
Die Weiterentwicklung der Spritzbetonbauweise durch Gebirgsverbesserung

THE FUTURE DEVELOPMENT OF THE SHOTCRETE CONSTRUCTION METHOD ON THE BASIS OF GROUND STABILIZATION

BERNHARD MAIDL

Der konventionelle Tunnelbau besitzt eine lange Tradition, dessen Ursprünge in den klassischen Bauweisen zu finden sind und die weit in das 19. Jahrhundert hinein zurückverfolgt werden können. Knapp 80 % der Tunnel werden noch in der Spritzbetonbauweise aufgeföhren, doch die Entwicklungen im maschinellen Tunnelvortrieb schreiten stetig voran, so dass eine ständig zunehmende Zahl von Tunnels im Schildvortrieb oder mit einer TBM erstellt werden. Doch auch hierbei kann auf den Einsatz von Spritzbeton, z.B. bei Grippermaschinen und für Querverbindungen, Pannenbuchten und Schutzräumen, nicht verzichtet werden. Mit Spritzbeton als Sicherungsmittel wurde eine Technik eingeföhrt, die es ermöglicht eine vorläufige Sicherung direkt auf das Gebirge aufzubringen. Der Faktor Zeit, der einen maßgeblichen Einfluss auf Gebirgsverformungen und -druckentwicklungen hat, kann dadurch deutlich verringert werden. Begegnet wurde diesen Forderungen schon in früheren Zeiten durch eine Unterteilung des Gesamtquerschnittes in Teilquerschnitte, den Bauweisen.

Heute geht der Trend hin zu größeren Querschnitten, wodurch eine bessere Mechanisierung möglich ist, Kosten gesenkt werden können und Anforderungen an die Qualifikation des Personals nicht mehr so ausschlaggebend sind. Vorrassicherungen und Gebirgsverbesserungen sind ebenso erforderlich wie auch Weiterentwicklungen im Bereich Spritzbeton, hier ist z.B. Stahlfaserbeton zu nennen.

Wenn die Spritzbetonbauweise wettbewerbsfähig und für zukünftige Aufgaben gewappnet sein soll, so sind die umfassenden Neuerungen auf diesem Gebiet mit den Möglichkeiten der Spritzbetontechnologie weiter zu entwickeln. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag schwerpunktmäßig auf die Vorrassicherungen eingegangen. Die Entwicklungen im Bereich Spritzbeton werden Thema der gesamten Tagung sein.

Conventional tunnel construction has a long tradition. Its origins are to be found in classical construction methods, and can be traced back well into the 19th century. Just 80 % of all tunnels are still constructed using the shotcrete construction method, but progress continues to be made all the time in mechanized tunnelling, so that an ever increasing number of tunnels are erected by shield driving or a tunnel boring machine. But even here it is not possible to avoid the use of shotcrete, for example in connection with gripper machines, as well as for cross passages, emergency recesses and safety zones.

With shotcrete as a primary support element a technology has become available that makes it possible to install immediately the temporary support in direct contact with ground or rock. The time factor, which has a significant effect on geological deformations and in the development of geological stress, can thus

be significantly reduced. These requirements were answered in former times by a division of the overall cross-section into partial sections, the various tunnel construction methods.

Nowadays the trend is towards bigger cross-sections, so that more sophisticated machinery can be used, costs can be reduced and the qualifications of personnel are no longer such a significant factor. Ground stabilization and improving the load bearing capacity of rock mass by pregrouting are needed just as much as are further developments in the shotcrete department (steel fibre reinforced concrete may be mentioned in this context).

If the shotcrete construction method is to be both economically viable and able to meet the challenges of the future, the comprehensive innovations in this area need to be taken still further by making use of the possibilities of shotcrete technology. That is why this contribution focuses for the most part on ground stabilisation measures. Developments in the sphere of shotcrete will be the theme of the entire conference.

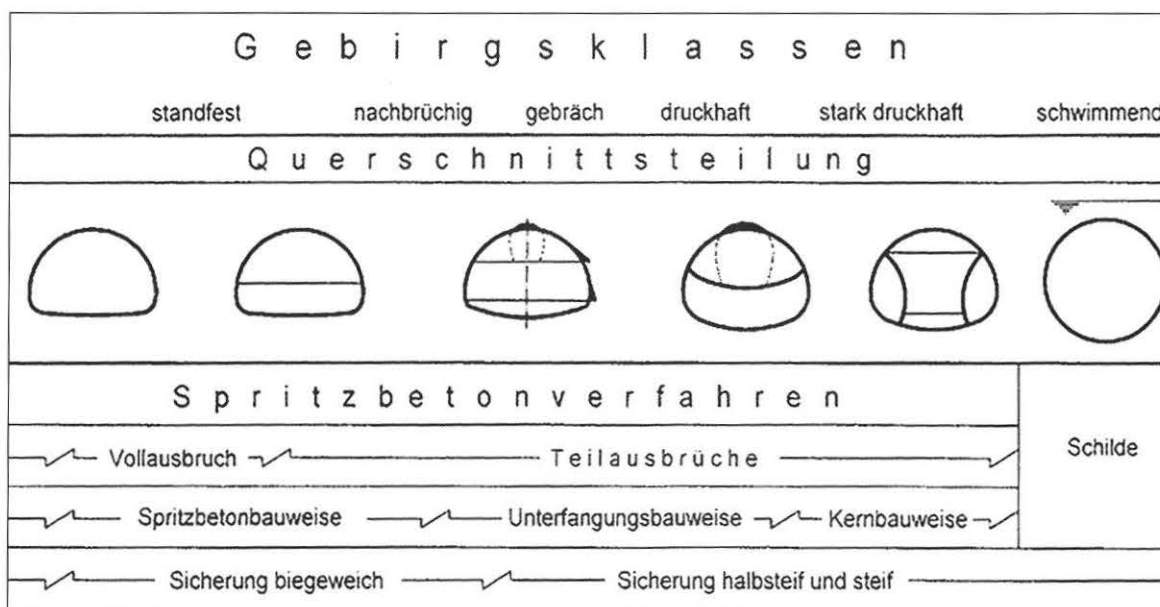


Bild 1: Einordnung der Spritzbetonverfahren in Abhängigkeit von den Gebirgsklassen [4]

1. Einleitung

Bis ins letzte Jahrhundert wurde die Erdoberfläche für die Infrastruktur genutzt. Die Erschließung des Luftraums erfolgte im letzten Jahrhundert und der Raum unter der Erdoberfläche wird im 21. Jahrhundert intensiver genutzt werden. Ein Blick auf die in der ganzen Welt und speziell in Europa geplanten bzw. bereits in der Ausführung befindlichen Projekte zeigt die gewaltigen Aufgaben, die vor uns liegen.

