erreicht.

Die Vorabdichtungssysteme können aufgrund laufender Versuchsarbeiten ebenfalls verbessert werden. Hier geht es vor allem um Haftzugeigenschaften zwischen Abdichtungsdrains und dem Spritzbeton sowie um Applikationsvereinfachungen.

Bei einer langen Bauzeit ist es klar, dass Neuentwicklungen und Verbesserungen in der Felssicherungs- und Ausbautechnik nicht ignoriert werden dürfen. Entsprechend notwendige Vertragsanpassungen sind unumgänglich, setzen zwar eine entsprechende Flexibilität der am Bau Beteiligten voraus, sind aber immer dann besonders sinnvoll, wenn sie gleichzeitig eine Kostensenkung bewirken.

Die Felsankerung

Beim Bau des Vereinatunnels werden korrosionsbeständige glasfaserverstärkte Kunststoffanker (GFK) eingesetzt. Die Vollstabanker, die mit Kunststoffpatronen voll verklebt werden, kommen für die normale Felssicherung zur Anwendung. Sowohl bei der Durchörterung der Serpentinitzone im Nordlos T2 wie auch in der Störzone im Südlos T5 konnten selbst bei starken Deformationen mit Rohrinjektionsankern Stabilisierungen erreicht werden, die mit anderen Methoden zu wesentlich höheren Aufwendungen geführt hätten. Die messtechnische Überwachung derartiger Zonen lässt den Verlauf der Deformationen beziehungsweise der Stabilisierung erkennen und ermöglicht allenfalls den Einsatz gezielter Nachankerungen vor dem endgültigen Tunnelausbau. Die einschalige Bauweise, und das ist einer ihrer wesentlichen Vorzüge, gestattet es jederzeit, örtliche Verbesserungen des Felssicherungs- und Ausbauwiderstandes aufzubauen.

Der Unterstützungseinbau

Man kann zwar feststellen, dass die Felsankerung heute vermehrt für Felssicherungen eingesetzt wird, bei denen früher nur Unterstützungseinbau zur Anwendung gelangte. Es gibt aber immer wieder geologische Verhältnisse, bei denen eine alleinige Felsankerung nicht ausreicht und der notwendige Ausbauwiderstand ohne Stahleinbau nicht aufgebaut werden kann. Beim Bau des Vereinatunnels kommen bezüglich der Stahlprofile und ihrer Verbindungen zwei Einbausysteme zur Anwendung. Bei relativ kleinen Überlagerungen und geringen bis mittleren Belastungen werden starr verbundene HEB-Profile allgemein üblicher Art eingesetzt. Der Vorzug besteht aus eingespritzten Armierungsnetzen. Bei höheren Überlagerungen und hohen Belastungen kommen TH-Rinnenprofile, wie sie im Bergbau seit Jahrzehnten üblich sind, zur Anwendung. Die TH-Profile werden dabei verkehrt, das heisst gegen das Tunnelinnere offen montiert, wodurch sie besser und vollständiger eingespritzt werden können. Die TH-Profile können nachgiebig, das heisst ineinander schiebbar, starr oder mit Verbindungen, die beschränkt nachgiebig sind, verbunden werden. Es besteht somit die Möglichkeit, beschränkt nachgiebige Stahleinbauten einzusetzen, die eine einigermassen gesteuerte Deformationszulassung ermöglichen. Die TH-Profile deformieren dabei selber kaum. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass im allgemeinen und nicht zuletzt wegen der definierten Stahlqualitäten mit leichteren Profilgewichten gearbeitet werden kann, als dies bei Verwendung der üblichen Profile der Fall ist. Damit ist eine leichtere Handhabung verbunden, nebst der Kosteneinsparung. Die TH-Profile haben sich bei der Durchörterung von Störzonen und in der Serpentinitstrecke, wie zu erwarten war, bewährt. Bei der einschaligen Bauweise stellt sich aber auch hier die Frage nach der Korrosionsbeständigkeit. Wie schon ausgeführt, lassen sich diese Profile vollständig einspritzen, wobei sie sich allerdings beim Einschieben von Spritzbeton lösen. Man kann diese Klaffung durch eine nicht sehr aufwendige Zementinjektion ausfüllen. Neuerdings sind dauerelastische Kunststoffinjektionen in Anwendung, die nicht nur dicht sind, sondern auch über eine sehr hohe Klebkraft verfügen.

An sich stellt sich in Stahleinbaustrecken aber auch die Frage nach einem zweischaligen Ausbau, der allerdings zu höheren Kosten führt. Im Vereinatunnel wird das Spritzbetoninnengewölbe, das eine definierte Geometrie aufweist, armiert ausgeführt, wobei die Berechnung seiner Tragfähigkeit eine Verminderung der Tragfähigkeit des Stahleinbaus durch mögliche Korrosion berücksichtigt.

Ausblick

In den letzten Jahren hat sich die Technik der einschaligen Bauweise ständig und zum Teil in beachtlichem Ausmass weiterentwickelt. Parallel dazu verlief eine erwünschte, aber auch respektable Kostensenkung. Die einschalige Bauweise ist zudem flexibel, sie kann optimal an die vor allem im alpinen Bereich stark wechselnden geologischen Verhältnisse angepasst werden und erlaubt in späteren Zeiträumen örtlich gezielte Unterhaltsarbeiten mit verhältnismässig geringerem Aufwand, als dies bei Ortsbetongewölben der Fall ist.

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. h.c. *R. Amberg*, Amberg Ingenieurbüro AG, Rheinstrasse 4, 7320 Sargans