Wenn die Spritzbetonbauweise wettbewerbsfähig und für zukünftige Aufgaben gewappnet sein soll, so sind umfassende Neuerungen auf diesem Gebiet notwendig. Aus diesem Grund ist heute schon eine Erweiterung der wirtschaftlichen Einsatzbereiche der Spritzbetonbauweise durch Gebirgsverbesserungen

zu beobachten. Innerhalb dieses Beitrags sollen deshalb die aktuellen Tendenzen und Entwicklungen im konventionellen Tunnelbau aufgezeigt werden.

2. Bauverfahren

Für die konventionell in der Spritzbetonbauweise aufzufahrenden Tunnel hat die Bauverfahrenstechnik mit der Auswahl geeigneter Sicherungsmittel eine besondere Bedeutung. Der technische und wirtschaftliche Erfolg eines Tunnelvortriebs wird in Verbindung mit den geologischen und hydrologischen Randbedingungen beeinflusst durch

- eine geeignete Bauweise, d. h. die Querschnittsaufteilung und
- eine geeignete Betriebsweise, d. h. die Abwicklung im Längsschnitt mit der gesamten Logistik.

Dementsprechend sind bis heute eine Vielzahl von Bauverfahren entwickelt worden, die sich durch die Aufteilung des Gesamtquerschnitts in einzelne Teilquerschnitte unterscheiden (Bild 1).

Eine Unterteilung des Ausbruchsquerschnitts erfolgt im wesentlichen nach den geologischen Randbedingungen. Doch auch in standfestem Gebirge kann bei größeren Querschnitten aus bauverfahrenstechnischen und gerätespezifischen Gründen eine Querschnittsunterteilung zweckmäßig sein. Ein weiterer Gesichtspunkt bei der Unterteilung des Ausbruchsquerschnitts ist, dass eine Umstellung des Bauverfahrens während des Vortriebs zu zeit- und kostenaufwendig sein kann. Hier ist speziell die Umstellung von Kalotten- auf Ulmenstollenvortrieb bzw. von Ulmenstollen- auf Kalottenvortrieb zu nennen, wenn dieser Wechsel in einem Vortriebsabschnitt erfolgt.

2.1 Kalottenvortriebsverfahren

Bei diesem Bauverfahren beginnt der Vortrieb grundsätzlich in der Kalotte; Strosse und Sohle werden entsprechend den Anforderungen nachgezogen. Wir unterscheiden hier in Spritzbetonbauweise, Unterfangungsbauweise und Firststollenbauweise.

Spritzbetonbauweise und Unterfangungsbauweise
Das Auffahren der bergmännisch zu erstellenden Tunnel erfolgt bei nachbrüchigem bis gebrächem Gebirge im konventionellen Spreng- oder Bagger-vortrieb in der Spritzbetonbauweise. Bei dieser Bauweise wird eine biegeeweiche Sicherung, bestehend aus Spritzbeton und Stahlbögen oder Gittertraglelementen in Kombination mit Ankern, verwen-

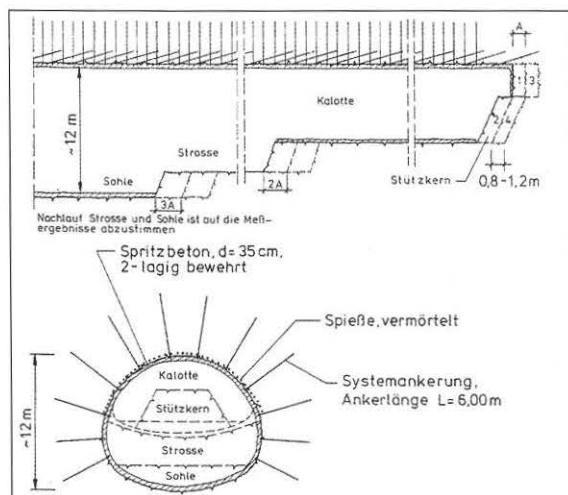


Bild 2: Anwendung des Kalottenvortriebs am Himmelberg-Tunnel in gebrächem Gebirge

det. Aus den bereits genannten Gründen erfolgt eine Unterteilung des Ausbruchsquerschnitts in Kalotte, Strosse und Sohle, wobei der Vorlauf von Kalotte und Strosse in Abhängigkeit von den angebotenen Gebirgsverhältnissen, den äußeren Anforderungen und den Verformungsmessungen während des Vortriebs festgelegt wird. Die Ausführung von Kalotte und Strosse ist je nach Gebirgsverhältnissen mit und ohne Sohlgewölbe möglich. In Bild 2 wird eine Vortriebsituation am Himmelberg-Tunnel in gebrächem Gebirge dargestellt, wo ein Stützkern und ein Sohlgewölbe erforderlich waren.

Bei schwierigeren Gebirgen und schwierigeren äußeren Bedingungen bietet die Unterfangungsbauweise Vorteile in der Anwendung. Hier beginnt der Ausbruch ebenfalls mit der Kalotte, wobei jedoch die Spritzbetonschale zur Verformungsbegrenzung eine größere Dicke aufweist und deshalb steifer ist (Bild 3). Für die Unterfangung gibt es eine Reihe von Varianten, die sich an den geologischen Bedingungen und auch an den baubetrieblichen Erfordernissen orientieren. Prinzipiell ist jeder vorgezogene Kalottenvortrieb mit einer nicht mehr biege-

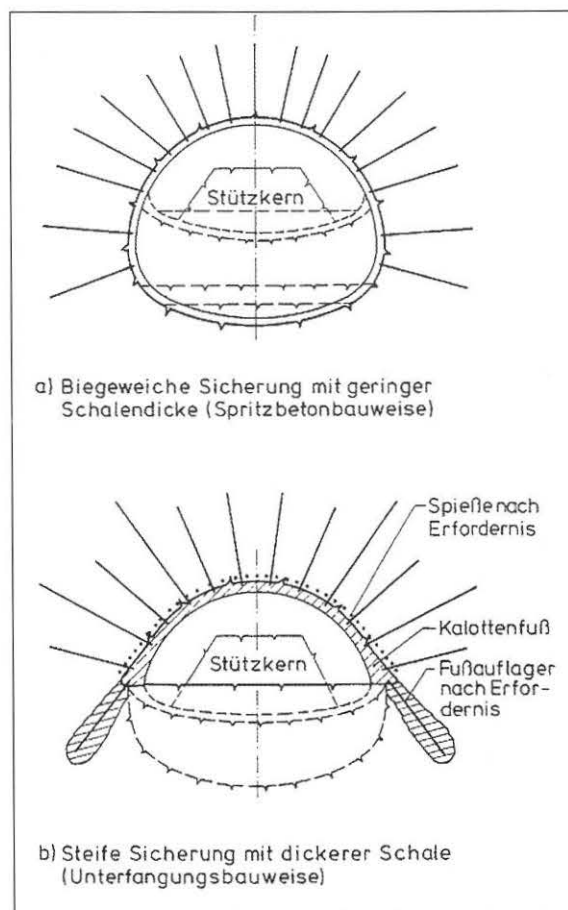


Bild 3: Unterscheidung Spritzbetonbauweise und Unterfangungsbauweise [5]

weichen Sicherung der Unterfangungsbauweise zuzuordnen. Der grundsätzliche Unterschied zwischen diesen beiden Bauverfahren ist im folgenden kurz zusammengefasst:

- Bei der Spritzbetonbauweise kann der Vortrieb auf eine möglichst dünne Spritzbetonschale mit biegeweichem Verhalten abgestimmt werden, wobei größere Deformationen zur Ausbildung des Gebirgstragringes zugelassen werden müssen. Die Größe der Kalotten- und Strossenvortriebe (Ausbruchsfläche, Abschlagtiefe, Kalottensohlgewölbe, Sohlgewölbe) steht dann in engem Zusammenhang mit der Dimensionierung der vorübergehenden Sicherung und der Vortriebsgeschwindigkeit, die wiederum von der Standzeit des Gebirges abhängt.
- Die Unterfangungsbauweise kommt in gebräuchtem bis druckhaftem Gebirge, insbesondere mit geringer Überdeckung, also Bedingungen, unter denen die Ausbildung eines Gebirgstragringes nicht sichergestellt werden kann, zur Anwendung. Doch auch Forderungen nach einem setzungsarmen Vortrieb machen größere Schalendicken, Fußverbreiterungen, Fußpfähle und gegebenenfalls Injektionen erforderlich. Unter den genannten Bedingungen ist eine biegeweiche Schale nicht mehr sicher beherrschbar und damit nicht mehr verantwortlich. Durch die Anwendung der Unterfangungsbauweise wird dem Wunsch nach größerer Sicherheit entsprochen. Im Zuge des Ausbruchs wird die Kalottenschale nach tunnelstatischen Nachweisen unterfangen, so dass es sich nicht mehr um eine biegeweiche Schale mit Sohlchluss, sondern um eine Unterfangung handelt.

Werden die Bedingungen noch schwieriger, insbesondere im Zusammenhang mit der Sicherung einer größeren Ortsbrust, muss der Querschnitt weiter unterteilt werden. Die Unterteilung kann entweder halbseitig oder mit einem vorgezogenen Firststollen erfolgen, wobei das Firstbalkenverfahren eine besondere Entwicklung darstellt.



Bild 4: Firstbalkenverfahren am Schulwald-Tunnel

Alternativ zum Firstbalkenverfahren erlaubt der unter 3.3 näher erläuterte Einsatz von Schirmen verschiedener Konstruktionsart ebenfalls eine Beibehaltung des Kalottenvortriebsverfahrens.

Firststollenbauweise mit Firstbalken

Dieses Verfahren wurde am Tunnel Westtangente in Bochum 1982 entwickelt [3] und am Schulwald-Tunnel in den stark gebräuch bis druckhaften Gebirgsabschnitten verwendet (Bild 4). Ein Vortrieb über die gesamte Kalotte war hier nicht handhabbar, da die Standsicherheit der Ortsbrust nicht mehr gewährleistet war [1].

Der Firststollen hat etwa die halbe Querschnittsfläche der Kalotte und eilt der Aufweitung mit einem Abstand von ca. 30 bis 40 m voraus. Nach Erfordernis wurde der Firststollen weiter in Kalotte und Strosse/Sohle mit abgeschrägter Ortsbrust unterteilt, wobei in Abhängigkeit von den angetroffenen Gebirgsverhältnissen auch eine Ankerung im Ortsbrustbereich des Firststollens und ein Sohlgewölbe notwendig waren. Zusätzlich erhält der Firststollen eine dreilagig bewehrte und mit 32 Stabstählen $\varnothing 20/15$ in Längsrichtung versehene 35 cm starke Firste, als längstragenden Firstbalken (Bild 5).

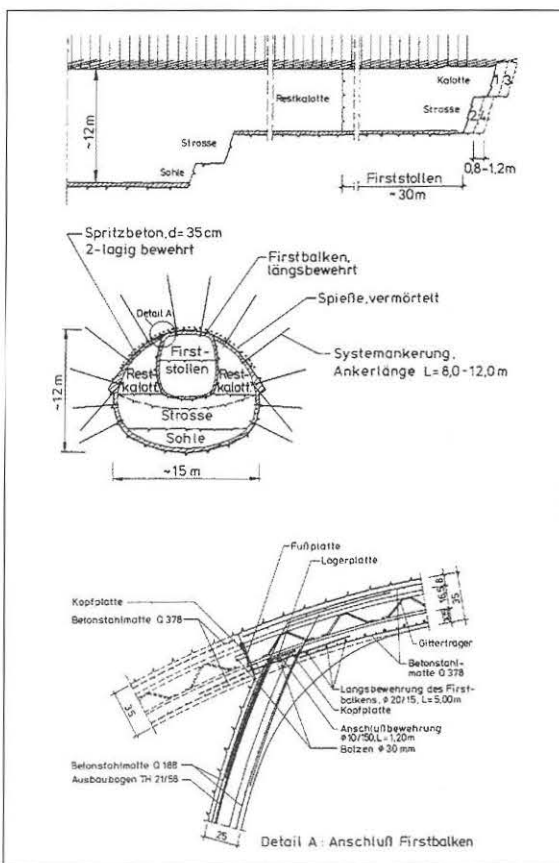


Bild 5: Anwendung des Firstbalkenverfahrens am Schulwald-Tunnel

Der aufgefahrene Firststollen verkleinert die Ortsbrustfläche und vermindert damit die Gefahr von Ortsbrustverbrüchen. Zusätzlich dient er zur Vorerkundung, um weitere Maßnahmen, wie z. B. das Setzen der Anker im Ulmenbereich durch den Firststollen, anzuordnen und zur Vorentwässerung. Der Firstbalken stellt eine zusätzliche Sicherung beim Auffahren der Restkalotte dar, wo er durch die tragende Wirkung in Längsrichtung im ungesicherten Bereich eine Setzungsbegrenzung beim Ausbruch der Restkalotte bewirkt, welche nachweislich den größten Anteil an der Gesamtverformung hat. Als Auflager für den Firstbalken dienen in Vortriebsrichtung die rohrartige Sicherung des Firststollens und im nachlaufenden Bereich die mit bereits tragfähigem Spritzbeton gesicherte Kalotte. Der Kalottenausbruch (Restkalotte) kann synchron oder wechselseitig erfolgen, wobei das Kalottenaufleger entweder mit Fußverbreiterung (mit und ohne Fußpfahl) oder auch als Sohlgewölbe ausgeführt werden kann.

Bei dieser Bauweise ist eine Umstellung von Kalotten- auf Firststollenvortrieb bei Erfordernis sofort möglich, ein Wechsel vom Firststollen- auf den Kalottenvortrieb erfordert lediglich ein Nachholen der Aufweitung bis an die Ortsbrust des Firststollens. Hierdurch ist der Firststollenvortrieb ein besonders anpassungsfähiges Bauverfahren, das auch dann zum Einsatz kommen kann, wenn unvorbereitet ungünstige Gebirgsverhältnisse angetroffen werden, die mit der Vollkalotte schwer oder nicht mehr beherrschbar sind. Ohne auf die Kernbauweise mit Ulmenstollenvortrieb umsteigen zu müssen, ist diese Bauweise bei stark wechselnden Gebirgsverhältnissen und insbesondere bei der Unterfahrung verformungssensibler Gebäude zu empfehlen [2].

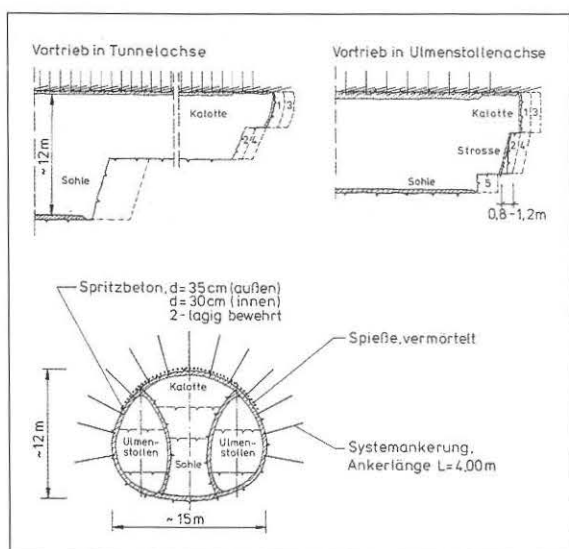


Bild 6: Anwendung der Kernbauweise mit Ulmenstollen am Himmelberg-Tunnel

2.2 Kernbauweise mit Ulmenstollen

In Bereichen mit deutlich niedrigeren Gesteinsfestigkeiten infolge tiefgründiger Verwitterung oder im Lockergestein, d.h. in stark gebrüchem bis druckhaftem Gebirge, insbesondere bei höheren Horizontalkräften, bietet die Kernbauweise mit Ulmenstollen Vorteile in der Anwendung. Dieses Verfahren wurde zum Beispiel in Teilabschnitten des Himmelberg-Tunnels angewendet (Bild 6).

Bei dieser Bauweise werden zunächst entlang des Ausbruchsrandes der Ulmen zwei oder mehrere beherrschbare Querschnitte aufgefahren. Anschließend wird die Kalotte ausgebrochen und gesichert, wobei die Ulmenstollen als Auflager für das Kalottengewölbe dienen. Nachfolgend werden die Ausbaubögen der Kalotte an die äußeren Ulmenbögen angeschlossen.

In diesen Querschnitten kann bei besonders hohen Setzungsanforderungen die endgültige Sicherung nachgezogen werden. So entsteht ein in diesen Teilbereichen hergestelltes, später zusammenhängendes Gewölbe.

Der Kern bleibt stehen und dient als Ortsbrustsicherung, da er die Brustfläche erheblich verkleinert und dadurch besser stützt (Bild 7).

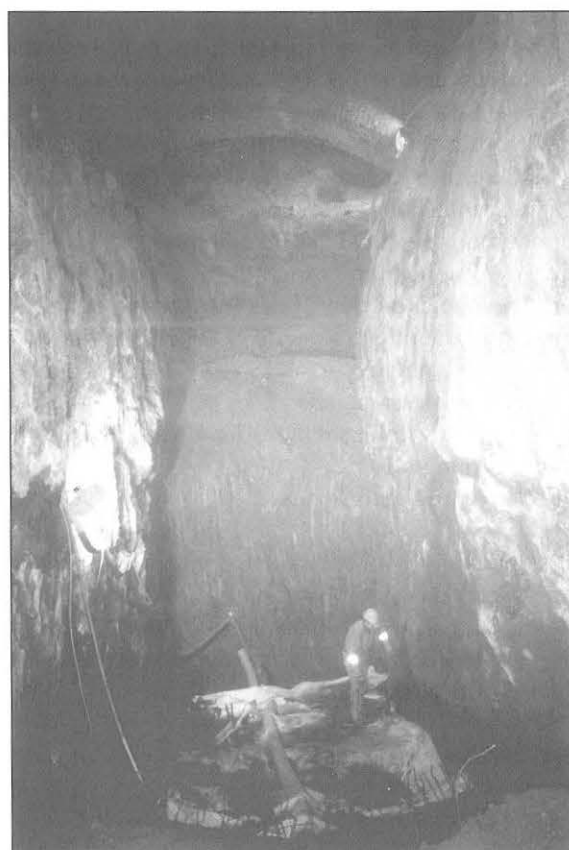


Bild 7: Kernaushub am Himmelberg-Tunnel

Dadurch gilt die Kernbauweise mit Ulmenstollen als setzungsarm und weniger seitendruckanfällig, wobei die vorauseilenden Ulmenstollen gleichzeitig als Erkundungs- und Entwässerungstollen dienen. Bei einer Verbesserung des Gebirges sind bei diesem Bauverfahren Umstellungsvorgänge auf einen Kalottenvortrieb mit erheblichen Aufwendungen verbunden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Wechsel nicht innerhalb des Kalottenquerschnitts stattfindet, sondern die Gesamtkonzeption von Ausbruch und Sicherung betrifft und damit auch die gesamte Logistik. Eine Ausschreibung sollte eine Entscheidung für einen Ulmenstollenvortrieb deshalb nur dann treffen, wenn eine Umstellung während des Vortriebs aufgrund wechselnder Geologie weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Heute ist deshalb eine Erweiterung der wirtschaftlichen Einsatzbereiche der Kalottenvortriebsverfahren durch die Anwendung von Rohrschirmen als Voraussicherung und der Firstbalkenmethode zu beobachten. Ulmenstollenvortriebe sollten sich auf wirklich schwierige Bedingungen wie hohe Seitendrücke und besondere Setzungsanforderungen beschränken, und es sollte kein Wechsel des Bauverfahrens innerhalb eines Vortriebsabschnitts zu erwarten sein.

3. Voraussicherungen

Örtliche Verschlechterung der Gebirgseigenschaften, insbesondere die Verkürzung der möglichen Standzeit des Gebirges nach dem Ausbruch, können vorauseilende Sondermaßnahmen im Ortsbrustbereich erfordern. Weiterhin werden Voraussicherungen bei der Forderung nach einem setzungsarmen Vortrieb, z.B. zur Unterfahrung von Gebäuden oder sensiblen Einrichtungen, eingesetzt. In Abhängigkeit von den objektspezifischen Randbedingungen können folgende Maßnahmen zur Anwendung kommen:

- Spieße, Injektionsspieße
- Schirme, als Rohrschirme oder Hochdruckinjektionsschirme und
- Bodenvereisungen

Die genannten Maßnahmen sind im Einzelnen mehr oder weniger seit langer Zeit bekannt und in Anwendung, doch erst in den letzten Jahren werden diese Methoden in den Vortriebskonzepten systematisch eingesetzt.

3.1 Spieße

Spieße kommen schon seit langer Zeit zur Firstsicherung beim Vortrieb in nachbrüchigem bis gebrächem Gebirge zum Einsatz (Bild 8).



Bild 8: Einsatz von Spießen am Tunnel Euerwang

Die Wirkungsweise der Spieße beruht mehr darauf, die geometrische Form des Ausbruchs und damit den Gebirgstragring zu erhalten als selbst Lasten aufzunehmen. Die Länge der Spieße sollte sich über mindestens drei Bogenabstände erstrecken, wobei über jedem oder jedem zweiten Bogen gespießt wird (Bild 9).

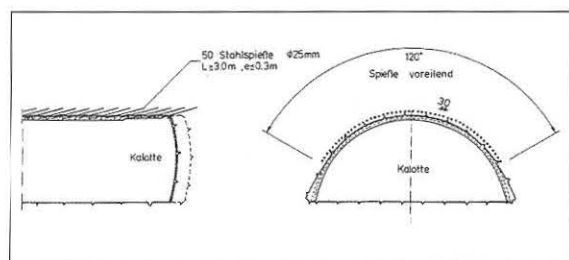


Bild 9: Anwendungsbeispiel: Firstsicherung mit Spießen

In Abhängigkeit von den geologischen Randbedingungen können Rammspieße oder Bohrspieße zur Anwendung kommen. Rammspieße werden unvermörtelt im Lockergestein angewendet, wo sie mittels Druckluft- oder Hydraulikhammer in den Baugrund eingetrieben werden. Bohrspieße hingegen werden im Festgestein eingesetzt und dort in vorgebohrte Löcher, vermörtelt oder auch unvermörtelt, eingebracht.

3.2 Injektionsspieße

Injektionsspieße, als Erweiterung der vermörtelten Spieße, werden in gebrächem bis druckhaftem Gebirge und in Lockergestein als vorauseilende Sicherung eingesetzt (Bild 10). Bei diesem Verfahren wird das Gebirge zusätzlich durch Einpressen geeigneter Injektionsmittel in die vorhandenen Hohlräume verbessert. Dadurch wird die Standfestigkeit des Gebirges erhöht und gleichzeitig die Wasserdurchlässigkeit verringert.

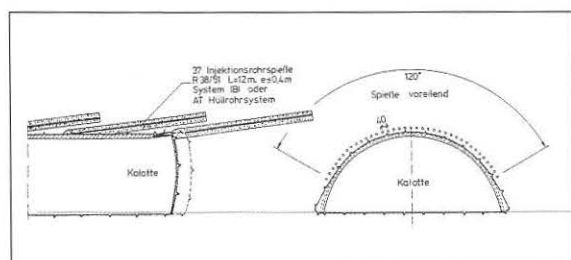


Bild 10: Anwendungsbeispiel: Vorauseilende Sicherung mit Injektionsrohrspießen

Hierbei kann zwischen Ramminjektionsspiessen, Selbstbohrinjektionsspiessen und Injektionsrohrspießen unterschieden werden. Bei Selbstbohrinjektionsspiessen und Ramminjektionsspiessen erfolgt nach Einbringen der Spieße in den Baugrund einmalig das Injizieren des Mörtels durch die Spießspitze. Bei Injektionsrohrspießen besteht zudem die Möglichkeit, über zusätzlich angeordnete Nachpressventile Sekundärinjektionen einzubringen.

3.3 Schirme

In Gebirge mit zu geringer Standzeit für den erforderlichen Ausbruchquerschnitt oder bei erforderlicher Setzungsbegrenzung aufgrund darüber liegender Bebauung werden durch längs eingebrachte Rohre oder Injektionen Schirme als Voraussicherung hergestellt. So wurden zum Beispiel an mehreren Stellen der Neubaustrecke im Schutze von Schirmen Autobahnen unterfahren. Dabei kann zwischen Rohrschirm ohne Injektion, Injektionsrohrschirm und Hochdruckinjektionsschirm unterschieden werden.

Nach der Voraussicherung können dann die geplanten Ausbruchsquerschnitte im Schutze des Schirmgewölbes aufgeföhren werden. Vorteilhaft für den Baubetrieb ist, dass Rohrschirme heute nicht mehr von Spezialfirmen mit Spezialgeräten, son-



Bild 11: Arbeiten zur Herstellung eines Injektionsrohrschirms mit Tunnelbohrwagen am Tunnel Irlahüll

den von der Vortriebsmannschaft mit den Tunnelbohrwagen (allerdings sind neue Bohrgeräte erforderlich) hergestellt werden können (Bild 11). Die zur Herstellung des Rohrschirms erforderlichen Nischen für die Bohrausführungspunkte werden zum Teil nicht mehr erforderlich.

Rohrschirm ohne Injektion

Hier sind beispielhaft das Bodex-System und das AT-Hüllrohrsystem zu nennen. Die Herstellung des Rohrschirms erfolgt unter Verwendung eines zentrisch arbeitenden Überlagerungsbohrsystems, wobei das Bohren und Verrohren in einem Arbeitsschritt erfolgt. Das Rohr verbleibt im Boden und wird anschließend ausbetoniert. Bei den horizontalen Bohrungen sind heutzutage Längen bis zu 30 m beherrschbar, wobei die auftretenden Abweichungen stark von den vorherrschenden Bodenverhältnissen abhängen. Der Abstand der einzelnen Rohre untereinander hängt von statischen Gesichtspunkten ab und liegt in der Regel im Dezimeterbereich.

Injektionsrohrschirm

Injektionsrohrschirme werden prinzipiell wie Rohrschirme hergestellt, unterschiedlich ist in der Regel der vergrößerte Abstand zwischen den einzelnen Rohren und das zusätzliche Vermörteln des anstehenden Gebirges. Im Festgestein wird das Injektionsmittel über Packer eingebracht, die gleichzeitig das Bohrloch abdichten und somit ein Entweichen des Injektionsmittels verhindern. Da diese Verfahrensweise im Lockergestein nicht möglich ist, wird dort mittels einer verrohrten Bohrung ein Manschettenrohr eingebracht. Das Einbringen des Injektionsmittels in das umgebende Gebirge erfolgt hierbei durch die Öffnungen im Manschettenrohr, die mit einer Gummihülle (Manschette) abgedichtet sind. Am Tunnel Irlahüll wurde ein Injektionsrohrschirm zur Unterfahrung einer Autobahn eingesetzt (*Bild 12*). Hierbei erfolgte das Einbringen der 15 m langen Injektionsrohre unter einer Neigung von 7° , wobei die Genauigkeit bei $\pm 2\%$ lag. Anschließend erfolgte die Injektion durch Ventile im Rohr mit einem Verpressdruck von 10-15 bar. Zuletzt wurde das Rohr dann mit einer Zementsuspension verfüllt.

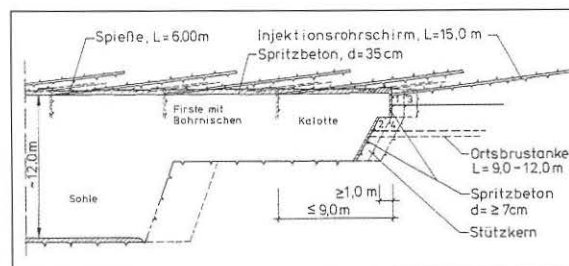


Bild 12: Anwendung eines Injektionsrohrschirms am Tunnel Irlahüll

Hochdruckinjektionsschirme

Unter Hochdruckinjektion wird eine Bodenvermörtelung verstanden, bei der der anstehende Boden durch einen energiereichen Schneidstrahl, bestehend aus einer Zementsuspension, geschnitten, suspendiert und verwirbelt wird. Der gelöste Boden ist hierbei der Zuschlagsstoff für den so entstehenden Bodenbeton. Das Herstellen der säulenartigen Betonkörper erfolgt unter gleichzeitigem Injizieren und Rückziehen des Bohrgestänges. Allgemein können die Hochdruckinjektionssäulen überschritten bzw. tangiert ausgeführt werden, wobei die horizontale Länge auf ca. 15 m begrenzt ist. Das HDI-Verfahren kam am 282 m langen, bergmännisch aufzufahrenden Teilstück des Tunnels Frankfurter Kreuz zum Einsatz. Die vorausseilende Sicherung bestand hier aus ca. 14,5 m langen, überlappenden HDI-Firstschirmen (Bild 13) [6].

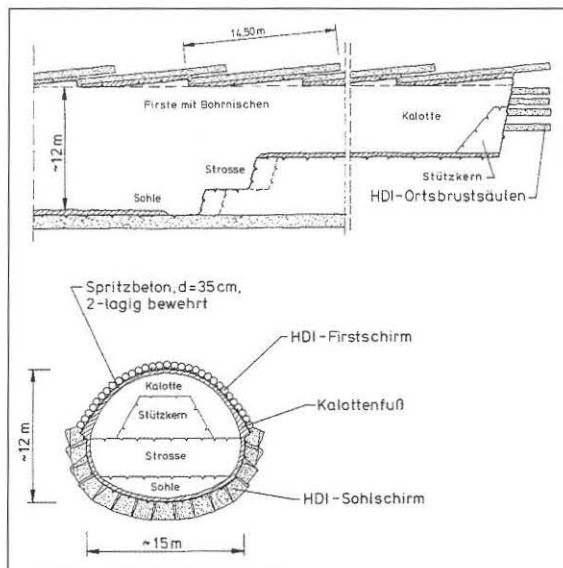


Bild 13: Anwendung eines Hochdruckinjektionsschirms am Tunnel Frankfurter Kreuz [1]

3.4 Bodenvereisung

Das Gefrierverfahren, hier nur wegen der Vollständigkeit genannt, ist ein bekanntes Verfahren aus dem Tiefbau; es bietet als vorausseilende Sicherung eine vorübergehende Abdichtung und Baugrundverbesserung für nicht injizierbare, aber wasserführende Verhältnisse. Im Grundprinzip handelt es sich hierbei ebenfalls um eine Schirmdecke, die aber im Gegensatz zu dem Injektionsverfahren die hydrologischen Verhältnisse nur während der Bauzeit beeinflusst.

4. Aktuelle Entwicklungen

Mit Spritzbeton als Sicherungsmittel wurden Verfahren möglich, die den Kontakt der vorübergehenden Sicherung direkt mit dem Gebirge herzustellen vermochten. Der Einflussfaktor Zeit, der für Gebirgsbewegungen und Druckentwicklung maßgebend ist, konnte wesentlich herabgesetzt werden. Auch für schwierige Gebirgsarten wurden dadurch Ausbruchverfahren sogar im Vollausbruch wieder

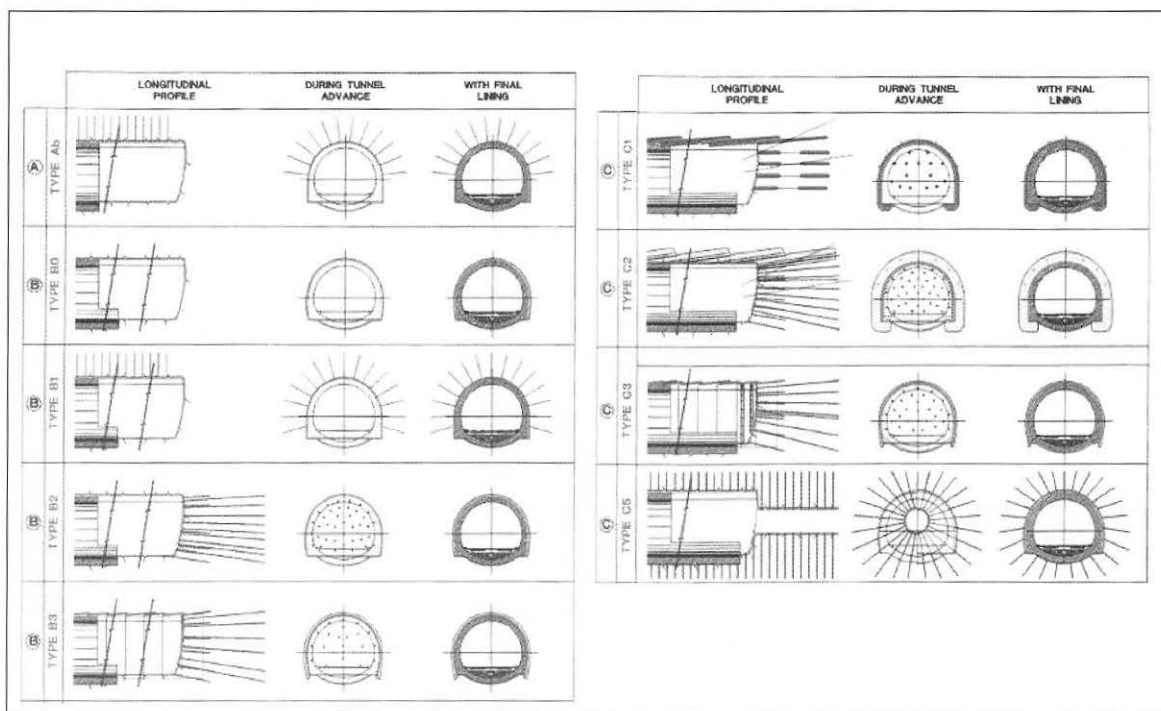


Bild 14: In Abhängigkeit von den Gebirgsverhältnissen angewendete Bauverfahren bei den Tunneln der NBS Bologna-Florenz [7]

möglich. Aktuelle Entwicklungen zielen jetzt auf eine wirtschaftliche Erweiterung der Spritzbetonbauweise durch Gebirgsverbesserungen hin, so dass auch bei druckhaften Gebirgsverhältnissen ein wirtschaftlicher Vollausschub zum Einsatz kommen kann. Diese Bauverfahren wurden z.B. erfolgreich bei der Neubaustrecke (NBS) Bologna-Florenz in Italien eingesetzt (Bild 14).

Bei einem Vollausschub in Kombination mit einer Voraussicherung der Ortsbrust lässt sich der Ringschluss eher herbeiführen als bei einem Ausbruch des Gesamtquerschnitts in Teilen. Dies hält die Gebirgsverformungen gering. Der bereits an der Ortsbrust zur Verfügung stehende Gesamtquerschnitt erlaubt, dass, anders als bei Kalotten- oder Ulmenvortrieben, leistungsfähige Großgeräte benutzt werden können. Da für den gesamten Abschlag nur ein Arbeitsschritt notwendig ist, gibt es keine Interaktionen mehr zwischen den einzelnen Betriebspunkten. Dadurch ist eine gute Logistik möglich, die zur Wirtschaftlichkeit des Vortriebs beiträgt. Die Gebirgsverbesserungen können dabei z.B. aus Glasfaser-Ankern in der Ortsbrust und/oder HDI-Schirmen bestehen.

Als Kriterium für die Wahl der notwendigen Gebirgsverbesserungen wurde bei den Tunneln der NBS Bologna-Florenz aufgrund der geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Voruntersuchungen eine Beschreibung der Standzeit der Ortsbrust herangezogen. Dazu wurden die jeweiligen Vortriebsstrecken in drei wesentliche Bereiche unterschiedlichen Ortsbrustverhaltens unterteilt [7]:

- Verhaltenstyp A (standfeste Ortsbrust)
- Verhaltenstyp B (Ortsbrust mit kurzer Standzeit)
- Verhaltenstyp C (nicht standfeste Ortsbrust)

Verhaltenstyp A

Die Ortsbrust war standfest, so dass hier keine Gebirgsverbesserungen notwendig waren. Als vorläufige Sicherung kam ein bewehrter Spritzbeton mit einer Dicke von 25 cm und einfach angeordneten Stahlbögen zum Einsatz. Als endgültige Sicherung wurde ein unbewehrter Ortobetongingebraucht, der sowohl für die Innenschale als auch für das Sohlgewölbe 60 cm betrug.

Verhaltenstyp B

Für 60 % der Vortriebsstrecken wurde eine Ortsbrust mit kurzer Standzeit prognostiziert. Dabei fand eine weitere Unterteilung in die Hauptquerschnittstypen B1, B2 und B3 statt. Für den Typ B1 waren noch keine voraussichernden Maßnahmen vorgesehen. Die vorläufige Sicherung aus bewehrtem Spritzbeton erhöhte sich auf 30 cm Stärke und es wurden doppelt angeordnete Stahlbögen verwen-

det. Die endgültige Sicherung erfolgte aus einer 80 cm dicken Innenschale und einem 90 cm dicken Sohlgewölbe, das in einem Abstand von spätestens drei Tunneldurchmessern von der Ortsbrust eingebaut wurde.

Beim Typ B2 erhöhte sich die Innenschalendicke auf 90 cm und die Sohlgewölbestärke auf 100 cm. Der Sohlgewölbeeinbau verringerte sich dabei auf einen Abstand von 1,5 Tunneldurchmessern von der Ortsbrust (Bild 15).

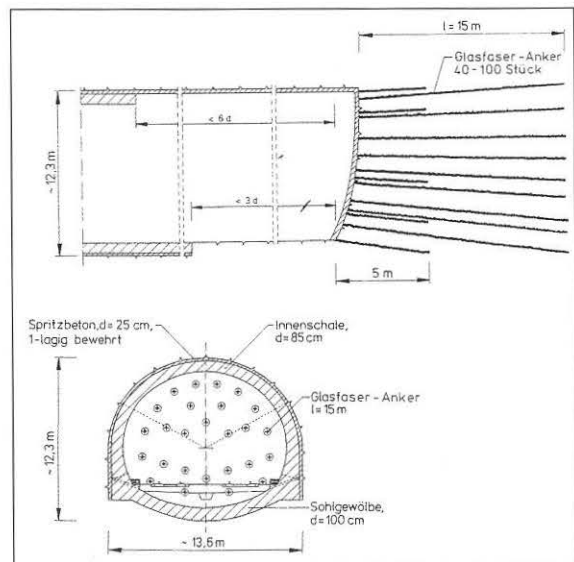


Bild 15: Anwendung des Bauverfahrens für den Querschnittstyp B2 bei den Tunneln der NBS Bologna-Florenz

Zusätzlich erfolgte bei diesem Querschnitt eine Voraussicherung der Ortsbrust durch den Einsatz von 15 m langen Glasfaser-Ankern mit einer Überlappung von mindestens 5 m. Glasfaser-Anker werden zur Verfestigung des Vortriebskernes und damit zur Sicherung der Ortsbrust bei großem Ausbruchsquerschnitt, geringer Überlagerung mit Bebauung und gebräuchlichem Gebirge verwendet (Bild 16).

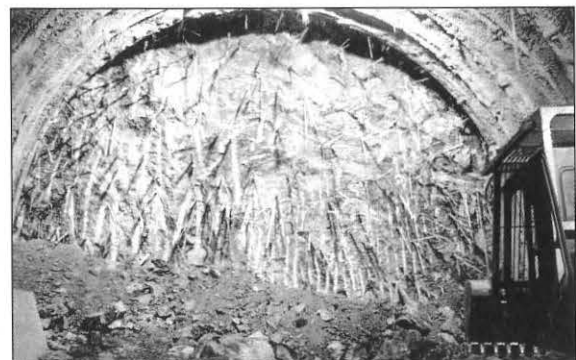


Bild 16: Einsatz von Glasfaser-Ankern zur Sicherung der Ortsbrust bei Tunnel der Neubaustrecke Bologna - Florenz

Durch die an den Ankern befestigten Rohre können gezielt Injektionen von bis zu 100 bar zur weiteren Bodenverbesserung durchgeführt werden. Die Glasfaser-Eigenschaften ermöglichen den Tunnelausbruch mit herkömmlichen Vortriebsgeräten. So ist es möglich, selbst bei verschiedenen Gebirgseigenschaften einen Tunnelvortrieb zeitig zu planen und auch wirtschaftlich durchzuführen.

Beim Querschnitt B3 war aufgrund der geringen Standzeit der Ortsbrust eine intensivere Anordnung der Glasfaser-Anker im Bereich der Ortsbrust notwendig. Die Innenschalendicke mit 90 cm und die Sohlgewölbestärke mit 100 cm veränderten sich nicht, jedoch verringerte sich der Einbau des Sohlgewölbes auf einen Abstand von nur noch 4 bis 6 m von der Ortsbrust.

Verhaltenstyp C

Aufgrund der hier nicht mehr standfesten Ortsbrust waren bei diesem Querschnittstyp weitere Gebirgsverbesserungen erforderlich, wobei in zwei hauptsächliche Typen unterschieden wurde. Beim Typ C1 kam ein 13 m langer HDI-Schirm als Gebirgsverbesserung zum Einsatz (Bild 17). Im Schutz des bogenförmig um den Tunnel herum angeordneten Schirms konnten dann die Vortriebsarbeiten stattfinden.

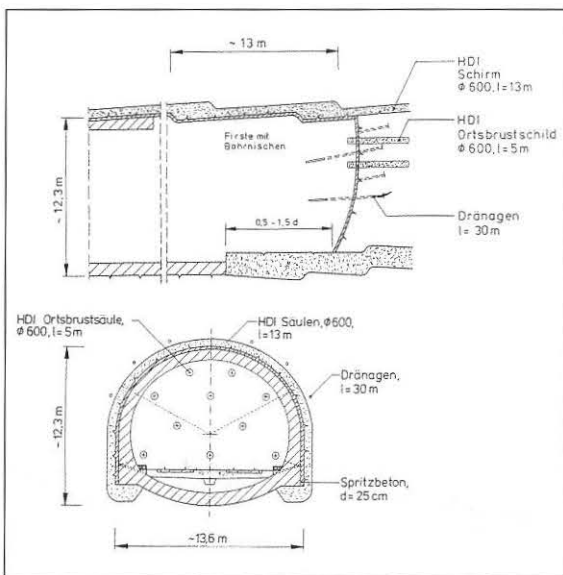


Bild 17: Anwendung des Bauverfahrens für den Querschnittstyp C1 bei den Tunneln der NBS Bologna-Florenz [8]

Zusätzlich wurden im Bereich der Ortsbrust mit Glasfaser-Ankern bewehrte HDI-Säulen angeordnet, die der Ortsbrust zusätzliche Standfestigkeit verliehen. Die Länge der Glasfaser-Anker betrug hier 15 m bei einer Überlappung von mindestens 5 m. Die Ausbildung der Innenschale wurden den

jeweiligen Randbedingungen angepasst und variierte zwischen 40 und 140 cm, wobei die Dicke des Sohlgewölbes stets 100 cm betrug. Der Einbau des Sohlgewölbes erfolgte im Abstand von maximal 1,5 Tunneldurchmessern von der Ortsbrust.

Beim Querschnittstyp C2 wurde der als Gebirgsverbesserung eingesetzte HDI-Schirm mit Glasfaser-Rohren bewehrt und im Ortsbrustbereich verbesserten zusätzlich zu den Ortsbrustsäulen angeordnete verpressbaren Glasfaser-Anker die Gebirgseigenschaften (Bild 18). Als vorläufige Sicherung kam ein bewehrter Spritzbeton mit doppelt angeordneten Stahlbögen zum Einsatz und als endgültige Sicherung wurde eine Innenschale mit 90 cm und ein Sohlgewölbe mit 100 cm eingebracht, wobei der Einbau in einem Abstand von 1 - 1,5 Tunneldurchmessern von der Ortsbrust erfolgte.



Bild 18: HDI Schirm und HDI Ortsbrustsäulen als Gebirgsverbesserung bei einem Tunnel der NBS Bologna-Florenz

5. Zusammenfassung

Durch den Einsatz von Rohrschirmen als Vorausssicherung und der Firstbalkenmethode wird der wirtschaftliche Einsatzbereich der Kalottenvortriebsverfahren erweitert. Aber auch der Vollausbau von größeren Querschnitten in druckhaftem Gebirge ist heute durch Gebirgsverbesserungen möglich, wodurch eine bessere Mechanisierung durchführbar ist und Kosten gesenkt werden können. Diese Maßnahmen tragen auch zur Erhöhung der Sicherheit im Ortsbrustbereich bei, was bei dem heute kaum zur Verfügung stehenden und geringer werdenden Potential an qualifizierten Arbeitskräften vor Ort von ausschlaggebender Bedeutung ist. Die Anwendung von zeit- und kostenaufwendigen Ulmenstollenvortrieben, die insbesondere bei einem Wechsel des

Bauverfahrens sehr unwirtschaftlich sind, werden sich in Zukunft auf wirklich schwierige Bedingungen und enorme Anforderungen wie hoher Seitendruck und besondere Setzungsanforderung beschränken. Somit gelingt es, die konventionellen Vortriebe gegenüber den maschinellen Vortrieben weiter konkurrenzfähig zu halten.

6. Literatur

- [1] Belter, B.; Heiermann, W.; Katzenbach, R.; Maidl, B.; Quick, H.; Wittke, W.:
NBS K-R/M - Neue Wege bei der Umsetzung von Verkehrsprojekten. Bauingenieur 74 (1999) Nr.1, S. 1-8.
- [2] Ligart, H.; Brötz, K.; Bauer, M.:
Tunnel in Spritzbetonbauweise in stark gestörtem Gebirge. Felsbau 17 (1999) Nr.4, S.233-240.
- [3] Maidl, B.:
Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus. Band I + II. Essen: Glückauf-Verlag, 1994.
- [4] Maidl, B.; Schmid, L.; Jodl, H.G.; Petri, P.:
Tunnelbau im Sprengvortrieb. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [5] Maidl, B.:
Handbuch für Spritzbeton. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 1992.
- [6] Sternath, R.:
Die Tunnelbauwerke der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main - Möglichkeiten zur Kosteneinsparung. Vortrag auf dem X. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik am 25.03.99 in Bochum, veröffentlicht im Tagungsband durch A.A. Balkema, Rotterdam, 1999.
- [7] Lunardi, P.:
Design and construction aspects of the underground works. Gallerie e grandi opere sotteranee Marzo (1998) N. 54, P. 21-31.
- [8] Briganti, R.; Marchisella, R.:
Italian High Speed Railway Project - The Tunnels of Roma Napoli Line. Felsbau 14 (1996) Nr. 6, S. 390-396.